



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E**  
**CONTABILIDADE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E**  
**CONTROLADORIA**

**FRANCISCO DIEGO LIMA DOS SANTOS**

**ARQUITETURA COLABORATIVA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM**  
**ESTUDO DA DINÂMICA DE INTERAÇÕES EM UMA REDE DE**  
**PESQUISA E INOVAÇÃO**

**FORTALEZA - CE**

**2025**

FRANCISCO DIEGO LIMA DOS SANTOS

ARQUITETURA COLABORATIVA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM  
ESTUDO DA DINÂMICA DE INTERAÇÕES EM UMA REDE DE PESQUISA  
E INOVAÇÃO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Administração e Controladoria. Área de concentração: Gestão Organizacional.

Orientador: Prof. Dr. Diego de Queiroz Machado.

FORTALEZA

2025

FRANCISCO DIEGO LIMA DOS SANTOS

ARQUITETURA COLABORATIVA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM  
ESTUDO DA DINÂMICA DE INTERAÇÕES EM UMA REDE DE PESQUISA  
E INOVAÇÃO

Dissertação de mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Administração  
e Controladoria da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito final à obtenção do título  
de Mestre em Administração e Controladoria.  
Área de concentração: Gestão Organizacional.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Diego Machado de Queiroz (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Claudio Bezerra Leopoldino  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Rafael fernandes de Mesquita  
Universidade Federal do Piauí UFPI

A Deus, à minha família (em especial, a meus pais, aos meus irmãos) e a todas as pessoas que buscam de alguma forma contribuir para um mundo mais sustentável.

## AGRADECIMENTOS

O caminho até o presente momento não foi fácil; ele é repleto de desafios como: vestibular perdido, mudanças de carreira, assim como outras dificuldades que se apresentaram como reveses, mas que com o passar do tempo se revelaram essenciais, como aquela frase repetida várias vezes ao longo do tempo: “Deus escreve reto por linhas tortas”.

Essa jornada me guiou da indústria até a educação, lugar esse onde me encontrei, a minha verdadeira “praia”, e, enfim, a este mestrado.

Como há muito tempo falou John Donne: “Nenhum homem é uma ilha”.

Ao longo dessa trajetória, diversas “forças” e pessoas colaboraram para que eu chegasse até aqui. A elas, dedico este trabalho:

A Deus, por permitir a existência em vez do nada e por me conceder os sentidos para que eu possa, mesmo que de forma limitada, contemplar e aprender um pouco sobre a sua criação.

Aos meus pais. À minha mãe, por sempre acreditar em mim e pelos valores que me ensinou e pelo amor incondicional que me tem.

Ao meu pai, pelo sacrifício e suor derramados no sertão para criar seus filhos, muitas vezes abdicando do seu para nos alimentar.

É por vocês e para vocês! Maria Rodrigues de Lima e Lúcio Maia dos Santos.

Aos meus irmãos, Francisca Brena Lima dos Santos, Lúcio Mário dos Santos e Francisco Euclides de Lima, pelo apoio em vários momentos de minha vida e pelo amor que nos une.

A todos os meus familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus colegas de mestrado, pela força, apoio, ensinamentos, choros e risos compartilhados ao longo dessa jornada.

À UFC, instituição que há muito promove o desenvolvimento social por meio da educação superior e do desenvolvimento científico.

Em especial, à FEAAC e a todos os professores do PPAC, que, com tanta paixão, nos guiaram rumo à nossa própria superação.

Em especial ao meu orientador, Professor Dr. Diego Queiroz Machado, que com imensa paciência e civilidade me guiou ao longo deste trabalho. Obrigado por todos os ensinamentos ao longo desta caminhada.

Aos professores coordenadores do PPAC, Profa. Dra. Alessandra Carvalho de Vasconcelos, Prof. Dr. Augusto César de Aquino Cabral e à Profa. Dra. Sandra Maria dos Santos, obrigado por todo o acolhimento e ensinamentos iniciais, que se mostraram tão importantes ao longo dessa jornada.

A todos os pesquisadores da Rede Alpha (nome fictício), em especial aos professores que concederam a autorização e acesso à rede, além de disponibilizar documentos da constituição da rede e sugerir outras fontes que pudessem acrescentar a este trabalho.

Aos professores da banca, Prof. Dr. Cláudio Bezerra Leopoldino e Prof. Dr. Rafael Fernandes de Mesquita, que com paciência e dedicação se dispuseram a contribuir para a construção deste trabalho.

A todos os professores e professoras que fizeram parte da minha jornada acadêmica.

Ao IEL pela parceria com a UFC, que possibilitou a formação dessa turma, e por todo o zelo para que pudéssemos aproveitar ao máximo o programa.

Aos colegas de trabalho, pelas palavras de apoio. Um agradecimento especial a Isabele Maia e Felipe Frutuoso, que me apresentaram ao meu objeto de estudo e fizeram a ponte inicial para que esse trabalho pudesse ser desenvolvido.

Às secretárias da Rede Alpha, por terem operacionalizado o compartilhamento dos dados da Rede Alpha.

Ao SENAI, pela compreensão e flexibilização dos meus horários, que tornaram a elaboração deste trabalho possível.

A todos os amigos e conhecidos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

Os *Homo sapiens* dominam o mundo porque são a única espécie que consegue cooperar de forma flexível e em grande número, e a base dessa cooperação é a nossa capacidade de criar e acreditar em histórias e ficções partilhadas. (Yuval Noah Harari).

## RESUMO

A crescente preocupação com os efeitos negativos advindos da atividade humana no planeta tem levado diversos atores sociais a buscarem soluções que possam contribuir para o desenvolvimento mais sustentável na dimensão econômica, social e ambiental. Neste cenário, o estado do Ceará busca se consolidar como um polo estratégico no Brasil para essa transição, por possuir grande potencial em energias renováveis (eólica e solar) e pela criação do Hub de Hidrogênio Verde no complexo do Pecém. Em resposta a essa demanda, a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) fomentou a criação de uma rede de pesquisa e inovação em energias renováveis (Rede Alpha – nome fictício). A rede nasceu a partir de um edital de fomento da FUNCAP, com o intuito de reunir pesquisadores de diversas instituições e promover sinergias para desenvolver pesquisas voltadas à área de energias renováveis. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo geral investigar as dinâmicas de interação na Rede Alpha por meio do contraste entre sua estrutura planejada e sua rede emergente, a fim de compreender os fatores que impulsionam ou dificultam a cooperação entre seus membros. A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário eletrônico com sete perguntas, enviado aos participantes por e-mail. Para a análise dos dados, utilizou-se o software Gephi. A ferramenta foi utilizada para a estruturação e a visualização da Rede Alpha. É especialmente útil para explorar e analisar diferentes tipos de grafos de rede por meio de diversas métricas de ARS. A análise da rede revelou diferenças significativas entre a rede planejada (rede *a priori*) e a rede real de interações (rede emergente). As métricas gerais da transição da rede *a priori* para a rede emergente revelaram uma estrutura de colaboração real, caracterizada por baixa densidade e alta segmentação, na qual os pesquisadores interagem principalmente com seus grupos imediatos, resultando em um sistema com maior distância comunicacional e potencial dificuldade na difusão do conhecimento entre os diferentes grupos de pesquisa. Os maiores desafios, apontados pelos próprios pesquisadores, não estão na qualidade técnica das pesquisas, mas sim na governança, na articulação entre os membros e na sustentabilidade do ecossistema de inovação que a rede busca construir.

**Palavras-chave:** energias renováveis; inovação colaborativa; análise de redes sociais (ARS); gestão de redes de pesquisa.

## ABSTRACT

The growing concern about the negative effects resulting from human activity on the planet has led various social actors to seek solutions that can contribute to more sustainable development in the economic, social, and environmental dimensions. In this scenario, the state of Ceará aims to establish itself as a strategic hub in Brazil for this transition, due to its significant potential in renewable energies (wind and solar) and the creation of the Green Hydrogen Hub at the Pecém complex. In response to this demand, the Ceará Foundation for Scientific and Technological Development Support (FUNCAP) promoted the creation of a research and innovation network in renewable energies (Network Alpha – fictitious name). The network was established through FUNCAP's funding call, with the goal of bringing together researchers from various institutions and fostering synergies to develop research focused on renewable energy. In this context, this study's main objective is to investigate the interaction dynamics within Network Alpha by contrasting its planned structure with its emerging network, aiming to understand the factors that drive or hinder cooperation among its members. Data collection was carried out through an electronic questionnaire with seven questions, sent to participants via email. For data analysis, the Gephi software was used. The tool was employed to structure and visualize Network Alpha. It is especially useful for exploring and analyzing different types of network graphs through various social network analysis (SNA) metrics. The network analysis revealed significant differences between the planned network (a priori network) and the actual interaction network (emerging network). The overall metrics from the transition from the a priori network to the emerging network showed a real collaboration structure characterized by low density and high segmentation, where researchers mainly interact with their immediate groups, resulting in a system with greater communication distance and potential difficulty in disseminating knowledge across different research groups. The biggest challenges, identified by the researchers themselves, are not related to the technical quality of the research but rather to governance, coordination among members, and the sustainability of the innovation ecosystem that the network aims to build.

**Keywords:** renewable energies; collaborative innovation; social network analysis (SNA); research network management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de inovação Hélice Tríplice.....	27
Figura 3 – A: Rede com <i>diâmetro</i> 1,0; B: Rede com <i>diâmetro</i> 0,3.....	37
Figura 4 – A: Rede Centralizada 1,0; B: Rede Descentralizada 0,0.....	39
Figura 5 – A: Rede com baixa modularidade; B: Rede com alta modularidade.....	41
Figura 6 – Grafo para a análise do Grau de Centralidade.....	42
Figura 7 – Grafo para a análise da Centralidade de Autovetor .....	43
Figura 8 – Grafo para a análise da Centralidade de Intermediação.....	45
Figura 9 – Grafo para a análise da <i>centralidade</i> de proximidade .....	46
Figura 10 – Apresentação da distribuição e do tipo de tecnologia do TRL nas diferentes regiões do Brasil .....	49
Figura 11 – Empresas mapeadas engajadas no desenvolvimento de tecnologias de conversão para produção de hidrogênio de baixa emissão.....	50
Figura 12 – Diagrama com o Fluxo Metodológico da Pesquisa .....	57
Figura 13 – Grafo da Rede <i>a priori</i> – Rede Alpha.....	68
Figura 14 – Grafo de interação da rede <i>a posteriori</i> - Rede Alpha.....	78
Figura 15 – Rede <i>a Priori</i> vs Rede Emergente .....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de uma Matriz Adjacência Binária .....	64
Tabela 2 – Exemplo de uma matriz de adjacência ponderada .....	64
Tabela 3 – Resumo das métricas de rede e métricas de Nó .....	67
Tabela 4 – Métricas Gerais – Rede Alpha .....	70
Tabela 5 – Análise das métricas de nó da rede a priori - Rede Alpha.....	72
Tabela 6 – Métricas Gerais – Rede Alpha .....	79
Tabela 7 – Métricas de nó na rede emergente da Rede Alpha .....	81
Tabela 8 – Métricas gerais da rede <i>a priori</i> vs métricas gerais da rede emergente.....	88
Tabela 9 – Resumo das métricas de nó – Rede Alpha.....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABH <sub>2</sub>	Associação Brasileira de Hidrogênio
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APLs	Arranjo Produtivo Local
ARS	Análise de Redes Sociais
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COP28	28ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
EBSCO	<i>Elton B. Stephens Company</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i> (ambiental, social e governança)
EUA	Estados Unidos
FEAAC	Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade.
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
FUNCAP	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GEE	Gases de efeito estufa
GEEs	Gases do Efeito Estufa
GTFP	<i>Green Total Factor Productivity</i> (produtividade total de fatores verdes)
GW	Gigawatt
H <sub>2</sub> V	Hidrogênio Verde
HUB	Ambiente de colaboração e inovação aberta ( <i>não é acrônimo; mantido por uso consolidado</i> )
ICTs	Instituto de Ciência e Tecnologia
IEL	Instituto Euvaldo Lodi
IES	Instituição de Ensino Superior
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
NIN	<i>Netherlands Innovation Network</i>
NUTEC	Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PNE 2050	Plano Nacional de Energia 2050
PNH <sub>2</sub>	Programa Nacional de Hidrogênio
PPAC	Programa de pós-graduação em administração e controladoria
QAP	Procedimento de Atribuição Quadrática
RSA	Redes Sociais Ambientais
RSS:	Redes Sociais Responsabilidades
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SNI	Sistema Nacional de Inovação
SPELL	<i>Scientific Periodicals Electronic Library</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i> (níveis de prontidão tecnológica)
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCA	Universidade Federal do Cariri
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UNIFOR	Universidade de Fortaleza
UNILAB	Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
URCA	Universidade Regional do Cariri
UVA	Universidade Estadual Vale do Acaraú
WOS	<i>Web of Science</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Contextualização.....	15
1.2 Problematização.....	16
1.3 Objetivos .....	19
1.3.1 <i>Objetivo geral</i> .....	19
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	20
1.4 Justificativa.....	20
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>24</b>
2.1 A colaboração em pesquisa e inovação: fundamentos teóricos.....	24
2.2 Governança e dinâmica de redes de P&D.....	29
2.3 Análise de Redes Sociais (ARS): conceitos fundamentais e métricas.....	32
2.3.1 <i>Densidade da rede (network density)</i> .....	35
2.3.2 <i>Diâmetro de rede</i> .....	36
2.3.3 <i>Centralização (centralization)</i> .....	38
2.3.4 <i>Modularidade (modularity)</i> .....	40
2.3.5 <i>Centralidade de grau (degree centrality)</i> .....	41
2.3.6 <i>Centralidade de autovetor (eigenvector centrality)</i> .....	43
2.3.7 <i>Centralidade de intermediação (betweenness centrality)</i> .....	44
2.3.8 <i>Centralidade de proximidade (closeness centrality)</i> .....	45
2.4 Estudos anteriores: ARS, inovação e sustentabilidade .....	46
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>57</b>
3.1 Tipologia de pesquisa .....	57
3.2 Unidade de análise.....	59
3.3 Coleta de dados.....	61
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>
4.1 Análise da Rede <i>a priori</i> - Rede Alpha.....	66
4.1.1 <i>Grau médio da Rede a Priori</i> .....	70
4.1.2 <i>Densidade da Rede a Priori</i> .....	70
4.1.3 <i>Diâmetro da Rede a Priori</i> .....	71

4.1.4 Modularidade da Rede a Priori.....	71
4.2 Métricas de nó - Rede a Priori .....	72
4.2.1 Centralidade de grau .....	74
4.2.2 Centralidade de proximidade .....	74
4.2.3 Centralidade de intermediação .....	75
4.2.4 Centralidade de autovetor.....	75
4.3 Análise da rede emergente – Rede Alpha .....	76
4.3.1 Análise da rede emergente – Métricas de Rede .....	78
4.3.2 Diâmetro da Rede .....	79
4.3.3 Grau médio.....	79
4.3.4 Densidade de Rede.....	79
4.3.5 Modularidade .....	80
4.4 Análise da rede emergente – métricas de nó .....	80
4.4.1 Centralidade de grau .....	82
4.4.2 Centralidade de intermediação .....	83
4.4.3 Centralidade de proximidade .....	84
4.4.4 Centralidade de autovetor.....	85
4.5 Rede a priori vs rede emergente – Rede Alpha .....	87
4.5.1 Análise comparativa visual dos grafos da rede a priori vs rede emergente .....	87
4.5.2 Análise comparativa das métricas gerais da rede a priori vs rede emergente .....	88
4.5.3 Análise comparativa das métricas de nó da rede a priori vs rede emergente .....	90
4.6 Oportunidades e desafios – Rede Alpha .....	92
4.6.1 Oportunidades na Rede Alpha.....	92
4.6.2 Desafios na Rede Alpha .....	93
4.7 Discussão dos resultados.....	95
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA COLETA DE DADOS.....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE B – GRUPOS DE PESQUISA DA REDE ALPHA .....</b>	<b>112</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes da atividade humana, formalizada desde o Relatório Brundtland e reafirmada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, evidencia a necessidade de uma transição energética rápida rumo a fontes de energia cada vez mais limpas e sustentáveis (CMMAD, 1987; IPCC, 2018). Foi a partir do Relatório Brundtland que o conceito de desenvolvimento sustentável foi amplamente divulgado. Segundo ele, desenvolvimento sustentável seria “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”.

Segundo Miranda (2023), é necessário compreender o termo sustentabilidade como a busca pela manutenção equilibrada do provimento do sistema socioeconômico em vigor, e sua aplicação está relacionada à interação entre as sociedades humanas, os ambientes e seus componentes. Nesse cenário, a substituição da matriz energética baseada em combustíveis fósseis é fundamental para alcançar as metas de redução das emissões globais até 2050. Para Gaspar Filho e Santos (2022), a transição energética está relacionada às mudanças no suprimento nacional de energia ou à descoberta de novos recursos energéticos. Ainda segundo os autores, tais mudanças podem ser o reflexo de transformações tecnológicas, econômicas, sociais ou de decisões políticas.

No Brasil, país com matriz energética com participação significativa de energias renováveis, o desafio está em intensificar essa transição rumo à descarbonização, principalmente nos setores de difícil eletrificação. De acordo com as políticas mundiais de transição energética, o Brasil tem intensificado os esforços rumo a uma matriz energética cada vez mais limpa e com menor impacto ambiental. Nesse sentido, o país busca adotar medidas que reafirmem seu compromisso com ações de sustentabilidade estabelecidas em âmbito mundial. O Brasil conta com uma matriz energética diversificada, que abrange diferentes fontes, como carvão mineral, petróleo e derivados, gás natural, urânio, lenha, carvão vegetal e energia hidráulica (Brasil, 2024).

Nesse contexto, o Ministério de Minas e Energia do Brasil formulou o Programa Nacional de Hidrogênio Verde (H<sub>2</sub>V) e o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050). O Hidrogênio Verde (H<sub>2</sub>V) surge como um vetor energético estratégico, tanto global quanto nacional, dada a sua capacidade de ser produzido a partir de fontes renováveis, como a eólica e

a solar, que apresentam baixas taxas de emissão de gases de efeito estufa (GEEs). Segundo Chaves (2021), a transição para uma matriz energética mais limpa, que se iniciou recentemente, é uma necessidade óbvia para evitar enormes catástrofes, mas também é vista como uma oportunidade de crescimento econômico e de criação de novos empregos. Assim, a energia renovável é compreendida como aquela que provém de recursos ou fontes de energia naturalmente reabastecidos, como o sol, o vento, a chuva, as marés, a energia geotérmica e a energia nuclear. As fontes de energia renováveis são aquelas que se renovam, ou seja, não se esgotam, pois estão em constante regeneração (Sousa, 2024). Ainda segundo Jacobson *et al.* (2019), a matriz energética pode ser definida como o conjunto de fontes utilizadas para suprir as demandas de energia, o que reflete diretamente os impactos ambientais e sanitários de países e instituições.

Diante de tal complexidade e da urgência de criar e implementar novas tecnologias de energia renovável, como o H<sub>2</sub>V, tais desafios têm demandado um esforço conjunto dos mais diversos agentes sociais, esforços que, muitas vezes, transcendem as fronteiras institucionais e setoriais da economia. O sucesso desses esforços depende substancialmente da formação e da gestão eficientes de redes de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), que atuam como hubs de colaboração, sinergia e inovação aberta entre academia, indústria e governo. Os Hubs são ambientes de colaboração e inovação aberta, gerando oportunidades por meio da sinergia entre diferentes atores que interagem de forma colaborativa e compartilham propósitos comuns e, em sua grande maioria, buscam soluções inovadoras (SEBRAE, 2023).

Nesse contexto, o Estado do Ceará tem se consolidado como um polo específico e estratégico para a Transição Energética no Brasil, devido ao seu potencial e à disponibilidade de fontes de energia renováveis, como a eólica e a solar, além da criação do Hub de Hidrogênio Verde no Complexo Industrial e Portuário do Pecém. Em resposta a essa necessidade de mudança da matriz energética em nível mundial e local, foi instituída, por meio de um edital da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), uma rede de pesquisa e inovação em energias renováveis do estado do Ceará (Rede Alpha – nome fictício). A Rede Alpha configura-se como uma estrutura pioneira, congregando mais de 70 pesquisadores e 26 unidades de pesquisa de 14 Instituições de Ensino Superior e de Ciência e Tecnologia (IES/ICTs), com a missão de promover a PD&I colaborativa para o setor.

## 1.2 Problematização

Compreender a dinâmica da interação entre os diferentes atores sociais envolvidos

na transição da matriz energética, em nível mundial e local, pode se tornar uma ferramenta poderosa para o aprimoramento das redes de colaboração. Embora haja uma crescente conscientização global sobre o uso de fontes de energia limpa, diversos entraves dificultam a transição da matriz energética, tanto em escala global quanto em escala nacional. Para Rocha *et al.* (2013), as mudanças, em curto prazo, na demanda por energia e na contribuição relativa de cada tipo de combustível na matriz energética mundial ocorrerão principalmente em função de condições econômicas, da variação dos preços associados a cada tipo de demanda e de possíveis impactos ambientais. Ainda segundo os autores, as mudanças em uma escala de tempo maior poderão ocorrer de forma mais efetiva, a depender de como os agentes envolvidos se comportarão e dos reais impactos que as ações governamentais poderão ter nos mercados de energia, em resposta aos desafios energéticos futuros.

Apesar de os Hubs serem vistos como ambientes de colaboração, inovação e oportunidades para a transição da matriz energética brasileira/cearense para uma matriz mais limpa, há uma lacuna na literatura sobre as redes de colaboração envolvidas nesses processos (Jaber, 2021). A compreensão das redes de colaboração para o desenvolvimento de uma nova matriz energética mostra-se como uma oportunidade ímpar para investigação acadêmica, pois, ao identificar e estudar essas redes, pode-se compreender os desafios e as oportunidades que elas encontram em suas estruturas de funcionamento. Dessa forma, tal conhecimento pode ser utilizado para o manuseio estratégico dessas redes de colaboração, o que possibilitará uma tomada de decisão mais assertiva e maior eficiência em seu funcionamento.

Para que o sucesso de iniciativas do porte da Rede Alpha seja possível, diversos fatores devem estar alinhados, a começar pela capacidade de a rede mobilizar e integrar o conhecimento de seus participantes. A estruturação de uma rede de colaboração em PD&I é um processo complexo que envolve múltiplas dimensões. Esses ambientes estão sujeitos a desafios como a coordenação de múltiplos atores, a resistência ao compartilhamento de recursos e a ineficiência na transferência de conhecimento, bem como a dificuldade de captar novos recursos materiais, financeiros e humanos para a rede (Leite; Caregnato; Miorando, 2018).

Para Sant'ana (2016), apesar dos trabalhos realizados em redes de colaboração em pesquisa poderem ser valorizados por sua capacidade de transcender fronteiras institucionais e promover o conhecimento de forma mais colaborativa, eles enfrentam desafios e impasses complexos na contemporaneidade. O cenário acadêmico é marcado pela exigência de que os pesquisadores ajustem seus interesses pessoais aos coletivos e, ao mesmo tempo, cumpram as demandas de um modelo concorrencial focado em produtividade e resultados acadêmicos, o que pode sobrecarregá-los e gerar tensões e conflitos, além de exigir tempo para que os

resultados de algumas pesquisas surjam. Para o autor, as dificuldades também decorrem da existência de lógicas de ação antagônicas entre os pesquisadores, que podem ver a relação como competição ou rivalidade, e do risco de uma divisão do trabalho injusta, ou seja, assimétrica, em que o prestígio pode levar a distorções no reconhecimento meritocrático dos integrantes dos grupos de pesquisa. Além disso, a dependência de financiamentos e as exigências de avaliação externa, muitas vezes baseadas em critérios de internacionalização rígidos, podem ameaçar a autonomia e a sobrevivência de algumas instituições e projetos em uma rede de colaboração, ao impor a necessidade constante de explicitar os papéis e a divisão do trabalho para evitar mal-entendidos e garantir a colaboração efetiva.

Em uma revisão sistemática sobre *Knowledge Hubs* (Centros de Conhecimento), identificou-se que a colaboração em rede traz amplos benefícios para diversos *stakeholders* (acadêmicos, comunidade, etc.), melhorando a disseminação do conhecimento e a eficácia das intervenções. Contudo, a colaboração enfrenta limitações comuns, como financiamento escasso, gestão do tempo e conflitos de perspectiva, além de dificuldades operacionais relacionadas à sustentabilidade, à clareza de papéis e à baixa confiança da comunidade na academia, o que exige estratégias específicas para mitigar esses desafios (Brar *et al.*, 2025).

Apesar da reconhecida importância das redes no contexto da transição energética e da inovação, a literatura apresenta uma lacuna quanto à compreensão da estrutura interna e da dinâmica de colaboração nas redes de pesquisa. Especificamente, na Rede Alpha, uma iniciativa recente e estratégica para o estado do Ceará, há falta de conhecimento sobre como a estrutura de colaboração planejada (rede *a priori*) se manifesta na prática entre os pesquisadores. Quais atores se destacam como centrais ou intermediários no fluxo de informação e conhecimento? Quais desafios estruturais podem limitar o potencial colaborativo e, conseqüentemente, o impacto da rede?

Além disso, na visão de Jannuzzi (2024), instrumentos como o RenovaBio, certificados de carbono e subsídios a tecnologias limpas são fundamentais para acelerar as mudanças rumo a uma matriz energética mais limpa e sustentável. Por fim, o autor destaca que o sucesso da transição energética no Brasil depende da integração entre inovação, reformas regulatórias e cooperação multissetorial, aliando desenvolvimento econômico à sustentabilidade. O país tem, assim, a chance de se tornar uma referência global em energia limpa, desde que priorize investimentos estratégicos e inclusão social. Invariavelmente, a mudança para uma matriz energética mais limpa não será fruto de um processo espontâneo ou natural, instituída na boa vontade de indivíduos e de nações. Mas sim, um resultado de batalhas, negociações, parcerias e avanços incrementais conquistados na dimensão democrática,

decorrente de uma nova governança dos recursos e do ambiente (Lampis *et al.*, 2021).

Outros estudos destacam limitações políticas, econômicas e geopolíticas que dificultam a transição energética nos preceitos atuais de sustentabilidade. Ainda segundo Lampis *et al.* (2021), o autor discorre que, ao nível macro, os conflitos que caracterizaram um contexto de transformação energética são também reflexo da ausência de marcos políticos comuns entre os países, o que pode atrasar o desenvolvimento de uma matriz energética de baixo carbono. No Brasil, o autor pontua duas limitações modernas na renovação da matriz energética: a primeira é a falta de espaço dedicado à construção de diálogos institucionais entre atores locais, a comunidade científica e os corpos políticos formais, o que dificulta uma governança multinível; a segunda limitação citada pelo autor é o impacto recente do progressivo desmonte da institucionalidade ambiental no país, em todos os níveis hierárquicos da governança. O autor conclui que a limitação dessas novas abordagens utópicas, porém, decorre da dificuldade que apresentam em reconhecer o caráter conflitivo das sociedades capitalistas contemporâneas.

Em um estudo intitulado “Transição energética no Brasil”, Jannuzzi (2024) apresentou as oportunidades associadas à descarbonização da matriz energética brasileira, articulando-as aos desafios socioeconômicos e ambientais. Do ponto de vista do autor, o país possui condições únicas para liderar uma transição exemplar, devido à abundância de recursos naturais, como energia solar, eólica (*onshore e offshore*) e biomassa, que permitem trajetórias de descarbonização mais rápidas e econômicas. A energia eólica offshore, por exemplo, pode aproveitar a infraestrutura do setor de petróleo e gás para se consolidar como fonte estratégica.

Neste conjunto de circunstâncias, torna-se fundamental conhecer a estrutura de interações entre os pesquisadores que fazem parte da Rede Alpha, possibilitando uma melhor compreensão desse espaço de interação e colaboração entre múltiplos pesquisadores da rede, uma vez que essa rede terá um papel importante no desenvolvimento de tecnologias que, por sua vez, viabilizam a construção de uma matriz energética de baixo carbono no estado do Ceará. Dessa forma, este trabalho busca responder: De que maneira a diferença entre a estrutura de colaboração planejada (*a priori*) e a rede de interações que efetivamente emergiu (*a posteriori*) na Rede Alpha revela desafios e oportunidades para a consolidação de sua rede de pesquisadores?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo geral***

Investigar as dinâmicas de interação na Rede Alpha por meio do contraste entre sua estrutura planejada e sua rede emergente, a fim de compreender os fatores que impulsionam ou dificultam a cooperação entre seus membros.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a) Apresentar a rede de pesquisadores da Rede Alpha e como ela está estruturada em seu planejamento (*rede a priori*);
- b) Apresentar a rede de pesquisadores da Rede Alpha e como ela está estruturada em seu planejamento *a posteriori* (rede emergente);
- c) Analisar comparativamente a estrutura *a priori* vs a estrutura emergente da Rede Alpha;
- d) Discutir as oportunidades e os desafios identificados na estrutura de interação entre os pesquisadores da Rede Alpha.

### **1.4 Justificativa**

É praticamente um consenso entre os diversos atores sociais de que o desenvolvimento dos países deve considerar a adoção de uma nova matriz energética, capaz de atender às necessidades humanas, ao mesmo tempo em que contribua para a preservação do meio ambiente, pois o atual modelo socioeconômico não é sustentável a longo prazo (Krell; Souza, 2020). Nesse sentido, a crescente preocupação com questões ambientais e sociais tem fomentado a criação de grupos de colaboração que unem esforços para desenvolver fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Segundo Borim-de-Souza *et al.* (2023), o desenvolvimento sustentável é uma construção discursiva, socialmente compartilhada, baseada em padrões euro-americanos universais e generalizáveis, disseminados pelo circuito cultural do capitalismo.

O relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) de 2018 alerta que o aquecimento global deverá atingir 1,5°C entre 2030 e 2050, caso o ritmo atual de emissão de gases de efeito estufa (GEE) seja mantido. Nessa situação, os riscos aos sistemas naturais e humanos seriam bem maiores em 1,5 °C do que nos níveis atuais de temperatura. O relatório aponta para pontos de não retorno, destacando a ameaça de impactos duradouros e irreversíveis, como a perda de ecossistemas e o derretimento das camadas de gelo da Antártida e Groenlândia, que podem ser desencadeadas entre 1,5°C e 2°C de aquecimento,

o que resultaria em elevação dos oceanos ao longo de séculos, além da liberação de mais dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que está preso há milhares de anos abaixo da camada de gelo (*Permafrost*). Para mudar a situação e limitar o aquecimento a 1,5°C, o relatório aponta para a necessidade de reduções “rápidas e de longo alcance” nas emissões globais de CO<sub>2</sub> em cerca de 45% até 2030, em relação aos níveis de 2010, chegando a emissão zero por volta de 2050. O relatório conclui que tais transições de sistemas, até então sem precedentes em escala, exigem cooperação internacional e um aumento significativo do investimento em mitigação e adaptação para evitar a dependência de tecnologias futuras de remoção de dióxido de carbono em larga escala (IPCC, 2018).

A energia é um ingrediente fundamental para o desenvolvimento socioeconômico. A crescente demanda mundial por esse recurso tem levado governos e empresas a buscar novas fontes de energia. Não só o consumo de energia aumenta, mas também o uso de fontes renováveis de energia é cada vez mais solicitado, visto a necessidade de combater a emissão de gases de efeito estufa (GEEs). O Brasil possui um enorme potencial para o uso de fontes de energia limpa. Segundo Brasil (2024), dos 200 GW alcançados, 84,25% provêm de fontes renováveis e 15,75% de fontes não renováveis (dos quais 1% de origem nuclear). Atualmente, as três maiores fontes renováveis que compõem a matriz de energia elétrica brasileira são hídricas (55%), Eólica (14,8%) e Biomassa (8,4%) e, das fontes não renováveis, as maiores são Gás Natural (9%), Petróleo (4%) e Carvão Mineral (1,75%). Para Vichi e Mansor (2009), o Brasil se destaca dos demais países por um motivo bem simples: a matriz brasileira já é cerca de 46% renovável, em comparação à média mundial de 12%.

Entendem-se por fontes de energia renováveis as fontes naturais de energia que se regeneram em uma escala de tempo de uma vida humana, substituindo o uso de combustíveis fósseis. São opções inesgotáveis, com impacto ambiental reduzido, pois não geram resíduos, como o dióxido de carbono. Exemplos de energia renovável incluem solar, eólica, hidrogênio verde, hidrelétrica, geotérmica e biomassa (Brasil, 2024).

A sociedade continuará a demandar por mais energia no futuro, conforme já anunciado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a previsão de crescimento da geração de energia elétrica do país para 2024 é de 10,1 Gigawatts (GW). Este será o segundo maior avanço anual já verificado pela Agência desde sua criação em 1997 – atrás apenas do crescimento de 10,3 GW em 2023 (Brasil, 2023). Dado o aumento do consumo de energia pela sociedade brasileira, o presente trabalho terá como contribuição prática a identificação das principais características da Rede Alpha, o que contribuirá para o seu fortalecimento e para uma colaboração mais eficiente entre os atores da rede.

Pode-se compreender a transição da matriz energética como mudanças no suprimento nacional de energia ou como a descoberta de novos recursos energéticos (Gaspar Filho; Santos, 2022). Nesse sentido, ao se estudar a rede de pesquisa e inovação em energias renováveis no estado do Ceará (Rede Alpha), o presente trabalho terá como contribuição prática uma melhor compreensão e o fortalecimento dessa rede de colaboração, tornando-a mais dinâmica. O que, por sua vez, contribuirá para a criação de novas tecnologias que viabilizem o desenvolvimento de uma matriz energética mais limpa e eficiente no estado do Ceará. Já Bascompte (2007) discorre sobre como a Análise de Redes Sociais (ARS) pode contribuir para o desenvolvimento de redes mais sustentáveis e dinâmicas. O autor destaca que a estrutura topológica das redes sociais influencia diretamente processos evolutivos e cooperativos, essenciais à sustentabilidade das redes de colaboração.

Diante da transição energética no estado do Ceará, o hidrogênio verde tem emergido como alternativa às fontes não renováveis. Para Galembeck (2022), o hidrogênio está se tornando um importante vetor de energia devido às suas características: ao ser queimado, o único resíduo produzido é muito calor e água, sem emitir gases de efeito estufa (GEEs); por isso, está assumindo um papel importante na economia. O hidrogênio tem sido cada vez mais visto como uma alternativa energética, devido ao seu baixo impacto ambiental e alto valor energético.

Por meio do paradigma de Análise de Redes Sociais (ARS), este trabalho buscará analisar a rede de pesquisa e inovação em energias renováveis no estado do Ceará (Rede Alpha). Para Vermelho, Velho e Bertoncetto (2015), a análise de redes sociais é a aplicação da teoria de redes à modelagem e ao entendimento de sistemas sociais. Essa teoria combina uma série de ferramentas práticas para analisar relações sociais e explicar estruturas sociais. Suas linhas se interligam em múltiplos nós como vínculos indissolúveis. Isso constitui uma “rede”. Se os “Nós” forem desfeitos, a rede deixa de existir e torna-se um emaranhado de linhas; assim, a essência reside em suas ligações. Ainda para o autor, muito mais do que uma tecnologia da moda, as ARS podem responder a questões humanas que constituem elementos de tensão na sociedade atual.

Desta forma, quanto à perspectiva acadêmica, a pesquisa contribui ao aplicar a Análise de Redes Sociais (ARS), uma ferramenta metodológica robusta, utilizada para mapear e descrever sistematicamente as ligações e a estrutura da Rede Alpha. O estudo da estrutura de redes de colaboração em PD&I, por meio da ARS, tem se mostrado frutífero nas ciências sociais, e esta análise auxilia outros pesquisadores na investigação de redes voltadas à sustentabilidade. Para Pinto e Junqueira (2009), as redes sociais referem-se a um conjunto de

indivíduos e organizações conectados que vão construindo e reconstruindo a estrutura social. Essas conexões se dão por meio de relações sociais que se manifestam de diversas maneiras e expressam a complexidade do mundo social.

Nesse contexto, ao analisar a rede de pesquisa e inovação em energias renováveis no estado do Ceará (Rede Alpha), busca-se identificar as principais características dessa rede e as oportunidades e os desafios que ela tem enfrentado em seu desenvolvimento. Capaz e Marvulle (2006) concluem que os estudos sobre as redes de colaboração procuraram compreender como as empresas incorporam práticas sustentáveis em suas operações e como isso afeta sua competitividade e gera impacto na sociedade. A linha de pesquisa “Estratégia e Sustentabilidade” oferece um campo fértil para a análise dessas questões e contribui para o avanço do conhecimento sobre o tema.

Uma rede, assim, é uma metáfora para observar os padrões de conexão de um grupo social, a partir das conexões estabelecidas entre os diversos atores. A abordagem de rede tem, assim, seu foco na estrutura social, na qual não é possível isolar os atores sociais nem suas conexões. O estudo das redes sociais na internet, assim, concentra-se no problema de como as estruturas sociais surgem, de que tipo são, como são compostas por meio da comunicação mediada pelo computador e como essas interações mediadas são capazes de gerar fluxos de informação e trocas sociais que impactam suas estruturas (Recuero, 2009). Em termos práticos, ao identificar os principais atores, os clusters de colaboração e os potenciais gargalos estruturais (como a falta de intermediação ou a baixa densidade de conexões), os resultados geram dados relevantes. Esse conhecimento pode ser utilizado pelos gestores da Rede Alpha para otimizar a colaboração, promover a eficiência na alocação de recursos e impulsionar o desenvolvimento de energias renováveis no estado do Ceará. Por fim, as contribuições beneficiam diretamente a sociedade, ao proporcionar acesso mais rápido a fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho tem por objetivo estabelecer as bases para a compreensão da colaboração em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), com foco nas redes interorganizacionais e em sua estrutura de governança. O estudo busca justificar o papel central das redes no desenvolvimento tecnológico, especialmente no contexto da transição energética.

Para tanto, a fundamentação irá abordar tópicos como o conceito e as tipologias de redes de colaboração; o papel do capital social e da confiança na facilitação das trocas complexas; o modelo da Hélice Tríplice como arcabouço para a articulação entre Universidade, Indústria e Governo; os mecanismos de governança e a dinâmica estrutural das redes (incluindo laços fracos, buracos estruturais e densidade); e a aplicação da Análise de Redes Sociais (ARS) como ferramenta metodológica em estudos anteriores.

Na revisão da literatura, foram utilizadas as plataformas Periódicos Capes/Acesso Café, SciELO, Web of Science e SPELL. Os termos de busca utilizados foram: (Redes de Pesquisa e Desenvolvimento, Redes de colaboração e sustentabilidade, Evolução de *Clusters*, Dinâmica de Redes, Redes e inovação, ARS e PD&I). Os termos de busca também foram pesquisados em inglês (*Research and Development Networks, Collaboration Networks and Sustainability, Cluster Evolution, Network Dynamics, Networks and Innovation, Local Productive Arrangements, Research and Development*). Nas buscas foram encontrados mais de 4.500 artigos relacionados aos termos de busca. Obtiveram-se 40 artigos após a aplicação de filtros, como a busca por todos os termos, o recorte temporal de cinco anos para alguns termos, a seleção de artigos revisados por pares e de acesso aberto. Para remover artigos duplicados de bases de dados diferentes, foi utilizado o *software Bibliometrix* (Ariolli; Cuccurullo, 2017). Além das buscas nos periódicos, foram utilizados como fonte para fundamentar essa pesquisa dados de livros, dados governamentais, estudos realizados por instituições privadas e independentes, como a Associação Brasileira de Hidrogênio (ABH2), além de documentos fornecidos pela Rede Alpha.

### 2.1 A colaboração em pesquisa e inovação: fundamentos teóricos

O conceito de rede já vem sendo delineado há muito tempo. O conceito já foi utilizado como forma de organização social e na gestão de serviços sociais em outros períodos da história humana. Para Rufino e Bonfim (2015), as redes são o resultado das interações entre

indivíduos e organismos que se ligam entre si pelo compartilhamento de informações e valores na busca de um objetivo comum. Estes são os requisitos básicos para a formação de uma rede; contudo, os autores reconhecem que elas podem apresentar conceitos diferenciados, dependendo do campo em que se encontram inseridas.

As redes podem surgir por meio de diversos fatores que permeiam a sociedade. Para Bozeman e Lee (2005), as redes são um processo de aprendizagem, caracterizado pela incerteza e pelo risco na dinâmica de interação entre muitos atores. Assim, a formação de redes tem se tornado um fator decisivo para o sucesso do desenvolvimento econômico e para o triunfo da inovação em uma sociedade cada vez mais dinâmica. A produção de conhecimento colaborativa tem sido um modo dominante e promissor de gerar novos conhecimentos de alta qualidade para a sociedade. Nesse sentido, diversas iniciativas, sejam públicas ou privadas, têm apoiado a formação de redes que podem contribuir para a melhoria da competitividade econômica e tecnológica de um setor ou de um país (Koschatzky, 2001).

O funcionamento da sociedade atual pode ser compreendido à luz de uma lógica de redes. Na economia, por exemplo, o grande crescimento econômico da segunda metade do século XX ao início do século XXI, em países como os Estados Unidos e alguns europeus, está associado a três processos, sendo que todos eles são condições necessárias para que o crescimento da produtividade e, conseqüentemente, da economia tenham ocorrido. Estes seriam: a geração e difusão de novas tecnologias relacionadas à revolução da microeletrônica/digital de comunicação e informação, com base em investigação científica e inovação tecnológica; a transformação do trabalho, com o crescimento de trabalho altamente qualificado, autônomo, capaz de inovar e de se adaptar a mudanças globais constantes e à economia local; e, por último, a difusão de uma nova forma de organização em torno de redes. Somente a junção dessas três condições em uma empresa, num setor, numa região ou num país é que a produtividade aumenta substancialmente, e só quando isto acontece é que é possível sustentar a competitividade a longo prazo (Castells; Cardoso, 2005).

No atual cenário de constante inovação, para que possam se manter competitivas, as empresas precisam construir e gerenciar redes de negócios colaborativos para atender às necessidades (Chen; Dai; Li, 2018). A necessidade de acesso a novos recursos de diferentes tipos, como conhecimentos que possibilitem inovações, orienta as instituições a formar redes de colaboração com outras organizações sociais. Assim, quando uma organização se abre ao ambiente externo, ela poderá acessar conhecimentos relevantes para o seu processo de inovação. A formação dessas redes sociais de colaboração contribui para identificar oportunidades, mitigar riscos e facilitar a governança (Sousa; Sousa, 2023).

A formação de redes de colaboração em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) tem se mostrado um dos pilares centrais na construção das bases teóricas da inovação contemporânea. A abordagem surgiu como uma resposta à crescente complexidade dos processos de inovação tecnológica, ainda mais em atividades que exigem alta especialização no desenvolvimento de novos conhecimentos, o que tende a demandar maior esforço coletivo e, muitas vezes, leva ao surgimento de novos arranjos e modelos de negócio (Pires; Teixeira; Hastenreiter Filho, 2013). Ainda segundo os autores, no aspecto conceitual, é essencial o entendimento dessas redes no modelo de inovação conhecido como Hélice Tríplice, que sustenta que a inovação deve considerar a articulação entre três esferas: universidade, empresa e governo. Esse modelo levaria à Inovação Aberta, entendida como o uso de fluxos de conhecimento internos e externos para acelerar o processo de inovação.

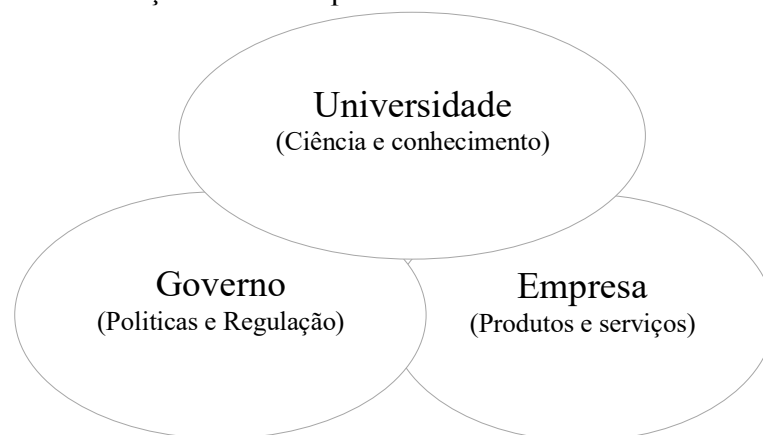
Para Marques *et al.* (2022), a inovação aberta é um novo paradigma de inovação, proposto por Chesbrough em seu livro de 2003, intitulado “*Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*”. A ideia era ir além da visão tradicional sobre inovação, rompendo com a noção de inovação fechada. Enquanto o modelo fechado trabalha com a ideia de que o sucesso organizacional depende do controle total sobre a inovação, ou seja, gerar ideias, desenvolver, fabricar, comercializar e prestar serviços internamente com pouca colaboração com agentes externos, o modelo de inovação aberto pontua que essa abordagem já não atende às necessidades da sociedade moderna e que seria necessária a interação com os múltiplos agentes da sociedade, o que possibilitaria uma maior capacidade de inovação. Nesse sentido, a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) estabeleceria uma relação entre a empresa e o ambiente externo, como o governo, as universidades e a sociedade como um todo. A interação e a cooperação com diversos atores externos são consideradas essenciais no modelo de inovação aberta, pois trazem conhecimento externo que complementa o conhecimento interno da organização e amplia as capacidades de inovação. Esta estratégia de colaboração permitiria que as empresas alcançassem maior flexibilidade estratégica e desenvolvessem inovações melhores e em maior número.

Apesar de o alinhamento a modelos teóricos demonstrar grande potencial para a formação de arranjos interorganizacionais permanentes, o sucesso e a plena realização desse potencial dependem de uma análise crítica dessas redes, bem como da capacidade de gestão e de desenvolvimento dos participantes. Para Braga, Gomes e Ruediger (2008), não basta uma alta produção científica individual para o sucesso de uma comunidade acadêmica. É necessária uma forte interação entre pares, entre grupos e entre organizações; tais elementos seriam essenciais para a construção de uma comunidade de pesquisa sólida. Portanto, para que a

colaboração aconteça efetivamente, é preciso avançar no desenvolvimento da capacidade de atuação em redes e na construção de ambientes institucionais que possibilitem o máximo de colaboração, levando à transformação do potencial teórico em sucesso prático e sustentável. Além disso, os eventos acadêmicos são uma ferramenta determinante para alcançar os objetivos de uma rede de colaboração, pois esta tem a capacidade de estimular a disseminação do conhecimento (Rodrigues; Homrich; Carvalho, 2021).

No que tange aos modelos que buscam explicar a formação de redes, o modelo da Hélice Tríplice é uma referência em nível analítico e prático nesse quesito, sendo essencial para a colaboração em pesquisa e inovação, pois traz a ideia de integrar a Universidade/Academia como ator primário às parcerias público-privadas tradicionais, ao lado da Indústria e do Governo (Etzkowitz; Zhou, 2017). Nesse sentido, a ideia seria que essas interações entre os três agentes constituem o tripé do desenvolvimento socioeconômico baseado no conhecimento, uma vez que a presença de um terceiro elemento atua como mediador, mitigando potenciais conflitos em uma relação bilateral e fomentando a reflexividade e a produção de novidades. Assim, a Hélice Tríplice não só explicaria a formação de redes de colaboração em P&D, como seria crucial para a geração e a utilização do conhecimento avançado, como também na orientação quanto à criação de organizações híbridas como incubadoras e Hubs, que na prática são o resultado dessas dinâmicas institucionais reconfiguradas de maneira empreendedora.

Figura 1 – Modelo de inovação Hélice Tríplice



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Etzkowitz; Zhou (2017).

Nesse contexto, a estratégia de Inovação Aberta torna-se um vetor fundamental para a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) na sociedade contemporânea, ao reconhecer que a inovação não depende apenas de recursos internos, mas também da interação com diversos agentes externos, como sociedade, governo, concorrentes, clientes, fornecedores e

consultores. Todavia, o impacto dessas interações não é uniforme, pois diferentes formas de cooperação influenciam, de maneiras distintas, a implementação de tipos variados de inovação, sejam elas de informação, gerais, de produto ou tecnológicas. Portanto, a efetividade das ações de PD&I colaborativa reside na capacidade das organizações de modular suas interações externas conforme o tipo específico de inovação que se busca implementar (Marques *et al.*, 2022).

Ainda segundo Avellar, Damasceno e Silva (2021), a cooperação para inovação é indispensável para as empresas que buscam um posicionamento competitivo no mercado, pois, alinhada à abordagem do Sistema Nacional de Inovação (SNI), permite o acesso a conhecimento tecnológico externo que complementa os esforços internos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). No contexto de um país em desenvolvimento, como o Brasil, a decisão de cooperar é multideterminada, sendo positivamente influenciada pelo aumento do gasto em P&D, pelo tamanho da empresa, pela qualificação da mão de obra, pela presença de capital estrangeiro, pelo apoio governamental e pela importância atribuída às instituições de pesquisa como fonte de informação. Além disso, a relevância da cooperação é reforçada pela constatação de que o conhecimento interno das empresas, isoladamente, tornou-se insuficiente para alcançar uma inserção inovadora e sustentável no mercado.

Nesse contexto de inovação por meio de redes de colaboração, Análise de Redes Sociais (ARS) tem se tornado uma poderosa metodologia/ferramenta capaz de interpretar as diversas nuances existentes em uma rede de colaboração. Para Freeman (2004), a utilização da ARS no estudo de redes de colaboração permite identificar os principais influenciadores de uma rede. Podem ser formadores de opinião ou guardiões da informação, ou seja, pessoas que controlam o acesso dos tomadores de decisão da organização. Ainda segundo o autor, ao analisar como as informações se espalham em uma rede, pode-se entender como rumores, notícias ou até mesmo doenças se propagam. Além disso, a ARS pode revelar subgrupos, grupos ou comunidades dentro de uma rede maior. Isso pode ser crucial para a compreensão da dinâmica social, revelando estruturas ocultas na rede. Por fim, o autor aponta que a utilização da ARS na compreensão das dinâmicas das redes sociais pode contribuir para melhorar a tomada de decisões nos negócios, ajudando a tomar decisões informadas sobre estratégias de marketing, estruturas organizacionais, entre outras.

Diante disso, a análise dos fundamentos teóricos revela que a colaboração em Pesquisa e Inovação (P&D) ocorre em uma sociedade dinâmica, que pode ser entendida como uma sociedade em rede (Cardoso; Castells, 2005). Desta forma, a formação de alianças vai muito além das características meramente econômicas, sendo profundamente influenciada pela

estrutura de laços sociais prévios e pela confiança, atuando como um poderoso capital social que facilita a governança, mitiga riscos e melhora o desempenho (Gulati, 1998; Marques *et al.*, 2022). Esse cenário justifica a necessidade de mecanismos como o modelo da Hélice Tríplice, pois este é capaz de sistematizar, formalizar e tornar intencional a articulação de redes de colaboração (Etzkowitz; Zhou, 2017), estruturando a P&D a partir da interação dinâmica entre Universidade, Indústria e Governo.

Além disso, a efetividade da inovação em áreas complexas exige uma inovação aberta, que integre diversos atores externos, qualificando a colaboração para o acesso a conhecimento tecnológico complementar e para a superação de fragilidades no contexto de países em desenvolvimento (Avellar; Damasceno; Silva, 2021). É neste cenário teórico que se encontram redes como a Rede Alpha. Ao se configurar como uma rede secundária e formal, ela busca mobilizar instituições e indivíduos (Governo, Academia, Setor Privado) em torno de um objetivo comum: a construção de uma matriz energética mais limpa.

## **2.2 Governança e dinâmica de redes de P&D**

No que tange à governança de redes e alianças entre organizações, a confiança desempenha um papel importante, sendo uma poderosa ferramenta de coordenação que muitas vezes pode substituir, ou até mesmo proteger, contratos formais e a vigilância burocrática. Para Gulati e Sytch (2008), a formação de confiança nessas alianças é influenciada pela história de interação entre os parceiros, sendo que a familiaridade, ou seja, a frequência e a duração dos laços prévios, é um antecedente crítico para o desenvolvimento dessa confiança. Na visão do autor, essa familiaridade não apenas reduz a incerteza e os custos na busca de novos parceiros, mas também estabelece uma base para a governança relacional, fundamental para o desempenho sustentável da aliança, especialmente em ambientes em que o conhecimento e os riscos são compartilhados.

Para Lopes e Baldi (2009), as redes representam uma forma de organização que se estabelece como uma estrutura de governança híbrida, posicionando-se teoricamente entre o mercado, caracterizado pela concorrência e pelo uso do preço, e a hierarquia, caracterizada pela autoridade e pela integração vertical. Essa governança em rede se distingue por utilizar mecanismos de coordenação baseados, em sua grande maioria, na confiança, na reputação e na sobreposição dos laços sociais, em contraste com os contratos formais rígidos e os comandos burocráticos. A escolha por essa estrutura de governança pode ser justificada pela necessidade de gerenciar a interdependência e a incerteza inerentes às atividades de P&D, permitindo o

acesso a recursos especializados e a adaptação rápida, sem incorrer nos altos custos de transação associados à integração total.

Em um estudo intitulado “Contexto institucional de referência e governança de redes: estudo em arranjos produtivos locais do estado do Paraná”, Castro (2014) aponta que a governança de redes no âmbito de P&D e inovação, como os Arranjos Produtivos Locais (APLs), é fortemente influenciada pelos valores compartilhados no contexto institucional de referência. Em vez de depender apenas de mecanismos formais, a configuração da governança é positivamente afetada pelo grau de cooperação percebido e internalizado pelos atores locais. Isso sugere que os mecanismos de governança bem-sucedidos em redes de inovação são fruto das relações locais e do significado compartilhado entre os atores dessas redes, o que evidencia a cultura colaborativa e a interpretação comum do ambiente, fatores determinantes que permitem que o conceito da rede ganhe concretude e sustente a articulação entre os diferentes atores.

No contexto da Análise de Redes Sociais, os atores que ocupam uma posição de intermediação estratégica, preenchendo os chamados buracos estruturais (ou seja, atuando como ponte entre clusters ou grupos que, de outra forma, estariam isolados), adquirem vantagens que os diferenciam na rede. Entende-se que essa posição permite ao ator obter acesso mais precoce e diversificado a informações não redundantes, constituindo uma fonte de conhecimento heterogênea. Para Ferreira (2011), tais vantagens não se limitam à informação, possuindo a capacidade de se converterem em poder e controle sobre o fluxo de recursos da rede. Segundo o autor, essa seria a base teórica para justificar a importância da métrica de Centralidade de Intermediação na avaliação do desempenho e da capacidade inovadora dos atores organizacionais.

Corroborando Ferreira (2011), Brand (2015) afirma que no estudo da dinâmica das redes de colaboração, a estrutura social confere vantagens informacionais e de controle significativas aos atores que ocupam posições estratégicas. Nesse sentido, os atores que preenchem buracos estruturais em uma rede, ou seja, atuando como pontes que conectam *clusters* (grupos) que, de outra forma, estariam desconectados, adquirem uma posição de centralidade de intermediação. Esta posição privilegiada garante a esses atores acesso mais cedo e mais diversificado a fluxos de informação não redundantes, gerando, assim, vantagens estratégicas para a inovação e para o controle da rede. Portanto, a capacidade de intermediar a troca de conhecimento entre diferentes pontos da rede é determinante para a eficiência dessa rede de colaboração.

No estudo das redes sociais, a eficácia da circulação da informação nem sempre

depende dos pontos de centralidade de intermediação; em alguns casos, um dos recursos vitais para a inovação em rede é, paradoxalmente, garantido pelos “laços fracos”, em detrimento dos “laços fortes”, como os familiares e amigos íntimos. A teoria dos Laços Fracos (*The Strength of Weak Ties*), proposta pelo sociólogo Granovetter (1973), postula que as conexões fracas, por pertencerem a redes relacionais menos densas e mais dispersas, atuam como pontes para outras esferas sociais. Essa característica garante o acesso a um fluxo de informações não redundantes e mais diversificado, essencial para a identificação de novas oportunidades e recursos. Em contraste, Peixoto e Egreja (2012) argumentam que os laços fortes tendem a gerar um "fechamento" da rede, o que limitaria a propagação de novidades e reforçaria o conhecimento já existente no grupo.

Em redes de colaboração e de P&D, a governança relacional é considerada um forte pilar, sendo fundamental para a facilitação e as trocas de conhecimento e de recursos complexos nesse contexto. Para Gattaz (2010), a base dessa governança reside na confiança mútua e na reciprocidade entre os atores, que atuam como mecanismos de coordenação eficientes ao reduzir os custos de transação e de oportunidade. Contudo, enquanto redes caracterizadas por alta densidade de laços podem ser altamente eficientes para a execução de tarefas rotineiras e o compartilhamento rápido de conhecimento tático, tendem a ser deficientes em inovação radical, pois a redundância de informações e a coesão excessiva limitam a entrada de ideias e conhecimentos heterogêneos. Assim, a eficácia da rede de P&D depende do equilíbrio entre a confiança nas trocas e a estruturação para a inovação.

Confiança é vista comumente como o resultado de um processo no qual um relacionamento se desenvolve gradualmente, sendo propriedade de uma coletividade mais do que de um indivíduo isolado. Isso sugere que o relacionamento, e não o indivíduo, deve ser a unidade de análise na pesquisa da confiança (Cunha; Melo, 2004, p. 80).

Segundo Tálamo e Carvalho (2010), as redes de cooperação enfrentam diversos desafios em suas formas de governança. A construção de confiança é uma das principais barreiras apontadas pelos autores à formação de redes de cooperação para inovação. Na visão deles, este seria um ponto crítico comum a todas as redes. Outros aspectos, como as “dificuldades culturais”, podem criar barreiras ao aprendizado e dificultar o desenvolvimento sinérgico da rede. Outro ponto de atenção seria o “tempo necessário para se obter os resultados”; esse seria um fator crítico, pois a ausência de resultados em um determinado período pode desmotivar os participantes da rede. Além disso, outro ponto seria o equilíbrio dos laços: a rede precisa equilibrar os tipos de relacionamento. Laços fortes baseados em amizade ou família

ajudariam a construir confiança, segundo os autores, mas podem engessar a rede, bloqueando novos conhecimentos e deixando-a estacionária. Por outro lado, os laços fracos são essenciais para trazer novas informações, mas são menos estáveis em termos de confiança (Granovetter, 1973). Outrossim, os autores apontam para a gestão e a formalização adequadas da rede, pois o estabelecimento de instrumentos jurídicos adequados seria crucial para desmotivar possíveis oportunismos por parte de alguns membros, mas o desafio seria fazê-lo sem uma formalização excessiva que possa acabar engessando a rede, o que impediria o adequado fluxo de informação e, conseqüentemente, a evolução da rede. Por fim, a presença de um “gestor da rede” também é apontada como um aspecto crítico para o sucesso das redes.

### **2.3 Análise de Redes Sociais (ARS): conceitos fundamentais e métricas**

As complexas relações entre os mais diversos atores sociais deram origem a uma nova abordagem capaz de capturar as interações para além da estrutura formal das organizações. A Análise de Rede Social (ARS) é uma abordagem metodológica e teórica com raízes nas ciências sociais, que permite o estudo sistemático das relações e interações entre diferentes atores. Os primeiros instrumentos práticos, como os sociogramas, foram apresentados ao mundo ainda em 1930 por Jacob Moreno, mas a formalização do termo “rede” só ocorreu em 1954 por John Barnes (Ferreira, 2012). Para Bacharach e Lawler (1980), o estudo das redes de interação no mundo organizacional deve ser compreendido para além da estrutura formal organizacional, e tais redes se mostram como ambientes de poder capazes de influenciar as mais diversas dimensões organizacionais.

Rede social é uma estrutura social composta por indivíduos, organizações, associações, empresas ou outras entidades sociais, designados por atores, que estão conectadas por um ou vários tipos de relações que podem ser de amizade, familiares, comerciais, sexuais etc. Nessas relações, os atores sociais desencadeiam os movimentos e fluxos sociais, através dos quais partilham crenças, informação, poder, conhecimento, prestígio (Ferreira, 2011, p.213).

Para Freeman (1977), a origem da ARS nas ciências sociais remonta à década de 1920, com estudos de psicologia social que investigavam como o contexto social e os padrões de relacionamento influenciavam o comportamento individual de crianças pré-escolares nos Estados Unidos. Entretanto, a (ARS) começou a ganhar maior destaque a partir da publicação do livro “*Who Shall Survive*” (“*Quem Vai Sobreviver*”, em português), do sociólogo Jacob Moreno, em 1934, e da criação da revista *Sociometry* em 1937 (Wasserman; Faust, 1994). Já

para Emirbayer e Goodwin (1994), a análise de rede social é um conjunto de relações ou ligações entre atores, bem como entre os atores ligados entre si. Dessa forma, a análise de redes sociais permite o estudo sistemático de grupos sociais, possibilitando a interpretação de sua estrutura por meio de medidas específicas.

Ainda quanto ao conceito de Análise de Redes Sociais, Silva *et al.* (2006, p. 77) definem as redes sociais como “estruturas compostas por nós, ou vértices, que são os atores das redes sociais, conectados por um conjunto de linhas, ou arestas, que correspondem aos laços entre os atores”. Os autores destacam que uma das principais diferenças entre a ARS e outros estudos de interação está no foco, que recai sobre as ligações entre os elos, e não sobre as características ou atributos dos atores, de modo que a unidade de observação é composta pelo conjunto de atores e seus laços. Nessa perspectiva, os nós, ou vértices, representam os participantes da rede e são simbolizados por pontos ou círculos. As arestas são usadas para simbolizar as ações dos participantes em relação aos outros e são representadas por linhas (Souza *et al.*, 2019).

Ainda segundo Freeman (1979), a centralidade de uma rede, no sentido mais geral, é compreendida como a localização de um ponto em relação aos demais pontos. No entanto, essa visão se expandiu com o tempo, dividindo-se em três concepções de centralidade em redes sociais, que correspondem às três formas pelas quais um nó pode ser central: Grau, Intermediação e Proximidade.

Outro conceito sobre redes é o dos mundos pequenos. Esse conceito pressupõe que qualquer pessoa no mundo estaria a seis pessoas de outra.

O estudo clássico de Stanley Milgram sobre o "problema do mundo pequeno" revelou que a estrutura das redes sociais é muito mais conectada do que a intuição sugere. Ao contrário da crença popular de que seriam necessárias centenas de ligações, a pesquisa demonstrou empiricamente que, em média, apenas cinco conhecidos intermediários são suficientes para ligar duas pessoas aparentemente distantes nos Estados Unidos, evidenciando a natureza compacta do "mundo pequeno" (Milgram, 1967, p. 65).

Na análise de redes sociais com base na modelagem de grafos, o objetivo principal é compreender as relações entre os diferentes atores, em que o conceito de ator é entendido como uma unidade discreta, que pode ser uma pessoa ou um conjunto de pessoas, e que pode ser representada por uma unidade social coletiva, como uma organização. As características individuais dos atores são consideradas atributos, enquanto os laços representam as conexões entre pares de atores. Em estudos que utilizam ARS, podem-se identificar laços fortes, fracos ou ausentes. Os laços fracos, dependendo do contexto, são importantes porque podem conectar

partes da rede que não estão diretamente relacionadas entre si por meio de laços mais fortes (Granovetter, 1973). Uma relação, por sua vez, é definida como um conjunto de laços que segue o mesmo critério de relacionamento, enquanto o conjunto de atores em uma rede é chamado de grupo ou *cluster*, e seus subconjuntos, de subgrupos (Ferreira, 2018).

Segundo Tomaél e Marteleto (2013), os pesquisadores que utilizam ARS analisam atributos diádicos, ou seja, atributos relativos a um grupo de duas pessoas, ou ainda aqueles que ocorrem entre pares de indivíduos em relação a um terceiro indivíduo. Esses atributos diádicos, como as relações sociais, são representados por matrizes quadradas. Recuero (2017) acrescenta que, em uma rede, os nós podem representar elementos de uma mesma categoria (pessoas, organizações etc.), mas também podem compor redes de dois modos, nos quais coexistem dois tipos diferentes de nós, como indivíduos e organizações. Além disso, nos grafos de ARS, pode-se observar a formação de *clusters*, que são conjuntos de nós mais densamente conectados do que outros na rede. Já as conexões redundantes interligam o mesmo conjunto de nós, promovendo a circulação das mesmas informações, enquanto as conexões não redundantes conectam atores de diferentes grupos, trazendo novas informações à rede.

Como citado anteriormente, outro elemento comum nos grafos de ARS são os clusters, definidos como conjuntos de nós mais densamente conectados (ou mais interconectados) do que os demais na rede. As conexões redundantes, ou conexões que interligam o mesmo conjunto de nós, favorecem a circulação das mesmas informações. Já as conexões não redundantes são aquelas que interligam atores de diferentes grupos e podem trazer novas informações a esses grupos. As redes em ARS podem ser direcionadas, quando as conexões possuem direção (representadas por setas), ou não direcionadas, quando as conexões não têm direção ou quando a direção não é relevante, sendo representadas por linhas simples. Gomes (2018) destaca que a ARS utiliza um conjunto de métricas e técnicas para descrever as relações entre nós (atores ou vértices) e suas conexões (arestas), sustentando-se sempre em dados empíricos apresentados em gráficos e imagens. As métricas em ARS podem ser divididas em métricas de rede, que analisam a rede como um todo, como o nível de conectividade, e métricas de nó, que investigam as características individuais dos nós e sua posição na rede (Recuero, 2017).

A análise de redes sociais envolve o uso de um conjunto de métricas e técnicas que servem para descrever as relações entre nós e nossas conexões. Em ARS, as medidas podem ser divididas em métricas de rede e de nó. As métricas de rede são utilizadas para obter dados da rede como um todo, por exemplo, o quão conectada ela é. Já as métricas de nó buscam entender as características dos nós individualmente e as de sua posição na rede. As métricas de rede e de

nós que se seguem estão de acordo com o que é citado no livro da autora (Recuero, 2015). Assim, as métricas utilizadas em ARS são ferramentas poderosas para a compreensão das interações nas mais diversas redes que compõem a sociedade. Bakshy *et al.* (2012) destacam o poder das métricas de ARS para compreender as interações em redes. Para ele, essas métricas são ferramentas analíticas que permitem aos pesquisadores ir além da descrição superficial das redes, obtendo insights profundos sobre os processos sociais que ocorrem nelas. Ainda segundo Gomes (2018), a ARS utiliza um conjunto de métricas e técnicas, com base em dados empíricos, para descrever e mensurar as relações. Essas métricas podem ser divididas em “Métricas de Rede”, que analisam a estrutura como um todo, como a conectividade e a centralização geral da rede, e “Métricas de Nó”, que buscam compreender o posicionamento e a influência dos atores individuais na rede.

A seguir, serão apresentadas algumas métricas de rede utilizadas para medir valores gerais da rede; ou seja, métricas que indicam características da rede analisada como um todo, e não apenas de seus nós. Assim, tais métricas são utilizadas para se extrair características gerais, como densidade da rede, diâmetro da rede e grau de centralização.

### ***2.3.1 Densidade da rede (network density)***

A densidade de uma rede pode ser entendida como uma medida macro que quantifica o nível de conexão da rede como um todo. Este conceito mede o grau de interligação entre os elementos de um grafo (Scott, 2001). É a razão entre o número de ligações existentes na rede e o número máximo possível de ligações que ela poderia ter (Degenne; Forsé, 1999; Scott, 2001). Resumindo, a densidade indica quantas conexões a rede efetivamente possui. Uma rede com alta densidade, acima de 50%, por exemplo, favorece a rápida disseminação de informações e a construção de confiança e consenso (Borgatti; Cross, 2003). No entanto, densidades muito altas (acima de 70%) podem criar redundâncias e levar à sobrecarga de colaboração (Cross; Parker, 2004), o que limita o acesso a novos conhecimentos. Por outro lado, uma rede esparsa, com baixa densidade, pode indicar uma colaboração incipiente ou fraca, o que dificulta o fluxo interno de informações.

#### **Fórmula Matemática:**

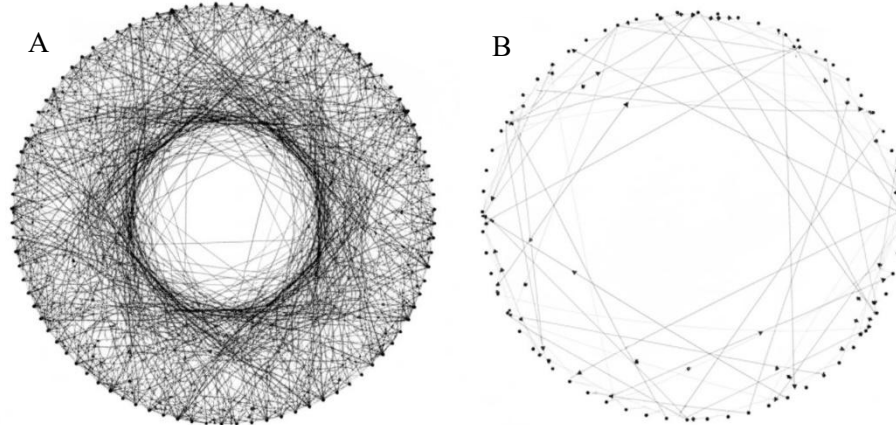
$$D = \frac{2L}{N(N-1)}$$

**Onde:** D é a densidade; L é o número de ligações (arestas); N é o número de nós (vértices);  $N(N-1)/2$  é o número máximo possível de ligações em uma rede não direcionada.

Para redes direcionadas, a fórmula ficaria  $D = L / [N(N-1)]$ .

Na figura 2, pode-se observar um exemplo de uma rede mais densa na imagem A e de uma rede menos densa na imagem B.

Figura 2 – A: Rede com densidade máxima; B: Rede com densidade média de (0,5)



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Recuero (2017).

Essa disparidade de densidade tem um impacto significativo na rede. No grafo mais denso, por exemplo, há mais chances de uma determinada informação circular, enquanto no grafo menos denso, essa chance tende a ser menor conforme (Borgatti; Cross, 2003). A densidade também pode indicar outras características da rede, dependendo do que o pesquisador delimitou, no âmbito do seu trabalho, como conexão em sua coleta de dados. Em termos de grafos sociais, a densidade da rede pode estar relacionada à presença de um ou mais *clusters*. Ou seja, pode indicar redes nas quais os atores estão fortemente conectados ou nas quais há muita participação positiva ou negativa entre si. No contexto de uma pesquisa, o pesquisador normalmente deve comparar diferentes redes semelhantes, a fim de avaliar com maior precisão a densidade de uma rede (Recuero, 2009).

### 2.3.2 Diâmetro de rede

Diâmetro de rede ou métrica de conexão, “*The diameter of a network is the maximum geodesic distance between any two nodes in the network*”, em português brasileiro: “O diâmetro da rede é a distância geodésica (ou seja, o caminho mais curto) máxima entre quaisquer dois nós na rede” (Newman, 2010). Para Recuero (2017), redes com menor diâmetro apresentam maior facilidade na circulação de informações, devido à existência de um caminho médio mais curto. Por outro lado, redes com maior diâmetro apresentam maior dificuldade na

circulação de informações, devido à maior distância entre os atores da rede. Além disso, esse tipo de rede tende a conferir grande poder aos nós que intermedeiam a conexão entre os subgrupos de uma mesma rede. Outro aspecto, quanto ao diâmetro das redes, é que, na comparação de redes de diferentes tamanhos, é comum normalizar o diâmetro, ou seja, ajustá-lo em relação ao tamanho da rede, pois o diâmetro tende a aumentar com o tamanho.

Não existe uma única forma de se calcular o diâmetro de uma rede, uma das formas utilizadas é a média das distâncias de todos os atores que compõem a rede, essa média pode ser compreendida pela fórmula a seguir.

**Fórmula Matemática:**

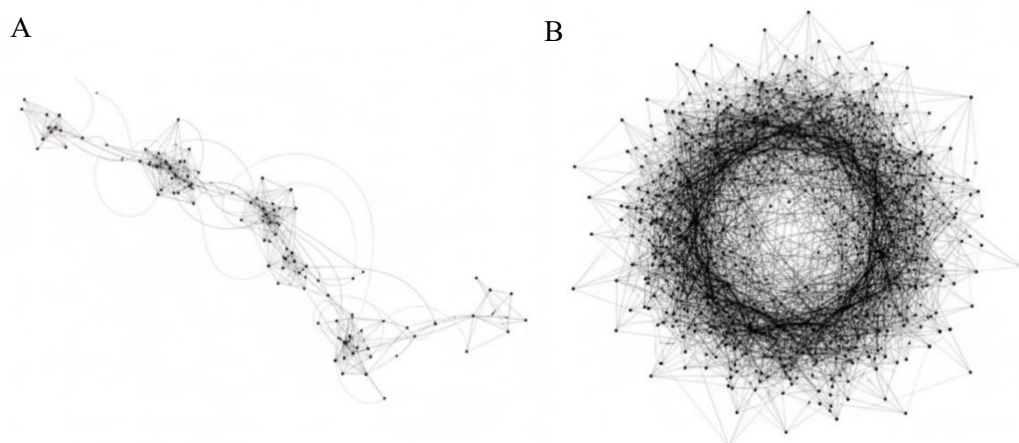
$$D = \frac{\sum_{i,j \in V} d(i,j)}{N(N-1)/2}$$

**Onde:** D representa o diâmetro médio da rede;  $d(i,j)$  é a distância (o caminho mais curto) entre os nós (atores)  $i$  e  $j$ ; N é o número total de nós (atores) na rede.

A fórmula é utilizada para calcular a média das distâncias entre todos os pares de nós de uma rede. Basicamente, ela mede o quão “conectada” ou “compacta” uma rede é. “O termo  $1/\ln(k)$  implica que quanto mais densa a rede, menor a distância entre os nós.” (Barabási, 2016, p. 55).

A figura 3 representa uma rede de alta densidade e outra de baixa densidade.

Figura 3 – A: Rede com *diâmetro* 1,0; B: Rede com *diâmetro* 0,3



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Recuero (2015).

Na imagem, pode-se observar uma rede com diâmetro maior na figura A e outra com diâmetro menor na figura B. Isso revela que a rede representada na figura A, com maior

diâmetro, apresenta maior dificuldade para a circulação da informação, pois o caminho médio entre os atores é maior. Observa-se uma grande distância entre os *clusters* da rede, além disso, observa-se uma longa distância entre alguns nós que compõem a rede. Já o grafo representado na figura B, revela que o caminho médio entre os atores da rede é menor, pois alguns nós encontram-se bem próximos, ou seja, os nós do *cluster* estão mais diretamente conectados ao centro, existindo uma maior proximidade entre os nós da rede, o que diminui a distância média. Neste caso, a circulação de informações pode ser facilitada, pois o diâmetro da rede é menor (Recuero, 2017).

### 2.3.3 Centralização (*centralization*)

Ao se analisar uma rede, pode-se observar a existência de atores (nós) que possuem maior influência que outros, seja como referência em alguma área, seja influenciando em suas ações em certo grau. Há também aqueles que desempenham um papel importante na comunicação entre grupos, servindo de único intermédio entre si. O índice de Centralização (*Centralization Index*) é uma métrica de análise de redes que avalia o quão centralizada é uma rede como um todo, ou seja, o grau em que a estrutura da rede se concentra em torno de um ou poucos nós. Diferentemente das métricas de centralidade que focam em nós individuais, esse índice é uma métrica de rede macro e reflete a desigualdade na distribuição de conexões ou de influência na rede. Uma rede totalmente centralizada é representada pelo valor 1, enquanto uma rede totalmente descentralizada é representada pelo valor 0 (Batagelj, 1993).

Segundo Freeman (1979), uma rede com índice de centralização próximo de 1 caracteriza-se por uma alta desigualdade na distribuição de conexões e de influência. Isso significa que um ou poucos nós centrais detêm a vasta maioria das conexões, tornando-se pontos críticos de agregação e de distribuição de informações ou recursos. Essa característica influencia o fluxo de informações, tornando-o altamente dependente do nó central. Caso esse nó falhe, a comunicação poderá ser fortemente prejudicada. Além disso, o nó central exerce grande poder e controle sobre toda a rede, podendo atuar de forma positiva ou negativa. Por fim, Freeman (1979) pontua que, por mais eficiente que esse tipo de rede seja para a disseminação rápida a partir do centro, ela é vulnerável a ataques ou falhas no nó central.

Já uma rede com índice de centralização próximo de 0,0 indica uma distribuição mais homogênea das conexões e da influência entre os nós. Dessa forma, cada nó teria importância relativamente semelhante na estrutura da rede. Nesse tipo de rede, o fluxo de informação tende a ser multidirecional e mais robusto, pois não há dependência de um único

ponto. Outro aspecto seria a resiliência: a rede é mais resiliente a falhas de nós individuais, pois há múltiplos caminhos para a informação ou para os recursos circularem. Por fim, o poder e a influência são mais distribuídos, o que dificulta o controle centralizado (Scott; Carrington, 2011).

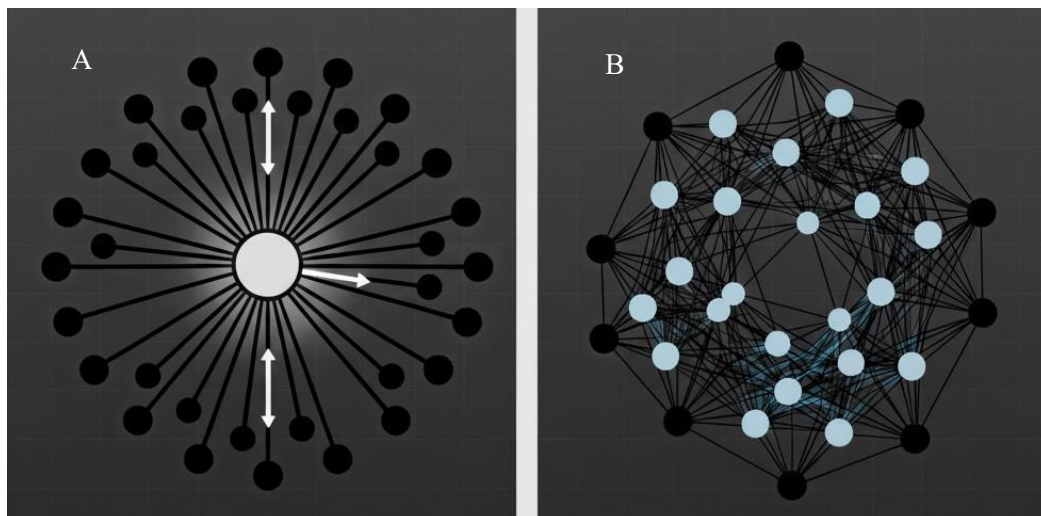
**Fórmula Matemática:**

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^N (CD_{max} - CD_i)}{\frac{N-1}{N-2} X(N-1)}$$

**Onde:**  $CD_i$  é a centralidade de grau do nó  $i$ . A centralidade de grau de um nó é simplesmente o número de conexões que ele possui;  $CD_{max}$  é a centralidade de grau máxima teórica que qualquer nó na rede poderia ter. Para uma rede de  $N$  nós, a centralidade máxima possível seria  $N-1$  (se um nó estivesse conectado a todos os outros);  $N$  é o número total de nós na rede. A parte de cima da fração,  $\sum_{i=1}^N (CD_{max} - CD_i)$ , é a soma das diferenças entre o grau máximo e o grau real de cada nó. Essa soma reflete o "desvio" da rede em relação a uma rede perfeitamente centralizada. A parte de baixo é um termo de normalização. Ele garante que o valor final do índice de centralização fique entre 0 e 1.

A Figura 4 representa uma rede com alta densidade e uma rede de baixa densidade.

Figura 4 – A: Rede Centralizada 1,0; B: Rede Descentralizada 0,0



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Batagelj (1993).

Nas figuras, observa-se o grau de centralização: na Figura 4A, um único nó domina as conexões, sugerindo um alto grau de centralização. A diferença de centralidade entre o nó central e os nós periféricos é máxima, igual a 1,0. Na Figura 4B, observa-se um menor grau de centralização, devido à distribuição mais homogênea da influência e à ausência de um nó

dominante. Pode-se estimar um índice de centralização relativamente baixo, ficando este em torno de 0 em uma escala que varia de 0 a 1..

### 2.3.4 Modularidade (*modularity*)

A modularidade é a métrica que mede a força de uma rede dividida em módulos (também conhecidos como comunidades ou *clusters*). Esta métrica quantifica o quão densas são as conexões dentro dos grupos em comparação com as entre eles. Um valor alto de modularidade indica que existem comunidades fortes na rede, onde os nós são mais densamente conectados entre si dentro de seus grupos do que com nós fora de seus grupos (Newman; Girvan, 2004). A detecção de comunidades é importante para a compreensão da organização funcional das redes em diversas áreas, como a biologia (redes de interação entre proteínas), a ciência da computação (redes de computadores) e as ciências sociais (redes sociais de amizade ou colaboração). Ao identificar esses grupos, pode-se revelar padrões de comportamento, funções ou interesses compartilhados entre nós (Fortunato, 2010).

#### **Fórmula Matemática:**

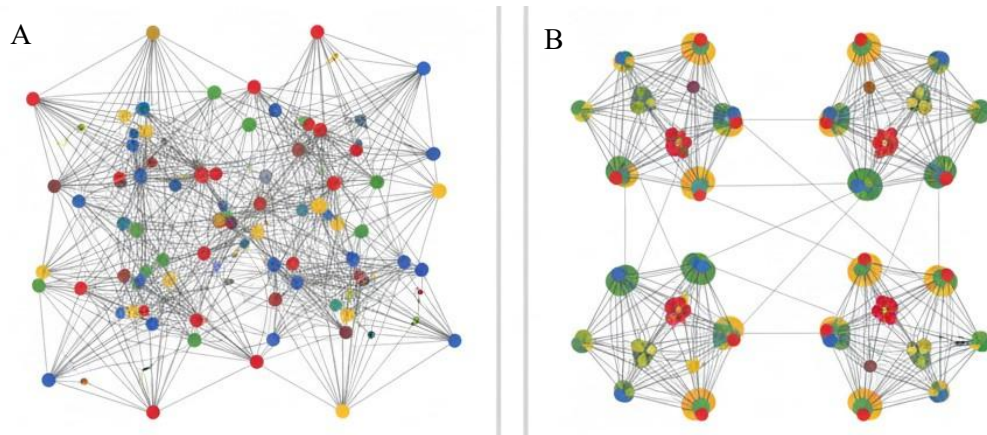
$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left[ A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(C_i, C_j)$$

**Onde:** M é o número total de arestas (conexões) na rede;  $A_{ij}$  é o elemento da matriz de adjacência. É 1 se existir uma aresta entre os nós  $i$  e  $j$ , e 0 caso contrário;  $k_i$  é o grau (número de conexões) do nó  $i$ ;  $k_j$  é o grau (número de conexões) do nó  $j$ ;  $\delta(c_i, c_j)$  é a função delta de Kronecker. É 1 se os nós  $i$  e  $j$  pertencem à mesma comunidade (ou grupo), e 0 caso contrário; a soma  $\sum_{i,j}$  é feita sobre todos os pares de nós na rede.

A fórmula serve para comparar a proporção de arestas que realmente existem nas comunidades (o termo  $A_{ij}$ ) com a proporção esperada de arestas nessas comunidades se as conexões fossem aleatórias (o termo  $\frac{k_i k_j}{2m}$ ). A diferença entre esses dois valores, somada e normalizada por  $2m$ , resulta em  $Q$ . Os valores de  $Q$  normalmente variam de -0,5 a 1,0. Um valor de  $Q$  positivo e significativo (geralmente acima de 0.3 a 0.7, dependendo do contexto) indica uma forte estrutura comunitária. Já para valores próximos de zero ou negativos, sugere-se que a divisão em comunidades não é melhor do que uma organização aleatória (Newman; Girvan, 2004).

A Figura 5 representa uma rede de baixa modularidade e outra de alta modularidade.

Figura 5 – A: Rede com baixa modularidade; B: Rede com alta modularidade



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Recuero (2015).

Na Figura 5A, observa-se uma rede não modularizada. Nesta configuração, não é possível identificar com clareza a formação de módulos, ou seja, de *clusters* com alguma similaridade entre si. Em 5B, é possível visualizar os vários grupos coloridos que representam os diferentes módulos da rede e mostram conjuntos de atores que tendem a se conectar mais entre si do que com os demais (*clusters*).

A seguir, serão apresentadas algumas métricas de nó, utilizadas para medir valores associados aos nós de uma rede específica. Elas calculam a posição desse nó na rede com base em vários princípios. Entender o posicionamento de um nó na rede é fundamental para compreender melhor seu papel na estrutura geral da rede (Souza *et al.*, 2019).

### 2.3.5 Centralidade de grau (*degree centrality*)

A centralidade de Grau é o número de atores com os quais um ator está diretamente relacionado. Ela é definida como o número de conexões diretas que um nó (ator) possui com outros nós na rede. De modo geral, pode-se entender que quanto mais conexões um nó possui, maior é a sua importância na rede. Isso revela a capacidade de um ator de mobilizar ou acionar outros nós na rede. Já um nó periférico, com menor centralidade de Grau, possui menor capacidade de influenciar diretamente outros nós ou de acessar uma grande quantidade de recursos de forma imediata (Souza *et al.*, 2019). A centralidade de Grau normalizada varia de 0 a 100. Uma centralidade de 100 significa que o nó está conectado a todos os outros nós da rede. Já uma centralidade de grau 0 indica que o nó não possui nenhuma conexão, ou seja,

encontra-se isolado (Wasserman; Faust, 1994).

A Centralidade de Grau pode ser calculada de forma bruta (apenas contando as conexões), mas comumente utilizam-se fórmulas para permitir comparações entre redes de tamanhos diferentes.

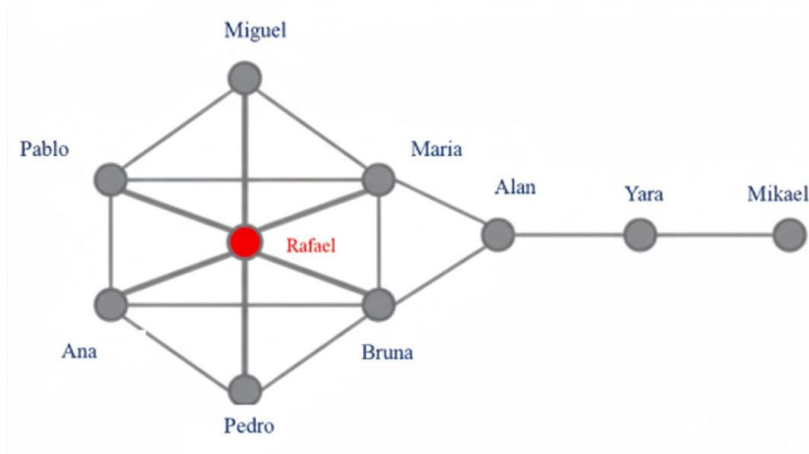
**Fórmula Matemática:**

$$CD(v) = \frac{\text{grau}(v)}{N - 1}$$

**Onde:** Grau (v) é o número de conexões diretas do nó v; N é o número total de nós na rede; N-1 representa o número máximo de conexões que um nó poderia ter em uma rede com N nós (ou seja, se estivesse conectado a todos os outros).

A Figura de número 6 representa uma rede em que um ator (Rafael) possui um alto grau de centralidade em relação aos demais atores da rede.

Figura 6 – Grafo para a análise do Grau de Centralidade



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Souza *et al.* (2019).

Na figura, o ator Rafael, que se encontra no centro do grafo, na cor vermelha, possui seis conexões diretas com outros nós: Pablo, Ana, Pedro, Bruna, Maria e Miguel. Assim, Rafael tem a maior centralidade de grau nesta rede. Isso significa que Rafael é o indivíduo com mais relacionamentos diretos nesse grupo, tornando-o o ator com maior visibilidade e potencial de influência direta na rede. Alguns nós ao redor de Rafael, como Pablo, Ana, Pedro, Bruna, Maria e Miguel, têm grau de centralidade intermediário. Cada um possui 3 conexões. Já os nós nas extremidades, como Alan, Yara e Mikael, têm um grau de centralidade menor. Alan tem 2 conexões, enquanto Yara e Mikael têm apenas 1. Isso mostra que Mikael é o ator com a menor visibilidade direta e o menor potencial de influenciar outros na rede.

### 2.3.6 Centralidade de autovetor (eigenvector centrality)

Conforme demonstrado por Souza *et al.* (2019), a Centralidade de Autovetor quantifica a importância de um nó em uma rede, considerando não apenas o número de conexões, mas também a qualidade dessas conexões. Especificamente, um nó com alta centralidade de autovetor está conectado a muitos outros nós que também têm alta centralidade de autovetor. Em outras palavras, é um conceito que reflete a influência de um nó na rede, considerando a influência dos nós aos quais está conectado. Nesse sentido, um nó com muitas conexões tende a ser mais importante e, na Centralidade de Autovetor, um nó é mais importante se possui boas conexões.

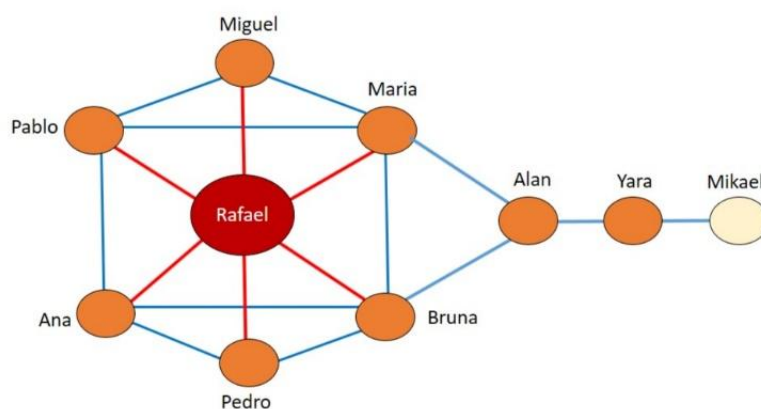
#### Fórmula Matemática:

$$X_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N(i)} A_{ij} X_j$$

**Onde:**  $X_i$  é a centralidade de autovetor do nó  $i$ ;  $\lambda$  é um fator de escala (o maior autovalor da matriz de adjacência), que é uma constante para toda a rede e garante que exista uma solução única e não trivial;  $N(i)$  é o conjunto de vizinhos do nó  $i$  (todos os nós  $j$  aos quais  $i$  está diretamente conectado);  $A_{ij}$  é o elemento da matriz de adjacência que representa a conexão entre o nó  $i$  e o nó  $j$ . Se houver uma conexão,  $A_{ij} = 1$ ; caso contrário,  $A_{ij} = 0$ . Em redes ponderadas,  $A_{ij}$  representa o peso da conexão entre os nós  $i$  e  $j$ ;  $X_j$  representa a centralidade de autovetor do nó  $j$ .

A Figura 7 representa uma rede, na qual se destaca a centralidade de autovetor do Nó Rafael.

Figura 7 – Grafo para a análise da Centralidade de Autovetor



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Souza *et al.* (2019).

Na figura 7, o ator Rafael tem a maior centralidade de autovetor, pois não só tem muitas conexões, como também está conectado a vários outros nós que têm um número razoável de conexões. Já quanto à influência, Rafael está no centro de um grupo de indivíduos bem conectados. Pablo, Ana, Pedro, Bruna, Maria e Miguel também possuem uma centralidade de autovetor relativamente alta. Eles estão conectados a Rafael, que é muito influente, e também mantêm conexões entre si. Os demais atores, como Alan, Yara e Mikael, possuem menor centralidade de autovetor, pois estão conectados a atores que têm menos conexões com outros atores.

### 2.3.7 Centralidade de intermediação (*betweenness centrality*)

A Centralidade de Intermediação é a capacidade de um ator de intermediar as comunicações entre nós. Estes também são conhecidos como “atores-ponte” (Dekker, 2008). Esta métrica concentra-se na posição estratégica de um nó. Um nó que conecta partes diferentes de uma rede tende a ter alta Centralidade de Intermediação devido à sua posição estratégica, podendo controlar o fluxo de informações e recursos. Esses nós podem ser vistos como “atores-ponte” ou “guardiões do fluxo de informação” (gatekeepers). Eles não precisam ter muitas conexões de alto grau, mas sua localização é crítica para a coesão e o fluxo de informações da rede (Freeman, 1979).

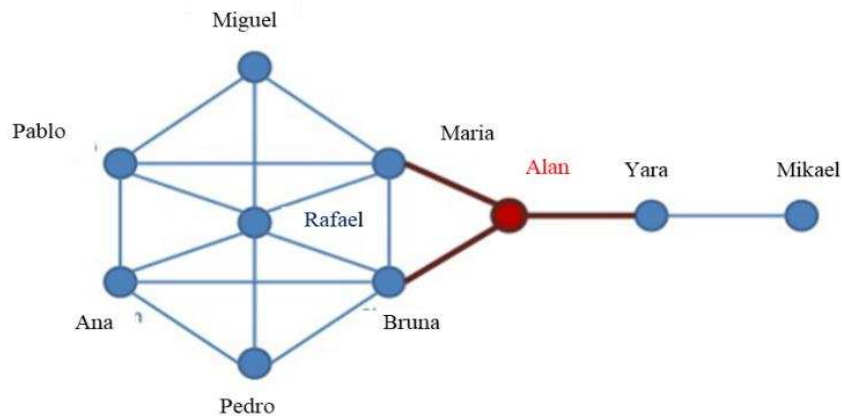
**Fórmula Matemática:**

$$C_{B(V)} = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

**Onde:**  $CB(v)$  é a centralidade de intermediação do nó  $v$ ;  $\sigma_{st}$  é o número total de caminhos mais curtos (geodésicos) entre os nós  $s$  e  $t$ ;  $\sigma_{st}(v)$  é o número de caminhos mais curtos entre os nós  $s$  e  $t$  que passam pelo nó  $v$ .

A fórmula soma, para cada par de nós ( $s$  e  $t$ ) que não são  $V$ , a proporção de caminhos mais curtos que passam por  $V$ .

Figura 8 – Grafo para a análise da Centralidade de Intermediação



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Dekker (2008).

Na Figura 8, observa-se que o ator Alan é o de maior Centralidade de Intermediação na rede. Ele é o único elo que conecta o grupo principal e denso (composto por Rafael, Maria, Bruna e os outros) ao subgrupo periférico (Yara e Mikael). Todo e qualquer caminho mais curto entre alguém do grupo central e Mikael ou Yara deve passar por Alan. Nesse aspecto, a sua posição é vital para a coesão da rede. Maria e Bruna também possuem uma Centralidade de Intermediação relevante, pois são a ponte entre o núcleo central de Rafael e o de Alan. Por mais que Alan seja o intermediário mais prático para o grupo periférico, observa-se que Maria e Bruna controlam o acesso de Alan a uma parte crucial do grupo central (incluindo Rafael, Pedro e Miguel). Sua intermediação é fundamental para o fluxo de informações entre os dois *clusters*. Outro ator com alta centralidade no exemplo anterior é a Yara; ela tem uma centralidade de intermediação considerável, embora menor que a de Alan. Ela é a única conexão entre Alan e Mikael. Qualquer informação que flua de Alan para Mikael, ou vice-versa, deve passar por ela.

### 2.3.8 Centralidade de proximidade (*closeness centrality*)

A Centralidade de Proximidade é uma medida utilizada para avaliar o quão próximo um nó está aos demais nós da rede; ou seja, esta métrica quantifica a distância média mais curta de cada vértice a outro, refletindo a rapidez com que a informação pode fluir através da rede. Um valor próximo de 1 (como 0,8 ou 0,9) é considerado alto. O que significa que o nó está, em média, muito próximo de todos os outros nós da rede. Já valores próximos de 0 (como 0,1 ou 0,2) são considerados baixos; ou seja, o nó está na periferia da rede e precisa de muitos passos para alcançar os outros nós. Além disso, esta métrica revela a capacidade de um ator de alcançar

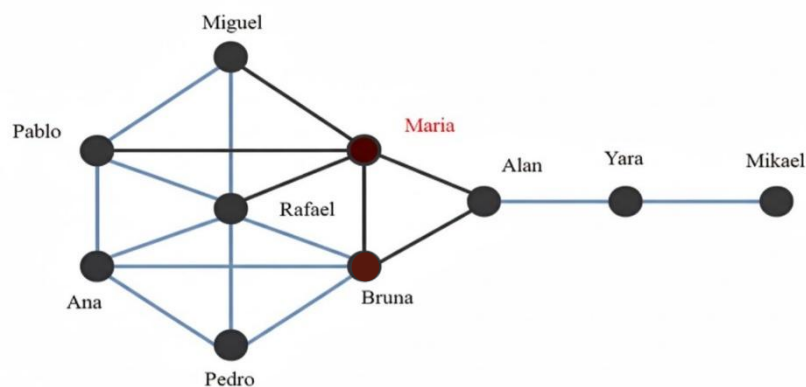
todos os nós da rede e colaborar no monitoramento das informações nela contidas (Dekker, 2008). Atores com alta Centralidade de Proximidade não dependem muito de outros atores para receber ou enviar informações ao restante da rede. Essa posição seria a ideal para disseminar novas informações na rede, além de que esses atores possuem uma visão privilegiada dela, com acesso a um volume maior de informações e conhecimento prévio (Freman, 1977).

**Fórmula Matemática:**

$$CP(U) = \frac{1}{\sum_{v \in V} d(u,v)}$$

**Onde:** CP(u) é a Centralidade de Proximidade do nó u;  $\sum_{v \in V} d(u,v)$  é a soma das distâncias (o caminho mais curto) entre o nó u e todos os outros nós v da rede; V é o conjunto de todos os nós da rede.

Figura 9 – Grafo para a análise da *centralidade* de proximidade



Fonte: elaborada pelo autor, inspirada em Dekker (2008).

Na Figura 9, Maria e Bruna estão no centro da rede, a três passos de qualquer nó. Linhas conectam Maria a Rafael, Bruna, Alan e Miguel, indicando relações diretas, e também ligam Bruna a Alan, Maria, Rafael e Pedro. Embora não tenham conexão direta com Pablo e Ana, podem alcançá-los por Rafael, Pedro ou Miguel, em poucos passos..

## 2.4 Estudos anteriores: ARS, inovação e sustentabilidade

Esta seção visa a argumentar, com base na literatura existente, a partir de estudos anteriores sobre o processo de inovação em energias renováveis, bem como sobre a compatibilidade entre a Análise de Redes Sociais (ARS) e o estudo das redes de colaboração.

Segundo Nunes (2022), a colaboração é uma filosofia que une interação e estilo de vida pessoal, na qual os indivíduos são protagonistas de suas ações, incluindo aprender e respeitar as habilidades e contribuições de seus pares. No contexto da sustentabilidade ambiental, é essencial que os membros da sociedade possuam consciência ambiental e reconheçam a importância da preservação dos recursos naturais, adotando práticas sustentáveis.

Para Powell, Koput e Smith-doerr (1996), as redes de colaboração interorganizacional são de suma importância, pois desempenham um papel central na promoção da inovação e do aprendizado organizacional. Na visão dos autores, as redes de colaboração criam um ambiente mais propício para o compartilhamento de recursos, como conhecimento, materiais e financeiros, assim como outros que dificilmente estariam disponíveis em um ambiente interno, ou seja, em um ambiente que não fosse uma rede de colaboração. Nesse contexto, a inovação surgiria não apenas de um único ator, mas de um conjunto de processos interativos e sociais que envolvem a troca contínua de informações, experiências e tecnologias entre múltiplos atores.

A Análise de Redes Sociais (ARS) tem se mostrado uma metodologia/ferramenta importante na investigação de grupos que trabalham de forma colaborativa, bem como de grupos voltados à inovação e ao desenvolvimento sustentável. O estudo de Silva e Silva (2020) apresenta bem essa aplicação: propôs o uso da ARS para a captação de relações tecnológicas nas redes sociotécnicas de uma cooperativa produtiva (COOCAT-MEL). Alinhada aos Estudos Sociais da Ciência e da Tecnologia (ESCT) e à Teoria Ator-Rede (TAR), a ARS é, para eles, um instrumento que possibilita mapear e quantificar a troca de técnicas e conhecimentos entre os atores de uma rede. Essa identificação seria crucial para a criação de soluções conjuntas e para a melhoria da produtividade como um todo. Além disso, em sua conclusão, a pesquisa sugere a viabilidade da ARS para captar processos de transferência de tecnologia em sistemas regionais de inovação, validando, assim, a capacidade da ARS de analisar a dinâmica relacional que sustenta a capacidade tecnológica de um grupo colaborativo em busca de objetivos de sustentabilidade.

A colaboração para o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao desenvolvimento ambiental sustentável vem se tornando cada vez mais comum, diante da necessidade de adequação das organizações à legislação e da própria busca institucional por melhoria de seu desempenho ambiental. Em um estudo realizado por Kim, Lee e Zikos (2024), os autores investigaram a formação endógena de redes de pesquisa e desenvolvimento ambiental (P&D&A) em um modelo de trio-polo, ou seja, no âmbito de três empresas, incorporando a responsabilidade social corporativa ambiental (RSCA) e transbordamentos tecnológicos. O

estudo revelou que a expansão da rede gera padrões não monotônicos no investimento em P&D&A, produção, emissões e lucros das empresas, impulsionados pela interação entre a Responsabilidade Social Corporativa Ambiental (ECSR), *spillovers*, ou seja, externalidades tecnológicas, e a formação de links. Além disso, os autores descobriram que, quando a ECSR é alta e os *spillovers* são baixos, a rede parcial é estável e socialmente ótima. Entretanto, em condições de ECSR baixa ou de *spillover* alto, ocorre formação excessiva de links, resultando em redes superconectadas, aumento da poluição e perdas de bem-estar social. A pesquisa conclui que uma rede parcial é o arranjo mais benéfico quando o nível de ECSR é alto e o *spillover* é baixo, mas alerta para a formação excessiva de links não regulamentados, que pode levar a redes superconectadas, resultando em aumento da poluição e perda de bem-estar social, o que demanda intervenções políticas.

Em um estudo para compreender a colaboração e a inovação em contextos regionais, Lobo et al. (2024) dedicaram-se a mapear a dinâmica dos Arranjos Produtivos Locais (APLs) no Ceará. O estudo teve como objetivo desvendar como as distintas formas de orquestração da inovação nessas redes impactam o aprendizado e, conseqüentemente, o resultado inovador dos grupos. Para isso, o estudo utilizou a Análise de Redes Sociais (ARS) como ferramenta metodológica para investigar as relações entre empresas dos setores moveleiro e de calçados. O estudo revelou informações interessantes sobre esses grupos. O achado principal mostrou que o APL de móveis, mais centralizado e dominante, alcançou um nível de inovação superior em relação à rede de calçados. Para os autores, isso indica a criticidade da gestão da rede: a boa “orquestração” é um fator imprescindível para o sucesso inovativo no ambiente colaborativo.

O estudo de Gomes, Porto e Costa (2019) buscou resolver um grande problema para quem trabalha com patentes em pesquisa: a falta de padronização dos dados. O objetivo do estudo foi criar um passo a passo para selecionar e organizar a montanha de dados de patentes de um jeito que fizesse sentido para o uso da metodologia de Análise de Redes Sociais (ARS). Eles queriam facilitar a vida de quem precisa mapear colaborações interorganizacionais. O objeto de análise foram as patentes de propriedade; os autores consideraram que só as patentes com dois ou mais titulares, realmente comprovam que houve uma colaboração de inovação. Os pesquisadores frisaram que, apesar de todo o trabalho que envolve, o uso de patentes é valioso, pois é uma fonte pública e rica de informação.

Nos achados, a chave foi a metodologia de filtragem: eles definiram que se deve pegar os dados brutos (Titular 1, Titular 2, Titular 3) e “virar” essa informação em uma tabela de conexões (1-2, 1-3, 2-3). Essa manipulação é necessária para que softwares como o Gephi

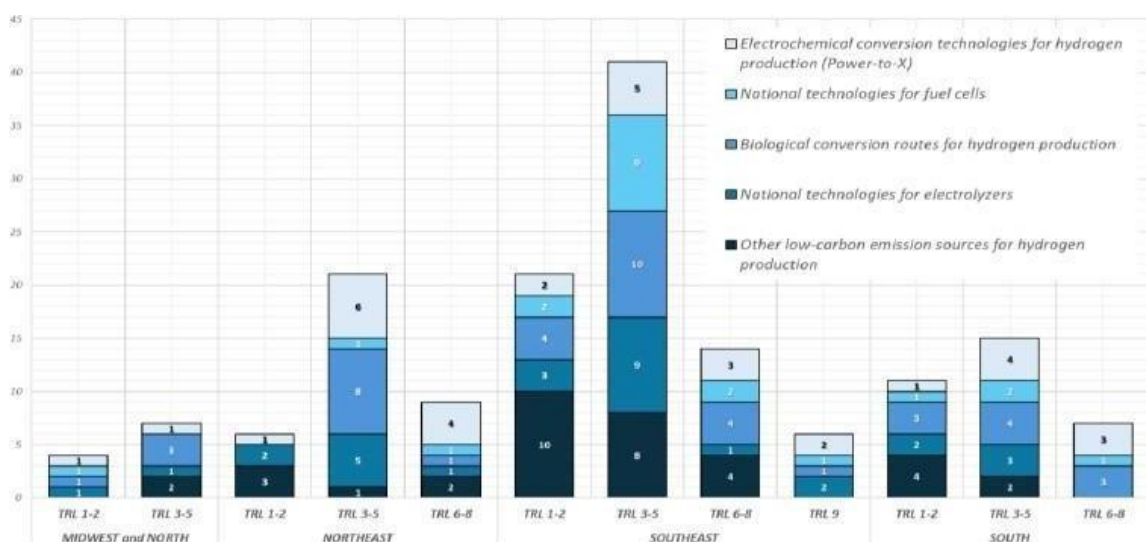
consigam ler a rede. No fim das contas, a conclusão do estudo foi que essa metodologia abriu caminho para outros estudos de ARS no campo da inovação, oferecendo uma técnica robusta para lidar com a bagunça dos dados globais e maximizar o potencial informativo das patentes.

Em outro estudo, conduzido e publicado recentemente pela Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2) e elaborado pelo Netherlands Innovation Network (NIN), foi possível obter uma visão abrangente do setor de P&D e inovação em hidrogênio no Brasil. O estudo revelou dados relevantes sobre desenvolvimentos tecnológicos baseados em ciência em diversos níveis de maturidade no cenário do hidrogênio de baixo carbono no Brasil.

Para avaliar a maturidade das tecnologias, desde sua concepção até sua implementação, o estudo utilizou os “*Technology Readiness Levels*” (TRLs), em português, “Níveis de Prontidão Tecnológica”, para monitorar o progresso, orientar políticas de financiamento e apoiar a tomada de decisões. No estudo, a prontidão tecnológica pode ser compreendida como um indicador crítico para avaliar o estágio de maturidade das tecnologias de hidrogênio de baixo carbono no Brasil.

No estudo, os participantes foram solicitados a selecionar o intervalo de TRL mais adequado para a atividade de P&D em que estavam envolvidos: TRL 1-2, TRL 3-5, TRL 6-8 ou TRL 9, sendo que quanto maior o número do TRL, maior o nível de maturidade dos projetos nesse nível (Figura 10).

Figura 10 – Apresentação da distribuição e do tipo de tecnologia do TRL nas diferentes regiões do Brasil

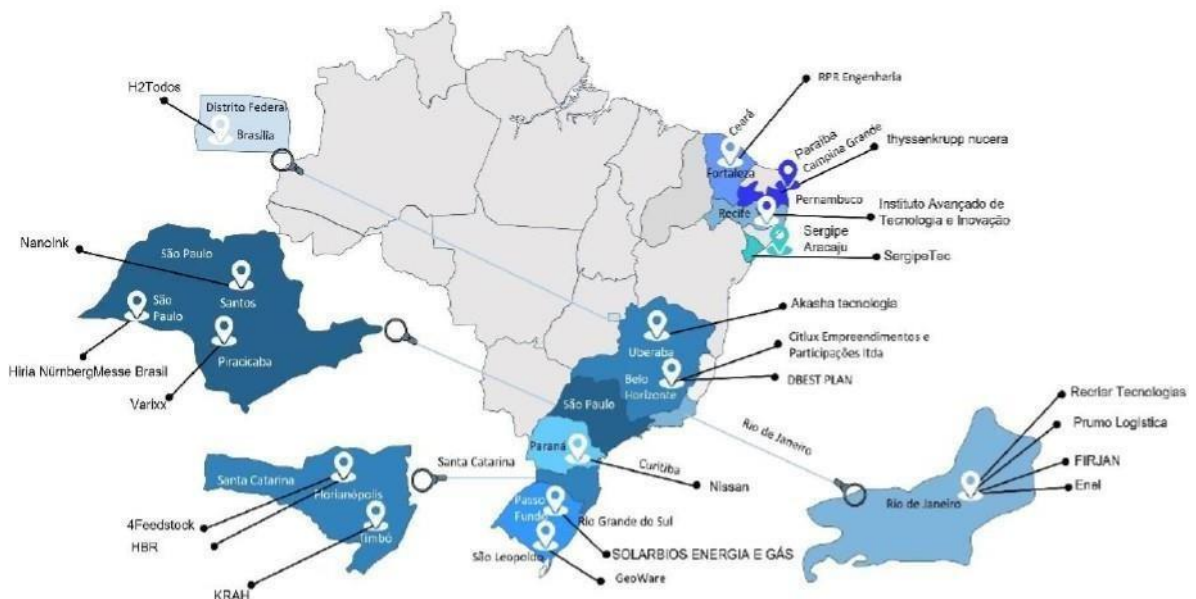


Fonte: Miranda; Thijssen (2024).

O estudo revelou que os níveis iniciais (TRL 1-2), que representam 25,9% do total,

apresentam uma participação significativa de tecnologias emergentes, particularmente em eletrolisadores e conversão de biomassa, o que indica forte interesse em investimentos na fase de pesquisa fundamental e experimental. A grande maioria das iniciativas de pesquisa e desenvolvimento concentra-se nos TRLs intermediários (3-5), o que corresponde a 51,9% do total. Isso revela que uma parcela significativa da pesquisa e desenvolvimento no setor encontra-se no estágio intermediário, em que as tecnologias já avançaram além da fase conceitual, mas ainda não estão prontas para implantação ou comercialização em larga escala. Os TRLs mais avançados (6-8) representam 18,5% das iniciativas, evidenciando a transição de tecnologias promissoras para os estágios de desenvolvimento e demonstração. Nessa fase, a produção de hidrogênio a partir de resíduos biológicos e a conversão eletroquímica para a produção de hidrogênio (Power-to-X) continuam sendo áreas de foco significativas. Finalmente, o estudo revela que, no TRL 9, que corresponde a 3,7% do total, estão as tecnologias mais próximas da comercialização e da implementação em larga escala. A distribuição equilibrada entre as diversas áreas tecnológicas indica um esforço contínuo para levar inovações do laboratório ao mercado.

Figura 11 – Empresas mapeadas engajadas no desenvolvimento de tecnologias de conversão para produção de hidrogênio de baixa emissão



Fonte: Miranda; Thijssen (2024).

O mapa (Figura 11) apresenta uma visão geral das empresas envolvidas na produção e no armazenamento de hidrogênio de baixa emissão nas diversas regiões do Brasil, incluindo o Sudeste, Nordeste, Norte e Sul. Cada uma dessas regiões abriga atores importantes que

contribuem para o cenário nacional de hidrogênio, utilizando diversas tecnologias e abordagens adaptadas aos seus ambientes e recursos específicos.

No Sudeste, por exemplo, as empresas aproveitam a infraestrutura avançada e a proximidade dos principais centros industriais, enquanto o Nordeste se beneficia de abundantes fontes de energia renovável que sustentam a produção de hidrogênio. A região Norte é caracterizada por seus ricos recursos naturais, o que facilita a adoção de soluções inovadoras de armazenamento, e o Sul está emergindo como um centro de pesquisa e desenvolvimento em tecnologias de hidrogênio. Essas empresas representam um componente significativo da transição do Brasil para uma economia de baixo carbono, evidenciando o compromisso do país de promover soluções de energia sustentável em seus diversos contextos geográficos e econômicos (Miranda; Thijssen, 2024).

Em um outro estudo denominado “Avaliando a transição energética através da análise de *clusters* das matrizes de energia elétrica de 40 países”, Accioly e Costa (2022) estudaram por meio da análise de *clusters* 40 países, que mais consomem energia do mundo, e avaliaram a composição das matrizes de energia elétrica desses países, no período que compreende entre 1992 e 2019, com base nos dados existentes na U.S. Energy Information Administration – EIA. Os pesquisadores concluíram que, dentre os 40 países estudados, apenas 7 (aproximadamente 18%) contribuem para a evolução da matriz energética global. Esses países foram agrupados em dois *clusters* distintos: o 'clube da transição', composto por Alemanha, Espanha e Reino Unido; e o 'clube dos renováveis', formado por Brasil, Noruega, Venezuela e Canadá. Os países do 'clube dos renováveis' destacaram-se por manterem matrizes de energia elétrica predominantemente renováveis ao longo do tempo. O estudo ainda destaca que as duas maiores economias mundiais e maiores produtoras e consumidoras de energia elétrica, China e EUA, mostram uma migração muito lenta para tornar suas matrizes energéticas mais renováveis, o que tem grande impacto na transição energética global. Os dois países encontram-se no “clube dos combustíveis fósseis”.

O Brasil, por sua vez, destaca-se pela capacidade de produção de Hidrogênio Verde (H<sub>2</sub>V). Um estudo realizado pela Fundação Fraunhofer (Hank et al., 2023) posiciona o Brasil como um dos principais países entre os 12 analisados no quesito competitividade para exportação de derivados de hidrogênio verde. O estudo apresenta resultados que podem servir de referência para formuladores de políticas públicas. O estudo levou em consideração quatro fatores para a elevada competitividade do país em matéria de produção de H<sub>2</sub>V e seus derivados:

- a) As boas condições de ventos e de insolação em algumas regiões do país, que se interpretam em fatores de capacidade ou eficiência entre os mais elevados de

toda a amostra, com custo nivelado de produção de energia solar PV e eólica que oscila entre € 29/MWh e € 41/MWh respectivamente;

- b) Complementaridade das fontes híbridas de geração solar e eólica, viabilizando a operação do eletrolisador com elevado fator de capacidade em sistemas off-grid (76% a 82%);
- c) Adensamento local da cadeia produtiva, proporcionando um ambiente com várias alternativas de provedores de equipamentos e serviços de engenharia e montagens voltadas para a indústria de energias renováveis, viabilizando valores para o Capex (*Capital Expenditure*) e Opex (*Operational Expenditure*), abaixo daqueles observados nos países peers; e
- d) Custo de capital relativamente baixo entre os países emergentes, estimado em 6,5% ao ano (a.a.). No entanto, quando se descarta a hipótese de geração dedicada (off-grid) e se considera o custo de aquisição de energia na rede básica, o Brasil apresenta um custo de aproximadamente € 150/MWh. Esse valor é cerca de três a cinco vezes maior que o custo de geração de energia eólica e solar. Além disso, outros fatores são cruciais para aumentar a competitividade do país na produção de hidrogênio verde, como a formulação de políticas públicas que direcionam recursos para o desenvolvimento da cadeia de H<sub>2</sub>V em regiões estratégicas, a escolha das rotas tecnológicas mais promissoras, a superação de desafios técnicos relacionados ao armazenamento e transporte do hidrogênio e a regulamentação adequada (Siffert; Rocha, 2023).

Em uma análise bibliométrica com ARS, Ribeiro e Corrêa (2023) investigaram a produção científica sobre hidrogênio verde publicada em periódicos indexados na EBSCO. O estudo identificou um aumento significativo no número de pesquisas sobre o tema nos últimos dois anos, destacando os autores chineses como os mais produtivos, seguidos por pesquisadores da União Europeia. A China foi o país com o maior número de colaborações internacionais em hidrogênio verde. As palavras-chave mais centrais foram “*hydrogen*”, “*green hydrogen*”, “*renewable energy*”, “*production*”, entre outras. O estudo também identificou quatro *clusters* relevantes em relação aos temas de pesquisa sobre hidrogênio verde: produção, sustentabilidade, energia e emissão de carbono. Isso sugere maior interesse dos pesquisadores por estudos sobre hidrogênio verde e seus impactos nesses quatro grupos temáticos.

Em um estudo conduzido por Machado e Ipiranga (2013), em que investigaram as características e o desempenho de redes de conhecimento no setor de biotecnologia, analisando a Rede Nordeste de Biotecnologia (Renorbio). Por meio de Análise de Redes Sociais (ARS), os

autores mapearam relações entre pesquisadores, instituições e laboratórios, utilizando dados de relatórios de patentes como fonte principal. Foram identificados 117 pesquisadores, distribuídos em 18 centros de pesquisa e 47 laboratórios/empresas, com projetos concentrados em três áreas: saúde (mais relevante, com maior número de patentes), indústria e agricultura. A rede apresentou baixa densidade (23,29% entre pesquisadores e 31,96% entre instituições), indicando fragmentação e a necessidade de estratégias de integração entre atores isolados. A estrutura da Renorbio foi classificada como rede scale-free, ou seja, é uma rede que não possui um número médio típico de arestas (Barabási, 2003), com heterogeneidade de conexões: poucos nós altamente conectados (como o Laboratório de Tecnologia Farmacêutica da UFPB e o pesquisador JBMF) e muitos nós periféricos. A centralização foi baixa (3,74–3,84%), sem um ator central dominante, mas com intermediários-chave que facilitam os fluxos de informação.

Os autores destacam a importância de redes colaborativas para inovação em biotecnologia, setor que demanda alto investimento em P&D e cooperação interinstitucional. Apesar da fragilidade estrutural, a Renorbio demonstra potencial para impulsionar o desenvolvimento econômico regional, principalmente por meio de pesquisas em saúde, como o desenvolvimento de vacinas e de medicamentos. O estudo reforça a aplicabilidade da ARS para compreender as dinâmicas de inovação em contextos complexos e a relevância de políticas que fortaleçam a integração entre a academia, a indústria e o governo.

O tema da sustentabilidade tem sido cada vez mais debatido. Essas discussões também têm ganhado espaço nas redes sociais. Em um estudo de Freitas *et al.* (2025), intitulado "Análise da Dinâmica da Rede Social em Torno da Hashtag #ESG no X (antigo Twitter): Evolução, Influenciadores e Tópicos", buscou-se investigar as interações e a estrutura da rede formada por usuários que utilizaram a hashtag #ESG na plataforma X (antigo Twitter) em 2023. Utilizando técnicas de Análise de Redes Sociais (ARS) e o *software NodeXL*, os autores analisaram 30.340 postagens públicas. Dessa forma, conseguiram mapear a evolução das discussões, identificar influenciadores-chave, comunidades temáticas, padrões geográficos e tópicos predominantes.

Neste caso, a relação de pares de vértices recíprocos de toda a rede é de 0,01091, a distância geodésica é de 22 e a densidade é de 0,00005. Esses dados sugerem que a rede apresenta baixa reciprocidade nas interações, alta distância geodésica (esperada para o contexto da rede) e densidade muito baixa, o que pode indicar uma estrutura fragmentada e menos coesa. De todo o período analisado, 68,48% das interações concentraram-se em novembro e dezembro de 2023, período correspondente à COP28, o que evidencia o impacto de eventos globais no engajamento. Perfis como @antgrasso (Antonio Grasso), @ft (Financial Times), @blackrock

(BlackRock) e @cop28\_uae destacaram-se como hubs centrais, atuando como pontes entre comunidades. A sustentabilidade foi o tema mais associado ao ESG, com pares de palavras como #esg, #sustainability (1.278 ocorrências) e buenas, prácticas, #esg (702 ocorrências). Discussões sobre “boas práticas” e os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) foram frequentes. Para os autores, os achados podem ser utilizados para mapear os stakeholders e orientar estratégias de comunicação. A identificação de influenciadores e sazonalidades auxiliaria na formulação de políticas públicas e engajamento social.

A busca pela melhor compreensão das redes de colaboração tem se tornado um vasto campo de investigação científica em todo o mundo. Em um estudo intitulado “*How do enterprises’ green collaborative innovation network locations affect their green total factor productivity? Empirical analysis based on social network analysis*”, em português: “Como as localizações das redes de inovação colaborativa verde das empresas afetam sua produtividade total de fatores verdes? Análise empírica baseada em análise de redes sociais”. Di *et al.* (2024) buscaram compreender como a localização das redes de inovação colaborativa verde das empresas afeta sua Produtividade Total de Fatores Verdes (GTFP). O estudo utilizou a análise empírica baseada em redes sociais como ferramenta para alcançar os resultados.

Utilizando dados de empresas de manufatura chinesas no período 2011–2022 e com base em patentes verdes conjuntas, os autores identificaram que empresas em posições centrais nessas redes apresentam maior GTFP, resultado robusto após testes de substituição de variáveis, ajuste de amostra e uso de variáveis instrumentais. Os mecanismos subjacentes incluem a melhoria da inovação tecnológica e a eficiência na alocação de recursos. Heterogeneidades foram observadas: colaborações empresa-universidade tiveram maior impacto, empresas estatais se beneficiaram mais, e o efeito foi mais pronunciado após 2016, alinhado às políticas de neutralidade de carbono da China. O estudo reafirma a importância das redes colaborativas para o desenvolvimento sustentável.

Ribeiro e Souza (2022) elaboraram um estudo com o objetivo de investigar os atributos e a representatividade da produção científica no estado da arte dos temas “Economia Circular” e “Turismo”, publicada na base de dados *Web of Science* entre 2017 e 2020. Os autores utilizaram a análise de redes sociais como metodologia. A densidade da rede de colaboração das instituições foi de 0,0349 (3,49%), com um desvio padrão de 0,1873. Constatou-se que a densidade da rede de colaboração é baixa no contexto em consideração devido à presença de um grande número de vazios estruturais. Verifica-se que, da matriz das Instituições de Ensino Superior (IESs) de 53x53 (2.809 indicações de relacionamento), apenas 98 conexões foram registradas, ou seja, menos de 3,5% das interações possíveis na rede social das

instituições ocorrem de forma efetiva. No que se refere aos assuntos relacionados à Economia Circular e ao Turismo, os mais divulgados foram: agroturismo, desenvolvimento sustentável, sustentabilidade, resíduos, práticas turísticas, impactos ambientais, gases de efeito estufa, inovação e hospitalidade. Por fim, os resultados revelaram uma dispersão em todas as redes de colaboração, devido à baixa incidência de estudos publicados no âmbito internacional sobre economia circular e o turismo em conjunto.

A interação entre Redes de Inovação e Simbiose Industrial tem potencial para desenvolver conhecimentos capazes de mitigar os impactos ambientais das atividades humanas. Lopes *et al.* (2025), em uma pesquisa intitulada “Simbiose industrial e redes de inovação: uma análise sistemática da literatura”, a análise bibliométrica revelou a importância da sustentabilidade, da cooperação e da inovação na Simbiose Industrial, além de identificar cinco *clusters* temáticos, sendo esses: uso de recursos, cooperação estratégica, inovação nos modelos de negócio, potencial das redes e redes de inovação, revelando o potencial das interações entre instituições e as redes de inovação.

A utilização da ARS como ferramenta para a compreensão das redes de colaboração pode contribuir para uma melhor compreensão de como estas redes funcionam, possibilitando torná-las mais eficientes. Nesse sentido, Farina *et al.* (2017), em um estudo que buscou identificar os principais fatores facilitadores e dificultadores das relações entre os atores participantes do Arranjo Produtivo Local (APL) têxtil e de confecções situado na região da Grande São Paulo sob a ótica da governança, utilizaram a Análise de Redes Sociais (ARS) por meio da aplicação de questionários para mensurar as conexões entre 26 empresas. As métricas de ARS evidenciaram a escassez de relações entre os atores, indicando que a densidade da rede de negócios é baixa, em apenas 17,54% (0,1754), o que indica que a grande maioria das ligações possíveis para a colaboração não está ocorrendo. Além disso, a análise de Centralidade de Intermediação (Betweenness) mostrou que o poder de fluxo de negócios está concentrado em poucas empresas (Empresas 3 e 12 detinham a maior parte do poder de intermediação), o que sugere risco à sustentabilidade do APL e fragilidade em sua governança. Concluiu-se que o APL apresenta mais fatores dificultadores do que facilitadores para o seu desenvolvimento.

Em um estudo realizado por White *et al.* (2022), denominado “*A social network analysis of interorganisational collaboration: Efforts to improve social connectedness*”, em português: “Uma análise de rede social da colaboração interorganizacional: Esforços para melhorar a conectividade social”, o estudo utilizou a Análise de Rede Social (ARS) com o objetivo de compreender de forma mais clara a dinâmica de colaboração interorganizacional e os desafios para melhorar a conexão social durante a pandemia de COVID-19 em programas

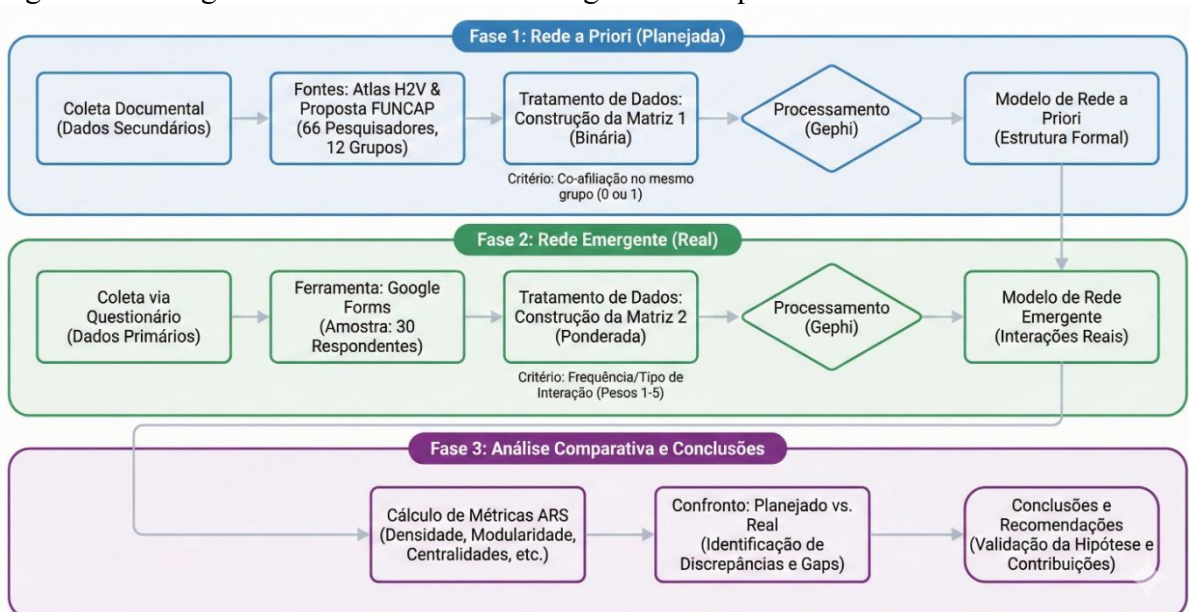
comunitários de três cidades no sul dos EUA. Utilizando a métrica de Centralização Proporcional, métrica mais geral que pontua que a importância de um nó é diretamente relacionada à centralidade dos seus vizinhos. No contexto do estudo, a métrica foi utilizada para avaliar o nível de dependência da rede em modos específicos de colaboração. A pesquisa identificou alta centralização em atividades de encaminhamento de clientes e baixa centralização em atividades de compartilhamento de recursos. Os valores mais altos foram mais observados na atividade de referir clientes, atingindo o pico de (0,71 ou 71%) na Cidade C, e de (0,64 ou 64%) na Cidade B, sendo esta classificada como uma das duas atividades mais centrais. Em contrapartida, o financiamento conjunto (*Joint Funding*) revelou valores mais baixos, como 0,23% (23%) na Cidade B e 0,22% (22%) na Cidade C. Os pesquisadores concluíram que essa diferença estatística indica que, embora as organizações colaborassem frequentemente por meio de encaminhamentos, elas resistiam a colaborar e a compartilhar recursos financeiros, o que seria um fator limitante para a eficácia da rede.

Por fim, é importante ressaltar que a análise de redes sociais, como metodologia, permite o estudo de diferentes tipos de redes, mapeando e descrevendo, de forma sistemática e intencional, as ligações entre os atores. Assim, este estudo utiliza a ARS como ferramenta metodológica para responder à questão de pesquisa proposta, permitindo a investigação da Rede Alpha.

### 3 METODOLOGIA

Este tópico tem como objetivo explicar os procedimentos metodológicos que viabilizaram esta pesquisa, subdividido em três seções: tipologia de pesquisa, coleta de dados e análise de dados. A tipologia de pesquisa define a abordagem adotada, que, neste caso, é descritiva-exploratória, com o uso da metodologia de Análise de Redes Sociais (ARS) para investigar as dinâmicas e as interações das redes de colaboração. A coleta de dados abrange os métodos e ferramentas utilizados para obter as informações necessárias, como o questionário eletrônico e a pesquisa documental. Já a análise de dados abrange a forma como os dados serão tratados, utilizando métricas de análise de rede para compreender as relações entre os atores da rede e suas conexões. Cada um desses procedimentos será detalhado a seguir (Figura 12), a fim de garantir a adequação e a robustez da metodologia empregada para responder à questão de pesquisa.

Figura 12 – Diagrama com o Fluxo Metodológico da Pesquisa



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

#### 3.1 Tipologia de pesquisa

Ao se propor a analisar a Rede Alpha, utilizando a Análise de Redes Sociais (ARS) como método de pesquisa, o presente trabalho adota o paradigma positivista. Este paradigma, fundamentado em uma ontologia realista e em uma epistemologia objetivista, no que lhe concerne, busca explicar e prever fenômenos sociais por meio da identificação de regularidades

e de relações de causa e efeito. Ao quantificar relações e padrões estruturais, a ARS permite testar hipóteses de causalidade e de regularidade, alinhando-se ao paradigma positivista que busca explicações generalizáveis (Borgatti *et al.*, 2009). No contexto da análise de redes sociais, isso se traduz na coleta e na análise de dados quantitativos sobre as relações entre os atores da rede, com o objetivo de identificar padrões estruturais e influências recíprocas. Além disso, a utilização de métodos quantitativos e estruturados, como a análise estatística de dados de redes, é coerente com a busca do paradigma positivista pela objetividade e pela generalização dos resultados (Saccol, 2010).

Embora predominantemente a pesquisa possua uma abordagem quantitativa ao utilizar ARS para os achados nos três primeiros objetivos, a pesquisa utiliza também de uma abordagem qualitativa complementar para interpretar o quarto objetivo específico desta pesquisa: “discutir as oportunidades e desafios identificados na Rede Alpha”. A complexidade das interações na Rede Alpha justifica o uso de uma metodologia que vá além das métricas topológicas fornecidas pela ARS. Desta forma, este estudo adota uma abordagem de métodos mistos. Segundo Creswell (2010), essa metodologia se distingue por valer-se dos pontos fortes tanto dos métodos quantitativos quanto dos qualitativos, permitindo uma convergência analítica que enriquece a interpretação dos dados.

Tenho realizado pesquisas sobre diversas abordagens teóricas, além dos estudos empíricos. E sempre tenho trabalhado com o pressuposto da necessidade de observar as abordagens sobre estruturas, bem como as ações, de maneira conjunta. Não se pode separar uma e estipular que esta é superior àquela. Penso que é importante reconhecer que ações produzem estruturas, mas estruturas constroem comportamentos: temos que reconhecer esta interdependência. Isso fica evidente quando se observa uma rede de empresas. As ações das empresas e de seus diretores produzem redes; mas a partir do momento em que esta rede existe, ela se torna uma restrição, um limite, daquilo que as empresas e seus diretores podem fazer. Portanto, temos que observar as ações e as estruturas conjuntamente. Considero lamentável a forma como boa parte da discussão contemporânea acaba em apenas um desses lados ao invés de reconhecer sua interdependência (Bertoncelo; Pereira, 2016, p.6).

O presente estudo adotou uma abordagem descritiva exploratória. Conforme Gil (2008), esta abordagem enfatiza a observação, o registro, a análise e a correlação de fenômenos sem interferência direta. A metodologia utilizada é a análise de redes sociais (ARS), uma abordagem quantitativa, escolhida por sua capacidade de descrever as interações e as dinâmicas entre os atores da Rede Alpha. Segundo Collins e Stockton (2018), a pesquisa quantitativa possibilita um melhor entendimento do fenômeno analisado.

### 3.2 Unidade de análise

O presente trabalho teve como unidade de análise uma rede cearense de pesquisa e inovação em energias renováveis (Rede Alpha – nome fictício). A rede propõe-se a constituir uma estrutura de Rede de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Ela surge com o objetivo de promover a atuação conjunta e multidisciplinar de 26 unidades de pesquisa, de 14 Instituições de Ensino Superior e Institutos de Ciência e Tecnologia (IES/ICTs) localizadas no estado do Ceará. Além disso, a rede objetiva a integração dos diversos setores envolvidos em pesquisa, desenvolvimento de tecnologias e inovações na área de energias renováveis. A iniciativa é pioneira no estado e tem como objetivo realizar pesquisas básicas e aplicadas, de forma colaborativa e multidisciplinar, visando à transferência de tecnologia ao setor.

Ao todo, a rede *a priori* (inicial) possuía 66 pesquisadores ligados a 26 unidades de pesquisa (laboratórios) de 14 diferentes instituições que compõem a Rede Alpha, distribuídos inicialmente entre 12 projetos de pesquisa multidisciplinares e em quatro áreas temáticas, sendo estas: energias renováveis, transporte e combustíveis sintéticos, aplicações industriais e Hidrogênio Verde. Além disso, cada grupo de pesquisa conta com um pesquisador coordenador, e cada um dos doze grupos de pesquisa conta com várias linhas de pesquisa.

Ademais, os projetos são fruto de ações integradas entre as unidades de pesquisa cearenses em várias áreas de atuação, indo desde a pesquisa fundamental, como base para desenvolvimentos posteriores em temáticas estratégicas do setor de energias renováveis, até a gestão da inovação, que atuará como vetor integrador entre as atividades de pesquisa e o setor industrial.

São instituições que fazem parte da Rede Alpha: Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Estadual do Ceará (UECE), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Universidade Federal do Cariri (UFCA), Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Universidade Regional do Cariri (URCA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial junto à Federação das Indústrias do Estado do Ceará (SENAI/FIEC), Instituto Euvaldo Lodi junto à Federação das Indústrias do estado do Ceará (IEL/FIEC), Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC), Instituto Atlântico e REVER.

A governança da rede se dá principalmente pelas universidades associadas à rede que têm o maior volume de pesquisas na área de interesse no início (UFC, UECE e IFCE). A rede tem como missão: “Promover a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação em energias

renováveis no Ceará, unindo academia, indústria, governo e comunidade para criar soluções sustentáveis e competitivas”. Tendo como visão: “Ser uma rede de pesquisa líder e inovadora em energias renováveis no Brasil e na América Latina, impulsionando a sustentabilidade, a eficiência energética e o desenvolvimento socioeconômico do Ceará, por meio de colaborações estratégicas e tecnologias avançadas”. A rede estabeleceu como metas para os primeiros quatro anos: desenvolver e implementar projetos de PD&I em áreas críticas, como energia solar, eólica, hidrogênio e biomassa, entre outras. Fortalecer a colaboração entre os membros da rede e estabelecer novas parcerias estratégicas. Influenciar e apoiar a formulação de políticas de energia no Ceará e no Brasil. Estabelecer programas de educação e treinamento para desenvolver a próxima geração de cientistas, engenheiros e líderes na área de energias renováveis. Além disso, a rede estabeleceu metas a longo prazo, metas para os 10 anos, que é: “Ser reconhecida como uma rede de pesquisa líder mundial em energias renováveis, com contribuições significativas em tecnologia, política e educação”. Contribuir para a transição energética do Ceará, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo o crescimento econômico sustentável.

Assim, a formação da Rede Alpha configura-se na atuação em Hélice Tríplice, ou seja, Academia, Indústria e Governo, conforme observado por Etzkowitz e Zhou (2017). Tendo sido desenhada para otimizar o compartilhamento de recursos e promover a colaboração multidisciplinar, visando ao desenvolvimento científico e tecnológico. Por fim, a utilização da Análise de Redes Sociais (ARS) e suas métricas torna-se essencial como ferramenta capaz de mapear e quantificar as relações de colaboração informais que ocorrem na rede, identificando os atores centrais, os fluxos de conhecimento e as estruturas de governança que influenciam o desempenho da Rede Alpha.

Nesse contexto, a amostra inicial deste trabalho foi composta por 66 pesquisadores, distribuídos em 26 laboratórios de 14 instituições, incluindo bolsistas, não bolsistas e coordenadores de grupos de pesquisa. Dos 66 pesquisadores iniciais da rede, 82,76% são do sexo masculino e 17,24% do sexo feminino. O grupo conta ainda com 88,1% de pesquisadores filiados a universidades federais, 11,9% a universidades estaduais e 13,6% a instituições privadas.

Para O'malley e Marsden (2008), o número ideal de respondentes em uma pesquisa de ARS não é fixo, mas depende do fenômeno estudado. Por exemplo, uma pesquisa que busca mapear a estrutura de uma organização de 50 pessoas precisa de um número de respondentes capaz de tornar a amostra representativa, algo próximo de 100%. Por outro lado, um estudo que analisa a disseminação de informações em uma rede social online pode se contentar com uma

amostra menor, desde que representativa dos padrões de conexão. O estudo acrescenta ainda que, em redes pequenas e delimitadas, como uma equipe de trabalho, o ideal é que a pesquisa seja censitária, ou seja, inclua todos os membros da rede.

Em síntese, a literatura sobre ARS sugere que o número de respondentes não é uma questão de “tamanho mínimo de amostra” como na estatística tradicional. A principal preocupação é a representatividade da estrutura da rede. Para redes fechadas e pequenas (por exemplo, um grupo de trabalho ou uma sala de aula), a abordagem ideal seria o censo (coletar dados de todos os membros) ou a maior amostra possível. Para redes grandes e abertas (como a internet), seria preciso usar métodos de amostragem específicos que capturam a estrutura de forma eficaz. Nesse sentido, para a coleta de dados, o presente trabalho utilizou documentos da constituição da rede, revelando uma amostra inicial de 66 pesquisadores para a estruturação a priori da rede. A amostra para a análise da rede emergente contou com 30 respondentes. Essa última, foi obtida por meio da aplicação do formulário eletrônico.

Por fim, os limites das fronteiras da Rede Alpha e a amostragem dos atores seguiram uma perspectiva realista na definição de sistemas sociais, conforme a tipologia proposta por Laumann, Marsden e Prensky (1983). Nesta abordagem, as redes são vistas como entidades sociais objetivas, experimentadas conscientemente pelos atores que as compõem, assemelhando-se ao conceito weberiano de grupo corporativo (*Verband*). A regra de inclusão dos atores baseou-se em um foco definicional de atributos nodais, por meio de uma abordagem posicional, na qual a fronteira da rede foi estabelecida pela ocupação formal da posição de pesquisador cadastrado no projeto. Diferentemente de abordagens nominalistas que impõem fronteiras analíticas arbitrárias, a opção pela estratégia realista garante que os limites da rede correspondem à estrutura institucionalmente reconhecida pelos participantes. Dessa forma, mesmo na análise da rede emergente (Rede *a posteriori*), limitada aos respondentes do questionário, a fronteira de especificação permaneceu consistente com a estrutura *a priori*, evitando a “falácia do sistema parcial” decorrente da omissão de atores-chave na definição teórica do grupo e assegurando que a análise das relações ocorresse dentro de um limite de relevância comum e pré-estabelecido.

### **3.3 Coleta de dados**

A coleta de dados utilizou métodos empíricos, com base em dados primários e secundários. Os dados primários foram coletados por meio de um questionário eletrônico elaborado no Google Formulários. O questionário foi elaborado contendo sete perguntas

abertas. Para Sheble, Brennan e Wildemuth (2016), uma grande variedade de fontes de dados e técnicas de coleta de dados pode ser utilizada em estudos de Análise de Redes Sociais (ARS), incluindo questionários, entrevistas, diários de pesquisa, observação, análise de documentos arquivísticos, registros organizacionais (como documentos administrativos) e dados de fontes online. Pesquisadores também podem usar conjuntos de dados de redes já existentes.

A construção do questionário utilizado neste trabalho foi inspirada nas questões exploradas por Nunes (2022) em seu estudo sobre os benefícios da aprendizagem cooperativa e do trabalho em grupo, bem como nas relações interpessoais no ambiente escolar. Os dados secundários foram obtidos por meio de pesquisa documental. Estes complementaram a análise; serviram para a confecção do questionário, pois contêm dados sobre a constituição da Rede Alpha e também serão utilizados na análise dos dados, trazendo mais contexto aos resultados encontrados ao longo desta pesquisa.

A coleta de dados abrange o período de 17 de março a 30 de junho de 2025. O questionário foi enviado por e-mail aos respondentes. O acesso aos e-mails dos pesquisadores foi obtido por meio da coordenação da Rede Alpha. Para Vieira, Kamazaki e Dias (2022), em “Ética em Pesquisa: A Utilização de Levantamento *On-line* em Psicologia”, é possível a não submissão ao comitê de ética de questionários utilizados na coleta de dados em pesquisas acadêmicas. Para isso, os autores argumentam que a coleta e a análise dos dados devem garantir o mínimo de risco e anonimato aos respondentes, com foco em metadados ou em dados agregados, ou seja, nas relações entre os pesquisadores, e não em dados individuais sensíveis. Por esse motivo, optamos também por usar um nome fictício para a rede.

Neste contexto, o questionário utilizado na coleta de dados desta pesquisa não foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), por se enquadrar na categoria de pesquisa de baixo risco, conforme a resolução nº 510/2016, voltada a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais, cujos procedimentos metodológicos envolvam a utilização de dados diretamente obtidos com os participantes ou de informações identificáveis, ou que possam acarretar riscos maiores do que os existentes na vida cotidiana. A dispensa da submissão justifica-se pela natureza dos dados coletados e pelo rigoroso tratamento de anonimização, com foco em metadados de relacionamento entre os atores da rede. O principal objeto de análise não são os dados individuais dos participantes, mas sim as relações de colaboração entre eles (arestas da rede), tratando-se dos dados como agregados relacionais ou metadados; ou seja, o foco da ARS é a estrutura da rede, e não o indivíduo isolado. Além disso, os dados de perfil básico do pesquisador, (como nome, filiação, faixa etária e gênero), são considerados informações públicas e de acesso livre, sendo encontrados nos currículos Lattes dos pesquisadores, o que

reduz o risco de confidencialidade inerente à coleta.

Por fim, houve uma preocupação persistente em garantir o sigilo e a confidencialidade das informações. Os dados coletados foram imediatamente transformados em matrizes de adjacência e pseudominimizados. As colunas e linhas serão representadas por códigos alfanuméricos (“Pesquisador P1”, “P2”, de forma randômica) em vez de nomes, o que impossibilita o reconhecimento dos atores individuais no tratamento e na divulgação dos resultados, configurando um risco mínimo de prejuízo à privacidade dos participantes da Rede Alpha.

As perguntas do Bloco 1: Perfil dos respondentes têm como objetivo apresentar o perfil dos pesquisadores da rede, coletando informações como nome, idade e gênero. As perguntas do Bloco 2: Perfil da Rede Alpha visam responder ao primeiro, segundo e terceiro objetivo específico desta pesquisa, apresentados a seguir, respectivamente:

- a) apresentar a rede de pesquisadores da Rede Alpha e como ela está estruturada em seu planejamento inicial (rede *a priori*).
- b) apresentar a rede de pesquisadores da Rede Alpha e como ela está estruturada em seu planejamento *a posteriori* (rede emergente).
- c) analisar comparativamente a estrutura *a priori* e a emergente da Rede Alpha na perspectiva da ARS.

As perguntas de números cinco e seis contidas no Bloco 3 - Oportunidades e Desafios na Rede Alpha, buscam responder ao quarto objetivo específico desta pesquisa, que é discutir as oportunidades e desafios encontrados na estrutura de interação dos pesquisadores da Rede Alpha. O uso das perguntas abertas do Bloco 3 é estritamente descritivo e não interpretativo, o que não contraria a base epistemológica desta pesquisa.

Para a construção da Rede *a priori*, foram considerados os dados documentais coletados sobre a Rede Alpha. Foi utilizada a planilha eletrônica para converter os dados em uma matriz de adjacência binária de 66 x 66. A matriz revela a topologia inicial da rede e as interações entre os atores da rede, *a priori*. A seguir, será apresentado um exemplo de como os dados deste trabalho foram transformados em uma matriz. As linhas e colunas da matriz representam os pesquisadores (P1, P2, P3 e P4). O valor “1” indica que o pesquisador possui interação com os demais pesquisadores. O valor “0” indica que o pesquisador não possui interações com os demais pesquisadores. No contexto da rede *a priori*, considerou-se que as interações ocorrem apenas se, e somente se, os pesquisadores tiverem sido formalmente alocados no mesmo grupo de pesquisa. A seguir, será apresentado um exemplo da matriz de adjacência binária (Tabela 1) utilizada na preparação dos dados que serviram para a criação do

grafo a priori da Rede Alpha no software Gephi, versão 0.10.0.

Tabela 1 – Exemplo de uma Matriz Adjacência Binária

	P1	P2	P3	P4
P1	0	1	1	1
P2	1	0	1	1
P3	1	1	0	1
P4	1	1	1	0

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

No exemplo anterior (Tabela 1), verifica-se que todos os pesquisadores (P1, P2, P3 e P4) interagem entre si. Só não há interação do pesquisador para si mesmo, ou seja, em uma matriz de adjacência binária, a diagonal é zero se o ator não tiver laços com ele mesmo, que é a regra adotada para esta pesquisa. No contexto da rede *a priori* da Rede Alpha, a interação entre todos os pesquisadores indica que fazem parte do mesmo grupo de pesquisa. Além disso, observa-se que, na formação inicial da Rede Alpha, alguns pesquisadores participam de mais de um grupo de pesquisa simultaneamente.

Para alcançar o segundo objetivo desta pesquisa, “apresentar a rede de pesquisadores da Rede Alpha e como ela está estruturada em seu planejamento a posteriori” (rede emergente), foi criada uma matriz de adjacência ponderada com base nos dados coletados por meio do formulário eletrônico. Nessa matriz, as linhas e as colunas representam os pesquisadores (P1, P2, P3 e P4). Cada pesquisador é um ponto (nó) no grafo. As arestas são quaisquer células com valor numérico  $\geq 1$  em uma linha de conexão entre dois pesquisadores que colaboraram. Os pesos são os valores numéricos em cada célula (ex.: 1, 2, 3, 4 ou 5), sendo que quanto maior o número, maior a força da colaboração. A seguir, será apresentado um exemplo de matriz de adjacência ponderada (Tabela 2), utilizada na preparação dos dados que serviram para a criação do grafo da rede emergente da Rede Alpha no *software* Gephi.

Tabela 2 – Exemplo de uma matriz de adjacência ponderada

	P1	P2	P3	P4
P1	0	1	0	3
P2	0	0	2	1
P3	1	0	0	5
P4	0	2	0	0

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

No exemplo anterior, na Tabela 2, revela-se que o P1 colaborou com o P2, com força de colaboração de 1, e também com o P4, com força de colaboração de 3, sendo esta última a colaboração mais forte do P1. Já P2 colaborou com P3 e P4, com forças de colaboração de 2 e 1, respectivamente. O P3 colaborou com o P1 e o P4 com forças de colaboração de 1 e 5, respectivamente. O P4 colaborou somente com P2, sendo a força dessa colaboração de 2. Por fim, verifica-se que a colaboração mais forte foi a de grau 5 entre P3 e P4. No contexto da Rede Alpha, a relação de interação/colaboração é unidirecional, ou seja, quando um pesquisador P1 contribui para outro P2, essa ação não implica necessariamente reciprocidade por parte de P2.

Para preservar os dados e a imagem dos respondentes, foram utilizados pseudônimos na criação da matriz (por exemplo, “Pesquisador P1”). Dessa forma, a pesquisa será conduzida de modo a anonimizar os dados coletados, mesmo que provenham de bancos de dados públicos, dificultando o reconhecimento de atores individuais, a fim de evitar qualquer prejuízo à sua privacidade. Na criação da matriz será utilizado o *software* Microsoft Excel (2016). A criação da matriz é necessária para que, posteriormente, os dados possam ser analisados no Gephi (*software* utilizado na análise das métricas de redes sociais (ARS)).

Para a análise dos dados, utilizou-se o Gephi (um *software online* para ARS). Este *software* é utilizado na estruturação e na visualização de redes complexas. Este *software* oferece uma ampla variedade de plugins e métricas para a análise de redes. A ferramenta de Análise de Redes Sociais permite compreender as relações entre os diferentes atores. O conceito de ator pode ser entendido como uma unidade discreta, que pode ser uma pessoa ou até mesmo um conjunto de pessoas agregadas em uma unidade social coletiva, como uma organização ou uma rede social (Recuero, 2017). No contexto da pesquisa, os nós das redes representarão os pesquisadores, que serão codificados como (P1, P2, P3...). As arestas representarão os laços de interação/colaboração entre os pesquisadores.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos dados desta pesquisa buscou compreender e comparar a topologia da Rede Alpha em sua concepção, com a topologia da Rede Alpha no presente. A análise compreende um recorte temporal de março de 2023 (constituição da rede) a 30 de junho de 2025 (momento da coleta de dados). Para além da estrutura inicial da rede, a análise buscou compreender as interações entre os pesquisadores, a atual conjuntura da rede, bem como as oportunidades e os desafios identificados no âmbito da rede, conforme a visão de seus integrantes. A análise dos dados está dividida em quatro etapas, o que corresponde aos objetivos específicos desta pesquisa. Estas são as quatro etapas: “Estrutura *a priori* da rede”: Inicialmente, será analisada a estrutura planejada da Rede Alpha, o que corresponde ao primeiro objetivo específico. Em segundo lugar, será analisada a “Estrutura atual, rede emergente ou *a posteriori*”, revelando sua configuração mais recente, o que responde ao segundo objetivo específico. Para responder ao terceiro objetivo específico, foi realizada uma análise comparativa entre os achados da rede *a priori* e da rede emergente. Por fim, realiza-se uma discussão das oportunidades e dos desafios identificados na rede por seus pesquisadores, respondendo, assim, ao terceiro objetivo específico da pesquisa.

### 4.1 Análise da Rede *a priori* - Rede Alpha

A análise de uma rede inicia-se com uma relação de nomes antes da coleta de dados, perguntando a todos os respondentes com quem mantêm relações diretas. Os dados dessa análise podem assumir várias formas, como julgamentos binários sobre o número de relacionamentos diretos de cada ator e sobre o grau de força dessas relações (Recuero, 2015). Nesse contexto, para responder a cada um dos objetivos desta pesquisa, foram utilizadas métricas de rede e de nó. As métricas de rede revelam características gerais da estrutura da rede; já as métricas de nó revelam características específicas de cada nó. A Tabela 3 apresenta um resumo das métricas de ARS utilizadas nesta pesquisa.

Tabela 3 – Resumo das métricas de rede e métricas de Nó

Métricas de Rede	Características
Densidade de Rede	Número de conexões presentes no grafo em relação ao número total possível (Bordin; Gonçalves; Todesco, 2014). No contexto deste trabalho, esta métrica será utilizada para medir a densidade total da rede.
Diâmetro de Rede	Mostra a maior distância entre os nós do grafo (Recuero, 2017, p.47). No contexto da pesquisa, essa métrica será utilizada para avaliar a distância média a que os atores da rede se encontram.
Centralização	Revela o grau de concentração das conexões da rede como um todo. (Batagelj, 1993). No contexto desta pesquisa, esta métrica será utilizada para identificar quão centralizada ou dispersa se encontra a rede.
Modularidade	A modularidade é a métrica que possibilita a medição da força de uma rede dividida em módulos (também conhecidos como comunidades ou <i>clusters</i> ), (Newman; Girvan, 2004). Esta métrica quantifica o quão densas são as conexões dentro dos grupos em comparação com as entre os grupos.
Métricas de Nós	Características
Centralidade de Grau	Número de conexões diretas de um nó, (entradas e saídas); um alto valor indica influência (Souza <i>et al.</i> , 2019). Esta métrica será utilizada para identificar os atores mais influentes da Rede Alpha.
Centralidade de Autovetor	Importância de um nó baseado na qualidade de suas conexões (Wasserman e Faust, 1994). Esta métrica servirá para medir a qualidade das conexões entre os atores da Rede Alpha; pretende-se identificar quais atores possuem as conexões mais relevantes no contexto da rede.
Centralidade de Intermediação	Capacidade de um nó de intermediar a comunicação entre outros nós (Dekker, 2008). Esta métrica será utilizada para analisar quais são os principais atores da rede, quem desempenha um papel de “ponte” na rede.
Centralidade de Proximidade	Habilidade de um nó de alcançar todos os outros nós na rede (Dekker, 2008). Por fim, espera-se que esta métrica revele com que rapidez as informações podem fluir através da rede.

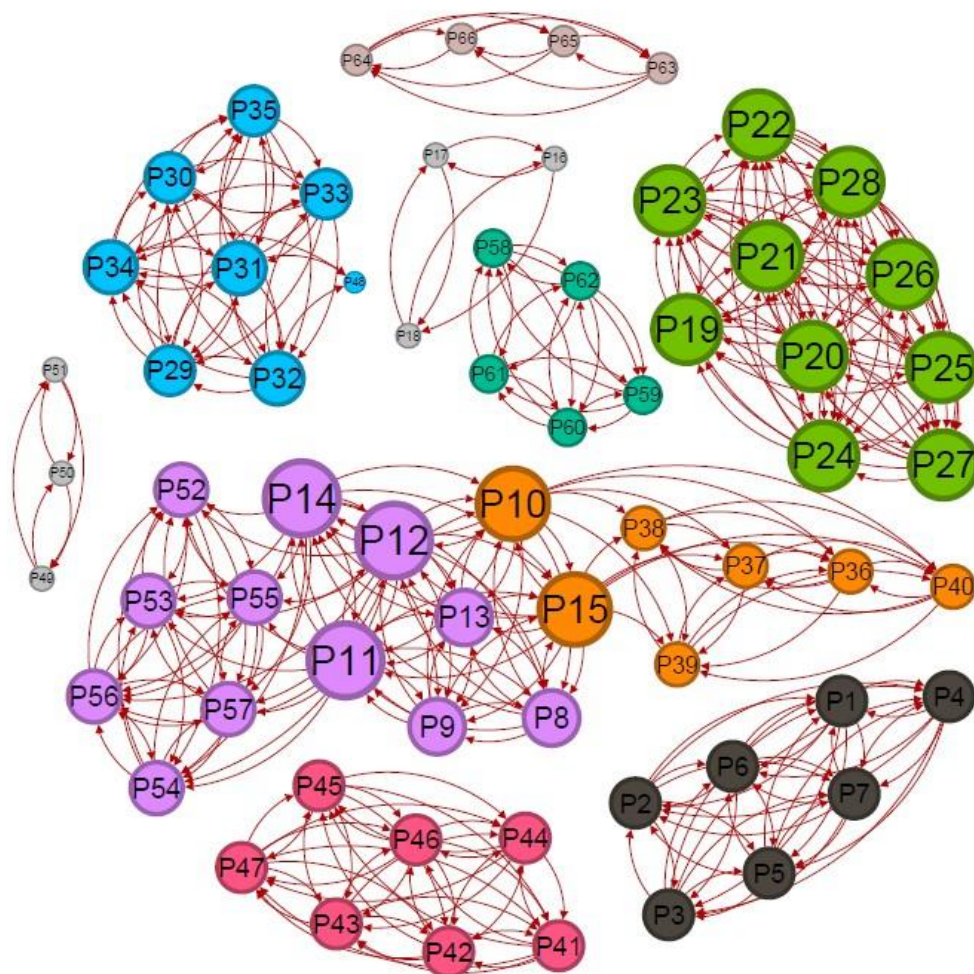
Fonte: elaborada pelo autor (2025).

A rede *a priori* representa a estrutura formal e inicial da Rede Alpha. É idealizada e planejada no documento de proposição do projeto (Proposta final, fase 2, da Rede Alpha 2023). Ela é definida pela alocação formal dos pesquisadores em 12 grupos de pesquisa, cada um com seu coordenador, conforme o plano de trabalho. A rede *a priori* a ser analisada é uma rede de coafiliação/comembros. A interação (aresta) entre dois pesquisadores (nós) nessa rede

inicial só existe se e somente se ambos foram originalmente alocados no mesmo grupo de pesquisa. A seguir, é apresentado o grafo da Rede *a priori* da Rede Alpha.

Nesse contexto, a análise da rede *a priori* constitui um diagnóstico da estrutura de colaboração entre os pesquisadores no início da formação da Rede Alpha. Entende-se que a análise da estrutura inicial da rede é importante para compreender o ponto de partida do grupo, revelando os laços pré-existentes e a topologia da rede antes de as interações fomentadas pelo projeto a alterarem. A Figura 13 apresenta o grafo da Rede *a priori* da Rede Alpha.

Figura 13 – Grafo da Rede *a priori* – Rede Alpha



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

O grafo anterior representa a Rede Alpha. A rede é composta por 66 pesquisadores de P1 a P66. O grafo apresenta a estrutura *a priori* da rede, ou seja, a estrutura inicial da rede de pesquisa que foi estabelecida antes de qualquer intervenção ou análise dinâmica da rede. Os Ps/Nós no grafo representam os pesquisadores da rede. As linhas vermelhas (Arestas)

representam as conexões iniciais entre os pesquisadores. As setas vermelhas indicam o fluxo das interações. As interações nessa rede inicial são direcionadas e recíprocas, como se vê pelas setas nas arestas do grafo.

Na construção do grafo, o tamanho do nó foi parametrizado com base no grau (número de conexões) de cada nó, o que reflete diretamente o número de interações que entram ou saem de cada pesquisador (P). Os pesquisadores P10, P11, P12, P14, P15, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27 e P28 se destacam pelo maior diâmetro, o que indica que possuem muitas conexões. Essas características individuais serão melhor apresentadas nas Métricas de Nó. Outra característica visível do grafo é a formação de clusters, representada pelas diferentes cores dos nós. No contexto da Rede Alpha, isso representa os diferentes grupos de pesquisa formados durante a concepção da rede. Observa-se que, apesar da rede inicial prever a formação de doze grupos de pesquisa, o grafo gerado apresenta apenas dez *clusters* iniciais. Essa diferença ocorre porque alguns pesquisadores participam de mais de um grupo de pesquisa, o que faz com que o *software* Gephi os considere mais próximos de outros grupos. Isso acontece especificamente porque tais atores estão em grupos nos quais os demais participantes já fazem parte de outros *clusters*. Um exemplo disso é o P48, que pode ser visto ao lado do *cluster* Azul, com diâmetro menor. Essa posição sugere que o ator P48 não pertence diretamente ao grupo Azul, mas sim que os demais pesquisadores de seu grupo original também fazem parte do *cluster* Azul.

Outra informação que o grafo nos revela é a forte interação entre alguns pesquisadores em clusters distintos, como é visível em P10 e P15. Estes estão interagindo no grupo Laranja e Lilás. Conforme o documento de criação da rede, isso sugere dupla afiliação, revelando que esses pesquisadores participaram tanto como coordenadores quanto como membros de grupos distintos da rede. Essa característica é crucial, pois aponta para potenciais pontes de conhecimento e colaboração entre diferentes núcleos de pesquisa desde o estágio inicial da rede. Para uma descrição mais detalhada da estrutura a priori da rede, a seguir serão apresentadas algumas métricas de visão geral (Tabela 4).

Tabela 4 – Métricas Gerais – Rede Alpha

Métricas	Valor
Grau Médio	6,015
Densidade da rede	0,093
Diâmetro da rede	2
Modularidade	0,777

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

#### ***4.1.1 Grau médio da Rede a Priori***

O grau médio da rede foi de 6,015. O valor revela um número significativo de conexões entre os pesquisadores. Na prática, isso mostra que, em média, cada pesquisador possui conexões com mais seis pesquisadores. O Grau Médio é o indicador básico de atividade (entradas e saídas) de informação de um nó da rede. Isso pode se tornar um impedimento ou uma oportunidade na disseminação do conhecimento, fator crucial para a Rede de Inovação, segundo Powell, Koput e Smith-Doerr (1996). No contexto da Rede Alpha, o Grau Médio pode ser interpretado como mediano, ou seja, nem muito alto nem muito baixo para a topologia inicial da rede, pois uma das características intrínsecas da formação inicial da rede é que os pesquisadores foram alocados propositalmente em grupos de pesquisa que condizem com as competências de cada pesquisador, o que induz interações inicialmente restritas ao próprio grupo em que o pesquisador foi inserido. A exceção a essa característica inicial seriam os pesquisadores que participam de mais de um grupo de pesquisa ao mesmo tempo, como pesquisadores e coordenadores.

#### ***4.1.2 Densidade da Rede a Priori***

A densidade da rede foi de 0,093, revelando baixa densidade, ou seja, na prática, apenas 9,3% das conexões possíveis existem. A densidade mede a coesão da rede. Um valor próximo de zero indica uma rede esparsa, confirmando a ausência de interações entre a maioria dos atores. Redes de Inovação (RINs) eficazes tendem a apresentar maior densidade, o que favorece a confiança e a troca recíproca (Burt, 1992). No contexto da Rede Alpha, essa baixa densidade da rede como um todo se dá mais uma vez, por característica inerente à constituição da rede, pois esta foi inicialmente dividida em doze grupos de pesquisa independentes. Essa topologia inicial seria mais propícia à formação de conexões entre os membros do próprio grupo, em prol de uma menor densidade do grupo como um todo.

### 4.1.3 Diâmetro da Rede a Priori

O Diâmetro da Rede foi relativamente baixo, de 2,0. Isso revela que a rede é pequena em termos de distância entre os nós. Na prática, esse diâmetro indica que qualquer pesquisador da rede pode ser alcançado por outro pesquisador em um número relativamente pequeno de saltos ou conexões. Apesar de a Rede Alpha ter sido inicialmente concebida em grupos independentes de pesquisa, um diâmetro de 2,0 indica que a rede é potencialmente eficiente para a disseminação de informações e a colaboração, conforme Recuero (2017).

### 4.1.4 Modularidade da Rede a Priori

A modularidade de 0,777 indica uma estrutura altamente segmentada, ou seja, formada por *clusters* (comunidades) isolados. A modularidade mede o quão bem a rede se divide em módulos. Um valor próximo de 1,0 indica que os atores se agrupam em sub-redes com interações mínimas entre si. Isso faz com que o conhecimento/capital intelectual tende a ficar confinado a cada grupo, limitando a capacidade da Rede Alpha de gerar sinergias e inovação mais expressivas por meio da combinação de diferentes conhecimentos (Fortunato, 2010).

Em resumo, a análise do grafo e das métricas *a priori* da Rede Alpha revelou uma estrutura de alta modularidade, caracterizando-a como uma rede esparsa com densidade de 0,093, o que confirma a divisão inicial da rede em 12 subgrupos de pesquisa. A alta modularidade (0,777) confirma que os 12 grupos de pesquisa estabelecidos estão divididos em comunidades coesas e internamente, mas com fracas conexões intergrupais, o que, por sua vez, reafirma a topologia inicial da rede, a qual está dividida em doze grupos de pesquisa distintos, mas também reforça um dos pontos a serem melhorados na rede, conforme revelado pelos pesquisadores na pergunta de número seis do questionário desta pesquisa, onde um dos pontos mais sugeridos de melhoria na visão dos pesquisadores é a interação entre os pesquisadores de diferentes grupos da Rede Alpha. No grafo, a rede está dividida em dez *clusters*. Apenas os *clusters* Lilás e Verde interagem por meio de P10 e P15. Os *clusters* Lilás e Verde são os maiores em número de pesquisadores afiliados. Nesse sentido, o desafio central para a rede, que justifica o seu estudo, é a transição desta estrutura *a priori*, em que as conexões se limitam às afiliações iniciais da rede, para uma estrutura *a posteriori* de colaboração intergrupar mais densa. Por fim, destaca-se que o papel dos pesquisadores com dupla afiliação é particularmente relevante, pois podem ser os “nós-ponte” essenciais para reduzir a modularidade e aumentar a

conectividade da rede.

#### 4.2 Métricas de nó - Rede *a Priori*

A Tabela 5 apresenta os valores das métricas de nó da rede a priori da Rede Alpha. Esses valores revelam informações sobre cada ator da rede. Será utilizada para interpretar características importantes do nó/pesquisador participante da rede em análise.

Tabela 5 – Análise das métricas de nó da rede a priori - Rede Alpha (Continua)

Pesquisador	Centralidade de Grau	Centralidade de Proximidade	Centralidade Intermediação	Centralidade de Autovetor
P1	12	1,0000	0	0,1589
P2	12	1,0000	0	0,1589
P3	12	1,0000	0	0,1589
P4	12	1,0000	0	0,1589
P5	12	1,0000	0	0,1589
P6	12	1,0000	0	0,1589
P7	12	1,0000	0	0,1589
P8	14	0,6207	0	0,3017
P9	14	0,6207	0	0,3017
P10	19	0,7500	15	0,3017
P11	20	0,7826	10	0,3017
P12	20	0,7826	10	0,3017
P13	14	0,6207	0	0,3017
P14	20	0,7826	10	0,3017
P15	19	0,7500	15	0,3017
P36	10	1,0000	0	0,2141
P37	10	1,0000	0	0,2141
P38	10	1,0000	0	0,2141
P39	10	1,0000	0	0,2141
P40	10	1,0000	0	0,2141
P52	13	1,0000	0	0,4123
P53	13	1,0000	0	0,4123
P54	13	1,0000	0	0,4123
P55	13	1,0000	0	0,4123
P56	13	1,0000	0	0,4123
P57	13	1,0000	0	0,4123
P16	4	1,0000	0	0,0068
P17	4	1,0000	0	0,0068
P18	4	1,0000	0	0,0068

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Tabela 5 – Análise das métricas de nó da rede *a priori* - Rede Alpha (Continuação)

Pesquisador	Centralidade de Grau	Centralidade de Proximidade	Centralidade Intermediação	Centralidade de Autovetor
P19	18	1,0000	0	1,0000
P20	18	1,0000	0	1,0000
P21	18	1,0000	0	1,0000
P22	18	1,0000	0	1,0000
P23	18	1,0000	0	1,0000
P24	18	1,0000	0	1,0000
P25	18	1,0000	0	1,0000
P26	18	1,0000	0	1,0000
P27	18	1,0000	0	1,0000
P28	18	1,0000	0	1,0000
P29	12	0,8750	0	0,1589
P30	12	0,8750	0	0,1589
P31	13	1,0000	13	0,1589
P32	13	1,0000	13	0,1589
P33	12	0,8750	0	0,1589
P34	13	1,0000	13	0,1589
P35	12	0,8750	0	0,1589
P48	3	0,0000	0	0,0795
P41	12	1,0000	0	0,1589
P42	12	1,0000	0	0,1589
P43	12	1,0000	0	0,1589
P44	12	1,0000	0	0,1589
P45	12	1,0000	0	0,1589
P46	12	1,0000	0	0,1589
P47	12	1,0000	0	0,1589
P49	4	1,0000	0	0,0068
P50	4	1,0000	0	0,0068
P51	4	1,0000	0	0,0068
P58	8	1,0000	0	0,0388
P59	8	1,0000	0	0,0388
P60	8	1,0000	0	0,0388
P61	8	1,0000	0	0,0388
P62	8	1,0000	0	0,0388
P63	6	1,0000	0	0,0173
P64	6	1,0000	0	0,0173
P65	6	1,0000	0	0,0173
P66	6	1,0000	0	0,0173

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

#### 4.2.1 Centralidade de grau

A seguir, serão detalhados os nós que mais se destacaram nas métricas de centralidade de grau, com base nos dados da tabela e na visualização do grafo da rede *a priori*. Em grafos direcionados, a Centralidade de Grau pode ser entendida como a soma do Grau de Entrada (ou seja, o número de conexões recebidas) e do Grau de Saída (o número de conexões enviadas a partir de um nó). A centralidade de grau é a medida mais direta de influência e atividade, representando o número de conexões diretas de um ator, conforme Wasserman, Faust (1994).

Na tabela 6, os pesquisadores com a maior Centralidade de Grau são P11, P12 e P14, todos com valor de 20. Isso revela que eles são os mais conectados da rede, seguidos pelos pesquisadores P10 e P15, com 19 conexões cada, e pelos de P19 a P28, que têm 18 conexões cada, o que indica que também possuem um número significativo de conexões na rede. Esses pesquisadores podem ser vistos como “Hubs” centrais de interação. No grafo, esses pesquisadores correspondem aos nós de maior tamanho (P11, P12 e P14 no *cluster* lilás; P10 e P15 no *cluster* laranja; e P19 a P28 no *cluster* verde). Isso indica que eles são os principais aglutinadores de atividade em suas respectivas redes, ou seja, pontos de referência com alto volume de interações diretas com os demais pesquisadores da rede.

#### 4.2.2 Centralidade de proximidade

A centralidade de proximidade mede a distância média de um pesquisador até todos os demais pesquisadores na rede. Um valor alto, próximo de 1,0, indica que o pesquisador pode alcançar todos os demais membros da rede de forma rápida e eficiente, o que seria ideal para a disseminação de informações (Dekker, 2008). Na topologia inicial da rede, 53 ou 80,30% dos pesquisadores possuem uma Centralidade de Proximidade máxima de 1,0, incluindo nós que estão nos *clusters* Verde (que contém P19 a P28), Preto (P1 a P7), entre muitos outros. Isso confirma o achado na métrica geral de Diâmetro 2,0, ou seja, a Rede Alpha pode ser entendida como um “mundo pequeno” (Milgram, 1967, v. 1, p. 61).

Na prática, mais de 80% dos pesquisadores estão a poucos passos de distância de qualquer outro pesquisador da rede, o que facilita a rápida disseminação de informações. Observa-se que alguns “Hubs” de maior grau, como P10, P12, P15, não possuem a proximidade máxima. Isso pode indicar que, embora estes pesquisadores estejam muito conectados em seus grupos, estão mais distantes dos *clusters* periféricos do que os membros dos grupos Verde,

Preto, entre outros, que estão em posições mais centrais na rede como um todo. Outro caso, como o nó P48, com valor de proximidade de 0,0000, representa nós isolados, como os observados nos pequenos grupos periféricos do grafo (P49 a P51), que não estão conectados aos grupos principais.

#### **4.2.3 Centralidade de intermediação**

Na Centralidade de Intermediação, os pesquisadores que mais se destacaram foram P10 e P15, cada um com valor de Centralidade de Proximidade de 15. Eles são os principais pesquisadores “ponto de ligação” na formação inicial da Rede Alpha, ou seja, controlam o fluxo de informações da rede, conforme Dekker (2008). Em seguida, temos o P31, o P32 e o P34, com centralidade de intermediação de 13. Por fim, temos P11, P12 e P20 com 10. Esses pesquisadores também exercem a função de “ponte” na rede, embora sua centralidade de intermediação seja significativamente menor do que a de P10 e P15. Observa-se, ainda, que a grande maioria dos pesquisadores possui intermediação igual a zero (0). Isso confirma a alta modularidade de 0,777 da rede, reafirmando que, a priori, a rede foi construída em comunidades que interagem pouco entre si. Além disso, os pesquisadores P10 e P15 mostram-se vitais para a coesão geral da rede. Eles ligam dois *clusters* diferentes (Laranja e Lilás). Isso permite que o conhecimento flua entre diferentes grupos que, de outra forma, estariam isolados. Por fim, a remoção desses atores poderia fragmentar a rede.

#### **4.2.4 Centralidade de autovetor**

A centralidade de autovetor pode ser entendida como a métrica de influência ou prestígio de um ator na rede. Essa métrica mede não apenas quantas conexões um ator possui, mas também a qualidade dessas conexões (Souza *et al.*, 2019). Nessa métrica, os atores do *cluster* Verde foram os que mais se destacaram: P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27 e P28, com o valor máximo de 1,0. Este achado revela que, apesar de P11, P12 e P14 possuírem o maior Grau de Centralidade (“número bruto de conexões”), não são os mais influentes da rede. O *cluster* Verde (de P19 a P28) possui o maior prestígio. Isso se deve ao fato de eles formarem um núcleo extremamente denso. Eles não apenas têm muitas conexões, mas também estão todos bem conectados entre si. Os pesquisadores P52 a P57, apesar de seu alto grau, possuem um autovetor significativamente menor de 0,4123. Isso sugere que, embora possuam conexões com muitos outros pesquisadores, os pesquisadores com quem estão conectados são,

em média, menos influentes do que os parceiros do grupo Verde.

Em resumo, ao analisar as métricas, nota-se que a Rede *a priori* da Rede Alpha é uma estrutura altamente modular, revelando ser uma rede com múltiplos centros de decisão, ou seja, não existe um único ator que centralize toda a rede. Na rede, diferentes atores e grupos desempenham funções complementares. O *cluster* Verde (P19 a P28), por exemplo, revela-se como o núcleo de maior influência e prestígio da rede. Já os pesquisadores com a maior Centralidade de Grau são P11, P12 e P14 no *cluster* Lilás. Eles se mostram como os principais articuladores em seus respectivos *clusters*. Apesar de esses pesquisadores apresentarem um grande volume de colaborações diretas, sua influência não se traduz em prestígio na rede como um todo; ou seja, possuem baixa centralidade de Autovetor. Os pesquisadores, como P10 e P15, são a ponte que mantém a rede unida. Por mais que eles não sejam os pesquisadores com o maior grau ou a maior influência, eles são importantes, pois possibilitam conexões com outros *clusters*. A rede depende fortemente deles para que a colaboração interdisciplinar ocorra. Quanto à Centralidade de Proximidade, precisamente, 80,30% dos atores possuem um valor máximo de 1,0 nessa métrica. Isso significa que, na topologia inicial da rede, a grande maioria dos pesquisadores está a poucos passos de distância de qualquer outro pesquisador, podendo a rede ser entendida pelo conceito de “Mundo Pequeno”. Além disso, observa-se que a existência de um nó com proximidade zero, como o P48, indica que, apesar deste pesquisador estar no *cluster* Azul, originalmente, ele não faz parte deste grupo e que provavelmente mantém interações somente com alguns atores deste *Cluster*.

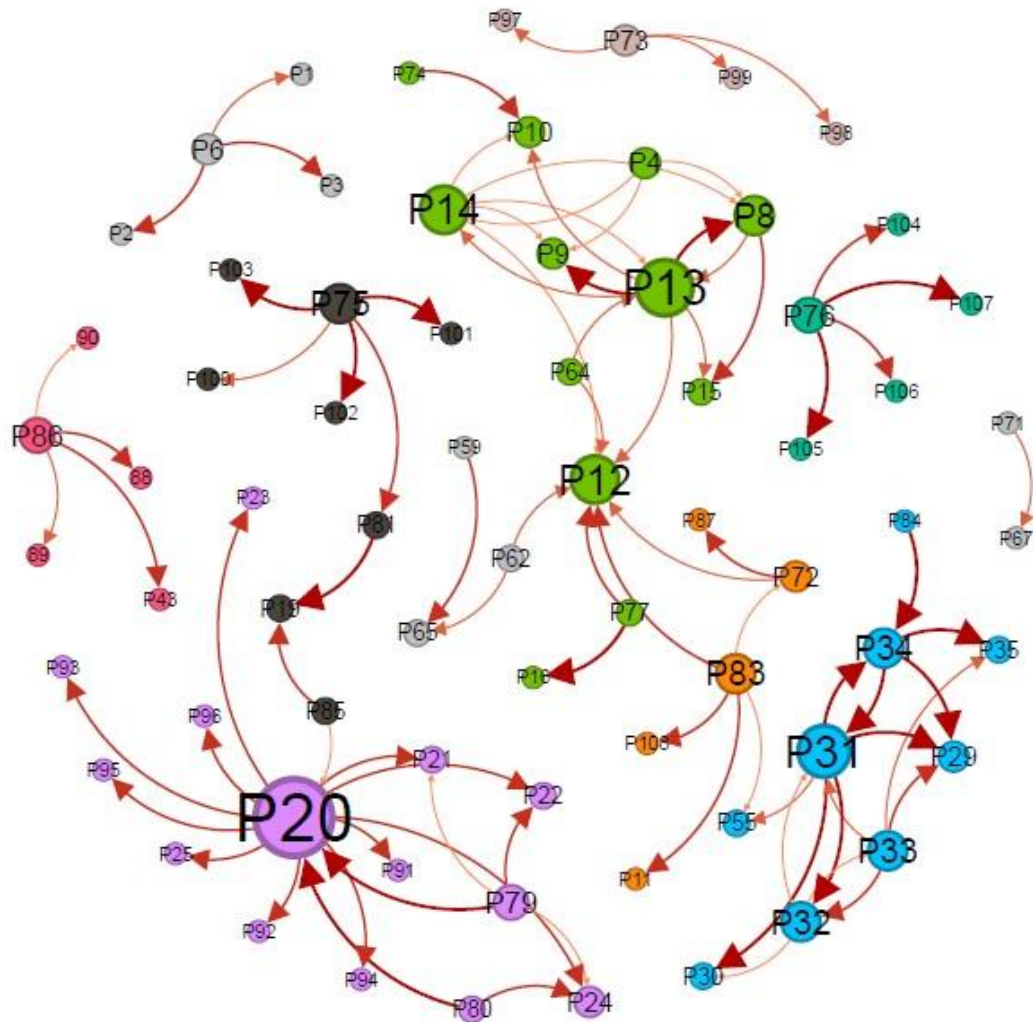
Em conclusão, a estrutura *a priori* da Rede Alpha apresenta-se altamente modular, concentrada em poucos núcleos de prestígio. Essa característica se mostra eficiente na disseminação de informações dentro dessas comunidades. No entanto, a união geral da rede depende de um número muito pequeno de atores, o que pode representar uma vulnerabilidade estrutural dessa rede inicial, conforme revelado por Milgram (1967).

### **4.3 Análise da rede emergente – Rede Alpha**

Para alcançar o segundo objetivo desta pesquisa, “Apresentar a rede de pesquisadores da Rede Alpha e como ela está estruturada em seu planejamento *a posteriori* (rede emergente)”, foi criada uma matriz retangular ponderada no Excel com base nos dados coletados no formulário eletrônico. A matriz foi organizada de tal forma que os 30 pesquisadores respondentes ficaram dispostos nas linhas da planilha, já as colunas da matriz representam os 87 pesquisadores citados pelos trinta respondentes. Dessa forma, foi construída

uma matriz retangular de 30 x 87. Os respondentes atribuíram um peso de 1 a 5 ao grau de colaboração com os demais pesquisadores; quanto maior o peso, maior o nível de colaboração. Considerou-se colaboração, no contexto da rede, qualquer atividade formal ou informal realizada com outros membros da Rede Alpha, sejam eles do seu grupo de pesquisa ou não, tais como: coautoria de artigos, capítulos ou projetos; participação em grupos de trabalho, reuniões ou eventos da rede; compartilhamento de dados, metodologias ou recursos; e discussões técnicas com o objetivo de avançar uma pesquisa comum. O grafo a seguir (Figura 14) representa as interações entre os pesquisadores da rede emergente da Rede Alpha. O tamanho do nó no grafo está parametrizado com base no grau de entrada e de saída de cada nó, já as arestas do grafo foram parametrizadas conforme o peso da colaboração entre os pesquisadores, ou seja, quanto maior o peso na colaboração, mais forte é a aresta que interliga dois nós da rede. Além dos 66 pesquisadores iniciais identificados na rede *a priori* da Rede Alpha, foram identificados na rede emergente (*a posteriori*) mais 42 pesquisadores, sendo eles (P67 a P108). Observa-se também que, dos 66 pesquisadores iniciais, apenas 31 foram identificados na rede *a posteriori*, sendo eles (P1 a P13 e P15, P16, P19, P21, P22, P23, P24, P25, P29, P30, P31, P32, P34, P35, P55, P59, P62 e P64). Os demais não responderam ao questionário ou não fazem mais parte da rede, o que inviabilizou a identificação desses “pesquisadores” *a posteriori*. Ao todo, foi identificado na rede emergente 71 pesquisadores, sendo esses (P1, P2, P3, P4, P6, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35, P43, P55, P59, P62, P64, P65, P67, P71, P72, P73, P74, P75, P76, P77, P79, P80, P81, P83, P84, P85, P86, P87, P88, P89, P90, P91, P92, P93, P94, P95, P96, P97, P98, P99, P100, P101, P102, P103, P104, P105, P106, P107 e P108).

Figura 14 – Grafo de interação da rede *a posteriori* - Rede Alpha



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

#### 4.3.1 Análise da rede emergente – Métricas de Rede

O grafo apresentado anteriormente mostra uma rede direcional com pesos; ou seja, as relações têm sentido: a seta indica o fluxo e a intensidade das relações, representados pela espessura e pela cor das linhas. As setas indicam a direção das interações na rede (ex.: P81 envia informação para P75). As relações na rede não são necessariamente recíprocas. Os pesos são representados por linhas mais espessas e escuras, e a intensidade do vermelho indica interações mais fortes ou frequentes (ex.: a conexão de P79 para P20 é muito forte). As linhas claras e finas representam laços fracos. A maioria das conexões fortes ocorre dentro das comunidades, o que reforça a alta modularidade da rede, métrica que será apresentada a seguir. A seguir, serão apresentadas algumas métricas gerais da rede emergente da Rede Alpha (Tabela 6).

Tabela 6 – Métricas Gerais – Rede Alpha

Métricas	Valor
Diâmetro da rede	4,0
Grau Médio	1,225
Densidade da rede	0,018
Modularidade	0,817

Fonte: elaborada pelo autor (2025.)

#### 4.3.2 Diâmetro da Rede

O diâmetro da rede foi de 4,0. Isso revela que o menor caminho entre quaisquer dois nós da rede tem apenas quatro passos. As redes com menor diâmetro apresentam maior facilidade na circulação de informações, devido à existência de um caminho médio mais curto (Recuero, 2017). No contexto da rede emergente da Rede Alpha, um diâmetro de 4,0 pode ser considerado baixo para uma rede com 71 nós interagindo, mas, ao mesmo tempo, indica que nenhum dos nós da rede está verdadeiramente isolado. Já o comprimento médio do caminho foi de 1,467, ou seja, em média, leva-se menos de 2 passos para conectar um nó a qualquer outro na rede. Este valor é extremamente baixo e constitui a principal característica de uma rede de “mundo pequeno” (Milgram, 1967).

#### 4.3.3 Grau médio

O grau médio da rede foi de 1,225, ou seja, cada nó possui pouco mais de uma conexão. Isso indica que, em geral, a rede é esparsa ou pouco conectada. Muitos nós, principalmente os periféricos, possuem apenas uma ou duas conexões, enquanto a maior parte da atividade se concentra nos nós centrais, como P13, P20, P31, P12 e P14.

#### 4.3.4 Densidade de Rede

Já a densidade do grafo de 0,018 revela uma rede esparsa, com baixa conectividade em relação ao total de conexões possíveis. A densidade mede a proporção de conexões existentes em relação ao total de conexões possíveis. Um valor de 0,018 ou 1,8% é baixíssimo, o que confirma que a rede, de modo geral, é esparsa. Segundo Borgatti e Cross (2003), uma rede com alta densidade (acima de 50%) seria mais favorável à rápida disseminação de informações e à construção de confiança e consenso.

### 4.3.5 Modularidade

A modularidade da rede foi de 0,817, o que indica alta modularidade e confirma o que se observa visualmente: a rede está claramente dividida em grupos distintos, em que os membros de um grupo interagem muito mais entre si do que com os de outros grupos. Pode-se identificar visualmente, no grafo, pelo menos 3 grandes clusters: um grande cluster no topo, ao redor do nó P20; um cluster à direita, ao redor do nó P31; e um cluster à esquerda, com os nós P12, P13 e P14 centrais. Um valor alto de modularidade indica que existem comunidades fortes na rede, onde os nós são mais densamente conectados entre si dentro de seus grupos do que com nós fora de seus grupos (Newman; Girvan, 2004).

A análise geral da rede emergente revelou claramente uma hierarquia. Atores centrais, como os nós P20, P31, P12, P13 e P14, de maior diâmetro, são os mais importantes no contexto geral da rede. Eles funcionam como "hubs", centralizando as conexões em suas comunidades e servindo de ponte entre elas. P20 parece ser o(a) pesquisador(a) mais influente da rede. Já pesquisadores como P75, P83, P34 e P86 revelam-se como atores secundários, com importância relevante para conectar locais distintos da rede, mas subordinados aos pesquisadores principais. Alguns nós revelaram-se mais periféricos, como P2, P11, P16, P43, P71, P104 e P108. Esses nós estão na periferia da rede, com poucas conexões e baixa influência. Eles dependem dos *clusters* para se conectarem ao restante da rede.

### 4.4 Análise da rede emergente – métricas de nó

Na análise dos nós da rede emergente, foram consideradas as métricas: (grau de entrada, grau de saída, centralidade de proximidade, centralidade de intermediação, centralidade de autovetor). Serão analisados os nós que mais se destacam em cada uma das métricas e o que isso significa no contexto da Rede Alpha (Tabela 7).

Tabela 7 – Métricas de nó na rede emergente da Rede Alpha (Continua)

Pesquisadores	Grau de entrada	Grau de Saída	Centralidade de Proximidade	Centralidade de Intermediação	Centralidade de Autovetor
P1	1	0	0	0	0,005578
P2	1	0	0	0	0,00578
P3	1	0	0	0	0,00578
P4	0	3	0,636364	0	0
P6	0	3	1	0	0
P8	3	2	0,6	2	0,671119
P9	3	0	0	0	0,671119
P10	3	0	0	0	0,671119
P11	1	0	0	0	0,00578
P12	7	0	0	0	0,70778
P13	3	6	1	9,5	0,671119
P14	2	5	0,857143	2,5	0,414967
P15	2	0	0	0	0,818375
P16	1	0	0	0	0,005578
P19	2	0	0	0	0,025101
P20	3	11	1	29	0,01734
P21	2	0	0	0	0,052182
P22	2	0	0	0	0,052182
P23	1	0	0	0	0,046402
P24	3	0	0	0	0,057962
P25	1	0	0	0	0,046402
P29	3	0	0	0	1
P30	2	0	0	0	0,88933
P31	3	5	0,777778	13	0,895111
P32	2	3	0,636364	3,5	0,71286
P33	1	4	0,7	1,5	0,39222
P34	2	3	0,583333	8	0,50289
P35	2	0	0	0	0,50289
P43	1	0	0	0	0,005578
P55	2	0	0	0	0,502889
P59	0	1	1	0	0
P62	0	2	1	0	0
P64	0	2	0,583333	0	0
P65	2	0	0	0	0,01156
P67	1	0	0	0	0,00578
P71	0	1	1	0	0
P72	1	2	1	1	0,00578
P73	0	3	1	0	0
P74	0	1	1	0	0
P75	0	5	0,857143	0	0
P76	0	4	1	0	0

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Tabela 7 – Métricas de nó na rede emergente da Rede Alpha (Continuação)

Pesquisadores	Grau de entrada	Grau de Saída	Centralidade de Proximidade	Centralidade de Intermediação	Centralidade de Autovetor
P77	0	2	1	0	0
P79	0	4	0,6	0	0
P80	0	2	0,5455	0	0
P81	1	1	1	1	0,00578
P83	0	5	0,0857143	0	0
P84	0	1	0,4	0	0
P85	0	2	0,541667	0	0
P86	0	4	1	0	0
P87	1	0	0	0	0,019321
P88	1	0	0	0	0,005578
P89	1	0	0	0	0,005578
P90	1	0	0	0	0,005578
P91	1	0	0	0	0,046402
P92	1	0	0	0	0,046402
P93	1	0	0	0	0,046402
P94	1	0	0	0	0,046402
P95	1	0	0	0	0,046402
P96	1	0	0	0	0,046402
P97	1	0	0	0	0,00578
P98	1	0	0	0	0,00578
P99	1	0	0	0	0,00578
P100	1	0	0	0	0,00578
P101	1	0	0	0	0,00578
P102	1	0	0	0	0,00578
P103	1	0	0	0	0,00578
P104	1	0	0	0	0,00578
P105	1	0	0	0	0,00578
P106	1	0	0	0	0,00578
P107	1	0	0	0	0,00578
P108	1	0	0	0	0,00578

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

#### 4.4.1 Centralidade de grau

A seguir, será detalhada a análise dos nós que mais se destacaram nas métricas de Grau de Entrada e de Grau de Saída, com base nos dados da tabela e na visualização do grafo. Em um grafo direcionado, a Centralidade de Grau pode ser entendida como a soma do Grau de Entrada (o número de conexões recebidas) e do Grau de Saída (o número de conexões enviadas) de um nó da rede. A centralidade de grau é a medida mais direta de influência e atividade,

representando o número de conexões diretas de um ator (Wasserman; Faust, 1994). Um ator com alto grau é um “Hub”, uma figura central com grande volume de colaborações. O nó que se destacou nessa métrica foi o P20, com Grau de Entrada de 3 e Grau de Saída de 11, ficando com uma Centralidade de Grau de 14, revelando-se como o pesquisador mais conectado da rede. O P13 possui um Grau de Entrada de 3 e um Grau de Saída de 6, resultando em uma Centralidade de Grau de 9, sendo o segundo pesquisador(a) com o maior número de conexões na rede. O P31 possui um Grau de Entrada de 3 e Grau de Saída de 5, ficando com uma Centralidade de Grau de 8, posicionando-se como o terceiro pesquisador com o maior número de conexões na rede. Outros atores importantes em seus próprios *clusters* são o P14, com 2 de Grau de Entrada e 5 de Grau de Saída, e o P12, com 7 de Grau de Entrada e 0 de Grau de Saída, revelando-se esse último, que teve apenas conexões recebidas e nenhuma conexão enviada.

No contexto da Rede Alpha, os dados revelam que o(a) nó P20 é o(a) pesquisador(a) mais ativo(a) e colaborativo(a) do grupo. Ele(a) funciona como o principal “Hub” da rede, com o qual a maioria dos outros pesquisadores se conecta para desenvolver produções científicas, o que o posiciona como um(a) coordenador(a) ou orientador(a) central da rede. Para Souza *et al.* (2019), quanto maior a centralidade de grau de um nó na rede, maior é a sua importância. O maior Grau de Saída (11) do que o Grau de Entrada (3) de P20 indica que este pesquisador possui mais conexões enviadas do que recebidas. P13, P31 e P12 representam outros pesquisadores com grau de centralidade relevante; ou seja, também possuem influência significativa na colaboração no contexto da rede de pesquisa.

#### **4.4.2 Centralidade de intermediação**

Esta métrica identifica os atores “ponte”, ou seja, os que conectam pontos distintos da rede. Atores com alta intermediação estão no caminho mais curto entre dois outros atores que não se conectam diretamente. Eles controlam o fluxo de informações e recursos e têm o poder de conectar ou isolar subgrupos (Dekker, 2008). Nesse contexto, o(s) nós/pesquisadores que mais se destacaram foram P20, com uma Centralidade de Intermediação de 29, sendo também o ator dominante nessa métrica, servindo como a principal ponte para quase toda a rede. O nó P31 estabelece-se como o segundo da rede em termos de centralidade de intermediação, com valor de 13. O nó se apresenta como a ponte principal para a sua comunidade, conectando-a ao resto da rede, muitas vezes por meio de P20. O P13, com 9,5 de Centralidade de Intermediação, ocupa a terceira posição, atuando como o intermediário-chave do *cluster* da esquerda no grafo. Em quarta posição, temos o P34, com uma Centralidade de

Intermediação de 8. Ele é um ator interessante, pois se encontra no centro de um cluster, o que possibilita que intermedie o fluxo de informação entre diversos nós desse núcleo local.

Por fim, no contexto da Rede Alpha, o P20 não é apenas o mais colaborativo, mas também o mais essencial para a coesão da rede. Sem esse nó, a comunicação e a colaboração entre diferentes subgrupos seriam severamente prejudicadas. Ele é o intermediário que garante a troca de conhecimento entre os diversos projetos. Os nós P31, P13 e P34 também desempenham papéis semelhantes, porém em menor escala.

#### ***4.4.3 Centralidade de proximidade***

A Centralidade de Proximidade é uma métrica utilizada para medir o quão próximo um nó está dos demais nós da rede. Atores com alta proximidade estão a uma curta distância de todos os demais na rede, o que lhes permite disseminar informações de forma rápida e eficiente, sem depender de intermediários (Dekker, 2008).

Os nós que se destacaram nessa métrica são: P6, P13, P20, P59, P62, P71, P72, P73, P74, P76, P77, P81 e P86. Todos eles possuem uma centralidade de proximidade máxima de 1,0, considerada alta. Isso significa que eles estão, em média, muito próximos de todos os outros nós da rede. Eles ocupam uma posição central e eficiente na rede. Os nós P14 e P75 possuem 0,857 e 0,853, respectivamente, menor que os pesquisadores já citados anteriormente, porém também considerado uma Centralidade de Proximidade alta, ou seja, esses nós também estão próximos de todos os outros nós da rede. Os nós P31, P33, P32, P4, P8, P79, P64, P34, P85, P80 e P84 possuem uma Centralidade de Proximidade média, situando-se entre 0,4 e 0,777. Na prática, isso revela que esses pesquisadores estão a uma distância média de todos os demais pesquisadores da rede e possuem uma capacidade relevante de disseminação de informações.

No contexto da Rede Alpha, os pesquisadores com uma Centralidade de Proximidade de 1,0 ou muito próximos desse valor são os mais bem posicionados para disseminar novas ideias, metodologias ou comunicados a todo o grupo de pesquisa, de forma rápida e direta. Eles também possuem acesso a um volume maior de informações da rede, assim como dependem menos de outros pesquisadores para obter acesso às informações que circulam nela (Freeman, 1977). No caso de surgir uma nova oportunidade de projeto ou edital, P6, P13, P20, P59, P62, P71, P72, P73, P74, P76, P77, P81 e P86 podem espalhar a notícia com máxima eficiência. Os P31, P33, P32, P4, P8, P79, P64, P34, P85, P80 e P84, apesar de apresentarem menor valor em Centralidade de Proximidade, também estão em posições privilegiadas para a

rápida difusão de conhecimento, não por terem o maior número de colaborações, mas por estarem em pontos estratégicos da rede.

#### ***4.4.4 Centralidade de autovetor***

A Centralidade de Autovetor quantifica a importância de um nó em uma rede, considerando não apenas o número de conexões que possui, mas também a qualidade dessas conexões (Souza *et al.*, 2019). A métrica mede a influência de um ator não apenas pelo número de conexões, mas também pela importância de seus vizinhos. Estar conectado a outros atores importantes confere mais prestígio e influência a um nó na rede.

O nó com o maior valor de Centralidade de Autovetor foi o P29, com 1,0. Isso revela que ele mantém boas conexões com atores importantes da rede. O nó participa de um *cluster* importante na rede. Os P31, P30 e P15 também apresentam centralidade de autovetor alta, situando-se entre 0,895111 e 0,818375, respectivamente. Isso revela que eles mantêm conexões importantes, o que lhes confere um certo prestígio. P32 e P12, com 0,71286 e 0,70778, apresentam valores menores que os dos demais pesquisadores da rede, mas possuem uma Centralidade de Autovetor média, ou seja, conexões que os impedem de ser ignorados na rede.

No contexto das interações na Rede Alpha, o ator P29 possui relações de prestígio dentro da rede, gozando de alto status na rede. Observa-se na Figura 17 que o nó pertence a um cluster relevante na rede. Essa posição pode privilegiar o pesquisador no acesso a informações, recursos e oportunidades na rede. Além disso, possuir conexões importantes com diversos outros pesquisadores relevantes da rede confere maior resiliência às conexões deste(a) pesquisador(a) (Newman, 2010). Os pesquisadores P31, P30 e P15 também possuem uma alta Centralidade de Autovetor, porém menor que P29, o que ainda lhes confere uma boa reputação na rede, atribuindo a eles, em uma escala menor, todos os privilégios atribuídos a P29.

Ao se aplicar as métricas de nó, como: (Centralidade de Grau, Intermediação, Proximidade e Autovetor), identificou-se que a estrutura emergente da Rede Alpha é uma estrutura complexa e de múltiplas faces, onde diferentes pesquisadores assumem papéis importantes dentro da rede, o que abre portas para uma maior eficiência do grupo. O P20, com a maior Centralidade de Grau (14 conexões), é também o de maior Centralidade de Intermediação (29). Isso coloca esse(a) pesquisador(a) como o coordenador operacional e o guardião do fluxo de informações na rede. Este ator é o principal colaborador na rede, atuando como ponte essencial entre os subgrupos. Sem esse ator, a rede perderia muitas de suas conexões, tornando-se mais fragmentada. A Centralidade de Proximidade de 1,0 deste ator

confirma que ele(a) está em uma posição estratégica para disseminar informações rapidamente por toda a rede.

Na análise da Centralidade de Autovetor, revelou-se que, apesar de o P29 não se destacar em outras métricas, como o P20, ele possui o maior valor de Centralidade de Autovetor, que é de 1,0. Isso revela que esse(a) pesquisador(a) possui influência na rede, com base na qualidade de suas conexões; ou seja, está conectado(a) a outros nós igualmente importantes, fazendo parte de um cluster relevante da rede. Pesquisadores como P31, P30 e P15 também compartilham dessa alta influência, impulsionada por conexões de prestígio, o que lhes confere status elevado por meio de associações estratégicas na rede.

Destaca-se também que os pesquisadores, como P13 e P31, se mostraram recorrentes em mais de uma métrica, aparecendo em métricas como Grau, Intermediação e Proximidade. Eles exercem uma espécie de coordenação secundária ou liderança de subcomunidades, garantindo a coesão de seus *clusters* e sua conexão com o todo, frequentemente por meio do P20. Já o P34 se revelou um exemplo de “Hub local”, com alta intermediação no próprio grupo.

No que tange à Centralidade de Proximidade, identificou-se um grupo que inclui P6, P13, P20 e P59, com o valor máximo nessa métrica: 1,0. Esses pesquisadores seriam os atores mais importantes para a rápida difusão de informações na rede. Esses atores não dependem necessariamente de intermediários para disseminar uma informação, podendo fazer com que novas informações circulem na rede, possibilitando que oportunidades ou novos conhecimentos permeiem por toda a rede com velocidade e eficácia máximas.

Finalmente, a Rede Alpha possui múltiplas lideranças em diferentes métricas. P20 mostrou-se como a base da rede, ou seja, o alicerce operacional, o ator mais relevante em termos de conexão. A perda deste(a) pesquisador(a) traria grandes problemas à conectividade da rede. A qualidade das conexões de P29 coloca esse ator como uma liderança baseada em prestígio e influência; ou seja, seu poder decorre de sua rede de contatos de alta qualidade. Já P13, P31 e outros atuam como líderes de grupos menores, unindo a rede como uma cola que garante a integração entre as diferentes partes. A diversidade de papéis em uma rede de PD&I pode ser vista como um sinal de maturidade e resiliência, conforme os achados de Machado e Ipiranga (2013). Mas ficar muito dependente de atores-chave, como o P20, representa um risco para a rede; essa descoberta corrobora os achados de Farina *et al.* (2017). Nessa conjuntura, a formulação de estratégias para fortalecer as conexões horizontais entre outros pesquisadores de alta intermediação, como P13 e P31, pode distribuir melhor os papéis da rede e torná-la mais resiliente a eventuais saídas de seus membros mais centrais (Marques *et al.*, 2022). Em última

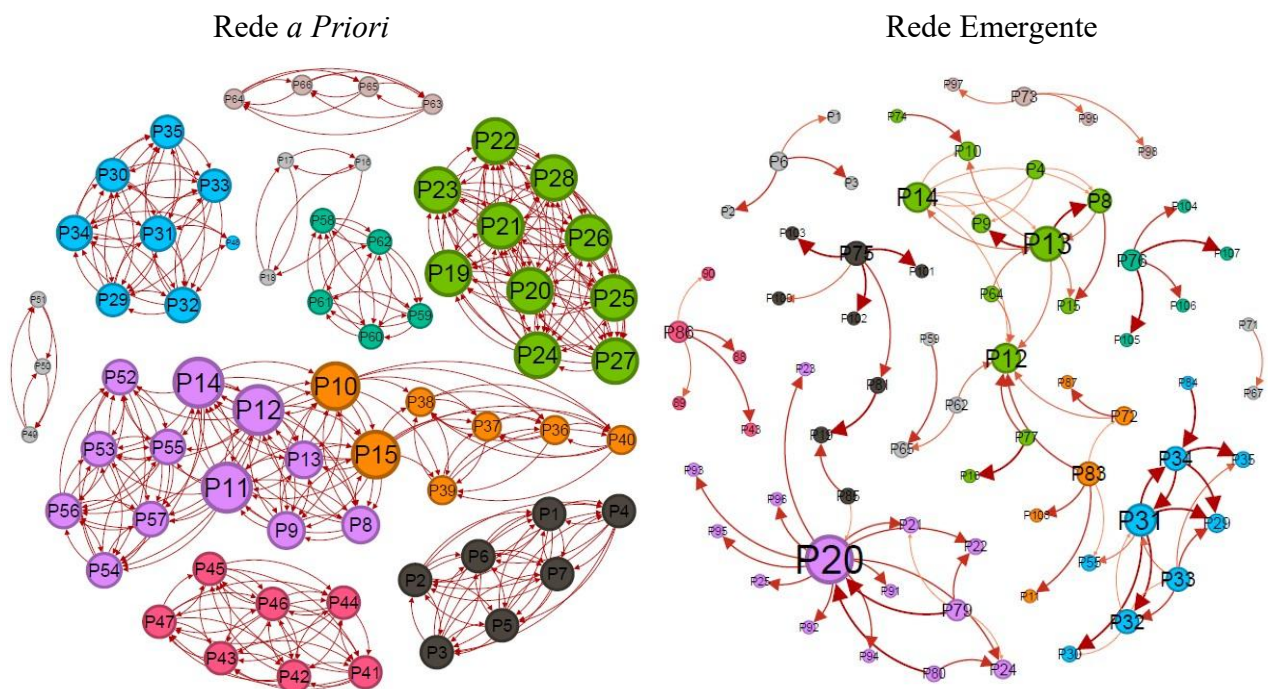
análise, a rede pode ser vista, conforme Wanderley *et al.* (2014), como um ecossistema dinâmico em que as interações ativas (Grau) entre seus participantes, o controle do fluxo de informações (Intermediação), a posição estratégica (Proximidade) e o prestígio relacional (Autovetor) se articulam para definir a influência e a importância de cada pesquisador.

#### 4.5 Rede a priori vs rede emergente – Rede Alpha

A presente dissertação analisa a Rede Alpha sob duas perspectivas: a primeira, a estrutura formal, ou seja, como a rede foi concebida (Rede a priori); e, em segundo plano, como a rede tem se dado na prática (rede emergente/*a posteriori*). A comparação entre essas duas visões revela a evolução da colaboração e a dinâmica real de funcionamento da rede, respondendo ao quarto objetivo específico desta pesquisa: “analisar comparativamente a estrutura a priori vs. a estrutura emergente da Rede Alpha”.

##### 4.5.1 Análise comparativa visual dos grafos da rede a priori vs rede emergente

Figura 15 – Rede a Priori vs Rede Emergente



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

A rede *a priori* foi constituída por 66 pesquisadores, enquanto, na rede emergente, foram identificados 71 pesquisadores, entre homens e mulheres. O tamanho dos nós foram

ajustados conforme o grau médio de cada nó, ou seja, conforme o número de conexões que cada pesquisador possui com os demais pesquisadores da rede, já os *clusters* no grafo foram divididos pelo critério cor. As setas indicam a direção das interações. Na rede *a priori*, considera-se que as interações ocorrem se e somente se os pesquisadores tiverem sido inicialmente alocados no mesmo grupo de pesquisa. Além disso, considera-se que essas interações são recíprocas. Na rede emergente, as setas indicam quais pesquisadores colaboraram entre si. Nesse caso, as interações não são necessariamente recíprocas. A seguir, será realizada uma acareação entre a Rede *a priori* e a rede emergente da Rede Alpha.

Em uma análise visual dos grafos apresentados na Figura 15, observa-se alta modularidade na rede inicial (rede *a priori*). Ela está segmentada em 9 *clusters* coesos, nos quais a maioria dos pesquisadores, com exceção de P10 e P15, apresenta interações restritas aos seus respectivos agrupamentos. Adicionalmente, o grafo da rede *a priori* revela uma liderança descentralizada e compartilhada entre os membros e nos diferentes grupos de pesquisa. Em contraste, o grafo da rede emergente mantém alta modularidade, mas evidencia um aumento no número de interações e colaborações entre pesquisadores de *clusters* distintos. Nesta rede emergente, três *clusters* se destacam pelo tamanho: Verde, Azul e Lilás. É possível identificar ainda pesquisadores que atuam claramente como pontes de conexão na rede, como P85, que estabelece a ligação entre os *clusters* Preto e Lilás, e P55, que conecta o Azul ao Laranja. Além disso, observa-se que algumas colaborações ocorrem predominantemente em *clusters* menores e mais fechados.

Por fim, em termos de Centralidade Geral, os nós de maior destaque visual são: P20 no cluster Lilás; P14, P13 e P12 no cluster Verde; P13 no cluster Azul; e P75 no *cluster* Preto. Os achados gerais das duas redes serão detalhados a seguir.

#### 4.5.2 Análise comparativa das métricas gerais da rede *a priori* vs rede emergente

Tabela 8 – Métricas gerais da rede *a priori* vs métricas gerais da rede emergente

Rede <i>a priori</i>		Rede emergente	
Métrica	Valor	Métrica	Valor
Grau Médio	6,015	Grau Médio	1,225
Densidade da rede	0,093	Densidade da rede	0,018
Diâmetro da rede	2,0	Diâmetro da rede	4,0
Modularidade	0,777	Modularidade	0,817

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Em síntese (Tabela 8), a rede emergente apresentou um Grau Médio menor (1,225); ou seja, os pesquisadores da rede *a priori*, em média, possuem mais conexões (6,015) do que

os da rede emergente. Mas é importante ressaltar que essa diferença é influenciada pela forma como as redes foram tratadas: enquanto que na rede *a priori*, por convenção, considera-se que todos os pesquisadores interagem com todos os demais pesquisadores de seu próprio grupo, na rede emergente é revelada a real colaboração entre os pesquisadores, independentemente do grupo de pesquisa que eles participam, ou seja, a rede emergente é uma “fotografia” real das colaborações da rede, enquanto a rede *a priori* é a forma como se imaginava que a rede deveria interagir. Por fim, embora o Grau Médio seja menor na rede emergente, ele indica que, em média, há pelo menos uma colaboração entre cada pesquisador da rede. Por fim, a colaboração real é significativamente menor do que a interação assumida a priori na rede planejada.

A densidade da rede *a priori* foi de 0,093, revelando-se como uma rede de baixa densidade, na prática, apenas 9,3% das conexões possíveis existem. A densidade da rede emergente foi de 0,018, o que a caracteriza como uma rede bastante esparsa, com baixa conectividade em relação ao total de conexões possíveis. De forma geral, ambas as redes são esparsas, mas a rede emergente é cinco vezes menos densa, o que reforça a ideia de que a colaboração é fraca em relação ao total de possibilidades, o que pode indicar uma colaboração incipiente ou fraca, dificultando o fluxo interno de informações, conforme Borgatti e Cross (2003).

O diâmetro da rede aumentou ao longo do tempo, passando de 2,0 para 4,0. Isso mostra que a distância de comunicação entre os pesquisadores dobrou. O fluxo de informação é mais lento e complexo na realidade do que na rede inicialmente planejada. Nesse contexto geral, a rede *a priori*, com menor caminho, teria maior facilidade para circular informações do que a rede emergente, conforme apontado por Recuero (2017, p. 47).

As duas redes mostraram-se bastante segmentadas, passando de 0,777 para 0,817. Esses valores revelam que as duas redes são altamente modularizadas, o que, na prática, confirma a formação de redes em grupos de pesquisa distintos. A rede emergente mostrou-se um pouco mais modularizada (0,817) do que a rede *a priori*. Isso confirma uma segmentação ainda mais forte em grupos de pesquisa distintos, ou seja, existem comunidades fortes na rede, onde os nós são mais densamente conectados entre si dentro de seus grupos do que com nós fora de seus grupos (Newman; Girvan, 2004).

Em suma, as métricas gerais da transição da rede *a priori* para a rede emergente revelam uma estrutura de colaboração real, caracterizada por baixa densidade e alta segmentação, na qual os pesquisadores interagem principalmente com seus grupos imediatos, o que resulta em um sistema com maior distância comunicacional e maior dificuldade na difusão do conhecimento entre as comunidades. Por fim, destaca-se que, devido a limitações na coleta

de dados primários, a rede emergente não conseguiu captar todos os pesquisadores. Essa restrição na amostra é relevante, pois pode ter contribuído para a subestimação das métricas gerais analisadas, o que nos leva a ter cautela na interpretação final das métricas aqui apresentadas.

#### 4.5.3 Análise comparativa das métricas de nó da rede *a priori* vs rede emergente

A seguir, na Tabela 9, é apresentado um resumo das métricas de nó encontradas na rede *a priori* e na rede emergente da Rede Alpha. Em seguida, será realizada uma comparação para analisar as principais diferenças entre as descobertas.

Tabela 9 – Resumo das métricas de nó – Rede Alpha

Métricas de Nó	Rede <i>a Priori</i>	Rede Emergente
<b>Centralidade de Grau</b>	P11, P12 e P14 ficaram com o maior valor, sendo esse de 20. P10 e P15 ficaram com 19. Já do P19 ao P28, todos ficaram com 18 de Centralidade de Grau.	P20 ficou com 14, P13 com 9 e P31 com 8 de Centralidade de Grau.
<b>Centralidade de Proximidade</b>	Nessa métrica, 80,30% dos pesquisadores possuem uma Centralidade de Proximidade máxima de 1,0.	Os nós P6, P13, P20, P59, P62, P71, P72, P73, P74, P76, P77, P81 e P86 atingiram o valor máximo de 1,0 nessa métrica.
<b>Centralidade de Intermediação</b>	P10 e P15 ficaram com 15. P31, P32 e P34 ficaram com 13. P11, P12 e P20 ficaram com 10.	P20 ficou com 29. P31 ficou com 13. P13 com 9,5 e P34 com 8,0.
<b>Centralidade de Autovetor</b>	De P19 a P28, todos ficaram com o valor máximo de 1,0.	P29 ficou com 1,0. P15, P30 e P31 ficaram entre 0,818375 e 0,895111 no autovetor. P12 e P32 ficaram entre 0,70778 e 0,71286, respectivamente.

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Observa-se que o grau máximo caiu de 20 para 14. Isso revela que, na rede real, o número de conexões dos pesquisadores é menor do que na rede planejada (rede *a priori*). Além disso, o número de pesquisadores com grau de centralidade mais elevado diminuiu. Na rede *a priori*, os nós P11, P12 e P14, P10 e P15, P19 a P28 todos eles possuíam uma Centralidade de Grau alta. Na rede emergente, apenas três pesquisadores apresentaram valor significativo nessa métrica: P20, P13 e P31. Por fim, constata-se que o(a) pesquisador(a) P20 apresenta alto grau de centralização em ambas as redes, além de se revelar o(a) nó mais ativo na rede emergente, ou seja, na colaboração real.

Na Centralidade de Proximidade, observa-se uma grande perda de nós com valor máximo de Centralidade de Proximidade. Na rede *a priori*, mais de 80% dos pesquisadores

estavam a uma distância mínima do restante da rede. Na prática, faz sentido, pois o diâmetro da rede era de 2,0. Nessa situação da rede inicial, a maioria dos nós possuíam acesso rápido a todos os outros nós da rede. Na rede emergente, apenas 13 nós conseguiram manter a proximidade máxima de 1,0. Essa redução ocorre devido ao aumento do diâmetro da rede de 2,0 para 4,0. Isso revela que, na realidade, a circulação de informação na rede é mais difícil do que o que é revelado na rede planejada. Além de evidenciar que a maior parte dos pesquisadores não está próxima do centro da rede. Por fim, destaca-se que os pesquisadores P6, P20, P59 e P62 aparecem em ambas as redes com pontuação máxima. Isso indica que, na realidade de funcionamento da rede, eles podem acessar outros integrantes de forma mais fácil e rápida.

Na Centralidade de Intermediação, o nó P20 assume um papel de ponte muito mais importante na rede emergente, com um peso de 29, do que qualquer outro nó na rede a priori, cujo valor máximo foi de 15. Na rede, a priori, havia mais atores com centralidade de intermediação significativa. Os valores mais altos estavam distribuídos entre P10, P15, P31, P32, P34 e P11, P12 e P20, todos com valor de 10. Na rede emergente, a função de ponte concentra-se em poucos nós: P20, P31, P13 e P34. Na prática, isso revela que o número de atores “ponte” na dinâmica real de funcionamento da rede é menor do que o previsto na rede planejada. Além disso, o nó P20 apresenta um valor quase duas vezes maior do que o segundo nó intermediário da rede a priori e é, disparadamente, o mais influente nessa métrica. Conforme Dekker (2008), isso pode ser um fator crítico, pois P20 detém um controle significativo sobre o fluxo de informação, ligando diferentes grupos, como se vê no grafo, em que P20 encontra-se no centro do *cluster* Lilás.

Na Centralidade de Autovetor, houve uma redução no número de atores com o valor máximo. Na rede, a priori, havia dez nós com valor máximo de 1,0. Já na rede emergente, apenas um nó, P29, possui valor máximo de 1,0. Isso reflete uma influência real e uma grande concentração por parte de P29. Na prática, isso mostra que o P20 é um nó importante devido à qualidade de suas conexões, podendo influenciar decisões importantes na rede (Souza *et al.*, 2019).

Por fim, ao comparar as duas redes, foi possível identificar algumas diferenças significativas entre a rede planejada e a emergente. As métricas mostraram-se melhor distribuídas na rede *a priori* (Planejada). A rede emergente revelou-se com maior concentração: um menor número de pesquisadores detém valores significativos nas métricas analisadas. Isso pode ser visto nos altos valores de grau da rede idealizada, em que a grande maioria sumiu, revelando que a proximidade que se imaginava ocorrer entre quase todos os pesquisadores da rede, a priori, na realidade ocorre apenas com uma parcela bem reduzida desses pesquisadores.

Isso implica que a circulação de informações na rede é mais lenta do que se imaginava. Ademais, o(a) pesquisador(a) P20 surge como o(a) ator(a) mais dominante na rede real, atuando como o principal ponto de atividade (grau de centralidade) e de conexão entre o grupo (Intermediação). Ainda, a liderança mais ampla e mais compartilhada observada na rede *a priori* foi substituída por um conjunto restrito de nós. Os nós mais ativos na rede emergente foram P20 e P13. Porém, esses pesquisadores não são os mais influentes; esse papel cabe aos pesquisadores P29, P30, P31 e P15, o que sugere uma divisão de influência na rede: enquanto alguns facilitam o fluxo, outros exercem maior influência.

## **4.6 Oportunidades e desafios – Rede Alpha**

### ***4.6.1 Oportunidades na Rede Alpha***

Na pergunta número seis do questionário, os pesquisadores responderam sobre as principais oportunidades que percebiam na Rede Alpha. Essa pergunta teve como objetivo verificar quais oportunidades são percebidas pelos pesquisadores na Rede Alpha.

Em resumo, foi possível classificar as respostas dos pesquisadores em três oportunidades, com base nos temas mais citados, sendo a “colaboração e interação multidisciplinar” a mais citada, seguida pelo “fortalecimento da Pesquisa e da Rede” por meio de parcerias com a sociedade e a indústria e, em terceiro lugar, a “Divulgação da Rede para a sociedade”.

A colaboração e interação multidisciplinares foram mencionadas 15 vezes pelos pesquisadores. Este é o ponto mais forte e o que apresenta os maiores atrativos de oportunidade da rede, segundo os pesquisadores. Para eles, a chance de trabalhar em conjunto, compartilhar conhecimentos multidisciplinares, recursos materiais, humanos e financeiros, além de reunir pesquisadores de áreas diversas, é o principal motor do avanço das pesquisas e da Rede Alpha como um todo. Essa visão corrobora a literatura existente sobre inovação aberta de Avellar, Damasceno e Silva (2021), ou seja, o sucesso das redes de PD&I depende necessariamente da integração entre seus múltiplos atores e do compartilhamento dos recursos disponíveis nelas.

O fortalecimento da pesquisa e da rede foi mencionado por 8 pesquisadores. Na visão desses pesquisadores, o fortalecimento da rede por meio de novas parcerias, é visto como um pilar para impulsionar a pesquisa local e garantir a continuidade da rede. Para isso, na visão dos pesquisadores, a conexão com a sociedade e a indústria é indispensável no fortalecimento da rede. A aproximação ao setor produtivo e a aplicação prática das pesquisas constituem

oportunidades estratégicas. Essa visão dos pesquisadores alinha-se perfeitamente ao modelo de Inovação da Hélice Tríplice de Etzkowitz e Zhou (2017).

Já a divulgação da rede à sociedade foi mencionada 7 vezes pelos pesquisadores. Para eles, a visibilidade da rede deve ser ampliada por meio de workshops e eventos que reúnam os diferentes grupos de pesquisa e outros stakeholders que possam somar-se à rede. Esses achados se alinham com a visão Rodrigues, Homrich e Carvalho (2021), onde os autores pontuam que os eventos acadêmicos seriam uma poderosa ferramenta para se alcançar os objetivos de uma rede de colaboração, pois este seria capaz de estimular o aumento da disseminação do conhecimento.

Diante das respostas dos pesquisadores, observa-se que as maiores oportunidades estão ligadas ao fortalecimento da pesquisa e da inovação no estado do Ceará, por meio da colaboração e da visibilidade da Rede Alpha. Assim, a efetividade das ações de PD&I reside na capacidade das organizações de gerenciar estrategicamente suas interações externas, de acordo com o tipo específico de inovação que se busca implementar (Marques *et al.*, 2022).

#### **4.6.2 Desafios na Rede Alpha**

Na pergunta número sete do questionário, os pesquisadores foram questionados sobre os principais desafios identificados por eles para o funcionamento mais eficiente da Rede Alpha. Essa pergunta teve como objetivo identificar os principais desafios percebidos pelos pesquisadores na Rede Alpha.

Em síntese, foi possível classificar tais desafios em três grandes áreas, com base nos temas mais recorrentes segundo as observações dos pesquisadores. Em primeiro lugar, ficou a “integração e comunicação”, o ponto mais crítico, segundo os pesquisadores. O “financiamento e sustentabilidade da rede” foi o segundo tópico mais citado pelos pesquisadores e, por último, a “transferência de tecnologia e impacto social da rede na sociedade”, sendo esse o terceiro desafio da rede mais citado, na visão dos pesquisadores.

A integração e comunicação foram mencionadas por 15 pesquisadores. Estes destacam as dificuldades de promover uma integração eficaz entre os membros, o que constitui um obstáculo à maior e melhor colaboração na rede (Brar *et al.*, 20025). A falta de oportunidades de maior networking, a dificuldade de nivelamento e a baixa integração geral entre os diferentes grupos foram citadas seis vezes. Cinco pesquisadores relataram a falta de interatividade efetiva entre os subprojetos e a necessidade de consolidar a interação entre os grupos de pesquisa. Ainda quanto à integração e à comunicação, houve quatro menções à

complexidade de gerenciar muitos pesquisadores e instituições, apontada como um desafio, o que implica organizar um cronograma que concilie os resultados de todas as etapas do projeto da rede. Os desafios apontados pelos membros da Rede Alpha convergem com os achados na literatura (Tálamo; Carvalho, 2010). Nesse contexto, os pesquisadores sugeriram algumas medidas contingenciais, como a realização de seminários, fóruns de discussão, atribuição de metas de produção acadêmica integrada, e a organização de eventos temáticos para tornar mais dinâmicas as pesquisas.

A continuidade e a diversificação dos recursos financeiros são vistas pelos pesquisadores como cruciais para a sobrevivência e o crescimento da rede, sendo esse campo citado por oito pesquisadores. Tais desafios vão ao encontro dos apontados por Leite, Caregnato e Miorando (2018). A busca contínua de financiamento para a rede foi mencionada quatro vezes, o que constitui um desafio recorrente. Tal desafio impõe a necessidade de diversificar as fontes de recursos para além dos editais iniciais, segundo os pesquisadores. Limitações de recursos e de bolsas foram mencionadas três vezes. Os pesquisadores destacaram a necessidade de mais investimentos em infraestrutura laboratorial, bem como de mais bolsas para estudantes, consideradas essenciais ao andamento dos projetos. Por fim, houve menção à captação de recursos, ou seja, à necessidade de buscar ativamente não apenas recursos financeiros, mas também novas parcerias que agreguem capital intelectual e material à rede.

Já o terceiro ponto mais citado pelos pesquisadores foi a transferência de tecnologias e o impacto social. Apesar de ser um dos objetivos centrais da rede, a conexão com a indústria e a sociedade ainda é vista como um ponto fraco. A transferência de tecnologia foi citada por quatro pesquisadores. Eles apontam a dificuldade de transformar as pesquisas em produtos utilizáveis pela sociedade e pela indústria, o que constitui um desafio importante a ser superado. Já a baixa visibilidade e inserção tiveram três menções. Os pesquisadores apontam que as ações da rede são pouco conhecidas fora do meio acadêmico e que é necessária maior inserção nos setores tecnológicos do Estado do Ceará. Para os pesquisadores, seriam necessários maior aproximação com a indústria e o setor privado, estratégias de divulgação e engajamento entre os membros, e investimento em divulgação científica para a sociedade. Essa visão dos pesquisadores vai de encontro ao modelo de inovação aberta (Etzkowitz; Zhou, 2017).

Em resumo, os relatos dos pesquisadores revelam que os maiores desafios da Rede Alpha não estão na qualidade das pesquisas em si, mas sim na governança, na articulação entre os membros e na sustentabilidade do ecossistema de inovação que se quer construir com a rede. As limitações apontadas pelos pesquisadores corroboram a visão de Gattaz (2010). Por fim, para os pesquisadores, superar esses desafios é fundamental para que a rede possa maximizar

suas contribuições no cenário de transição energética no estado do Ceará.

#### 4.7 Discussão dos resultados

Esta seção visa interpretar os achados apresentados nos tópicos anteriores. A análise buscará acorpar os resultados da Análise de Redes Sociais (ARS) da Rede Alpha com a literatura encontrada no referencial teórico sobre redes de colaboração, inovação e métricas de redes, que podem ser consultadas no Capítulo 2 deste trabalho. Nesse sentido, a análise deste tópico buscará ir além da descrição estrutural, analisando qual é o real significado da topologia da rede emergente para a interação entre os pesquisadores, para o fluxo de informação dentro da rede e para os desafios ou oportunidades que essa estrutura pode oferecer para a governança da rede.

A análise das métricas gerais da rede mostrou que a colaboração real difere significativamente da ideal. Enquanto a rede *a priori* era mais coesa, a emergente mostrou-se menos densa e mais segmentada. Na prática, isso significa que os pesquisadores, em sua maioria, só conversam com quem está em seu próprio grupo, o que pode limitar e dificultar a troca de conhecimento entre os membros dos doze grupos de pesquisa, conforme previsto por Borgatti e Cross (2003). É vital, no entanto, fazer uma ressalva: devido às limitações na coleta de dados primários, nem todos os pesquisadores foram incluídos. Essa incompletude da amostra pode ter levado nossas métricas gerais a serem mais baixas do que realmente são, o que requer, portanto, uma interpretação final mais prudente.

O primeiro achado desta pesquisa a ser destacado é a diferença estrutural entre a rede planejada (rede *a priori*) e a rede emergente (real). Os resultados mostram que a rede emergente apresenta maior concentração, em que um pequeno número de pesquisadores detém valores significativos nas métricas de centralidade, o que diverge da distribuição mais homogênea da rede planejada. Esta concentração influencia diretamente a densidade e conectividade da rede, conforme apontado por Freeman (1979). O estudo revelou ainda que a proximidade que se imaginou ocorrer na rede, *a priori*, acontece com uma parcela bem reduzida dos pesquisadores na colaboração efetiva da rede. Conseqüentemente, isso aponta para uma circulação mais lenta de informação do que a prevista pela topologia inicial da rede. Ao confrontar os achados com o referencial teórico, observa-se um cenário marcado por duas características opostas. Por um lado, a literatura sobre “laços fracos”, notavelmente Granovetter (1973), defende que redes menos densas e mais dispersas, como a Rede Alpha se mostrou ser, são cruciais para a inovação, pois funcionam como “pontes para outras esferas sociais” e para

novos entrantes, garantindo acesso a informações não redundantes e mais diversificadas. Por outro lado, as redes com baixa densidade apresentam uma fragilidade comum: elas podem sofrer na execução de tarefas rotineiras e no compartilhamento rápido de conhecimento (Borgatti; Cross, 2003). A lentidão percebida no fluxo de informações pode inibir a governança relacional, ou seja, afetar as interações e acordos que regem ações coletivas entre os diferentes atores da rede. Segundo Gattaz (2010), as redes de inovação dependem de confiança mútua e de reciprocidade entre os atores integrantes, para que seja possível reduzir os custos de transação. Nesse sentido, a atual estrutura da Rede Alpha parece eficiente para a busca de novas ideias por meio dos “laços fracos”, mas se mostra deficiente na execução e na coordenação interna, com baixa densidade e baixa proximidade entre os pesquisadores.

Outro aspecto a se destacar é que a rede planejada apresenta uma liderança bem distribuída entre os pesquisadores; porém, isso não foi o que se encontrou na rede emergente. Notou-se que essa formação, de fato, não ocorre na prática. Nas interações reais da rede emergente, um conjunto bem mais restrito de nós é o que realmente exerce a liderança da rede. Este fenômeno pode ser observado na liderança do pesquisador P20. Este surge como o pesquisador(a) mais dominante na rede emergente (real), atuando como um alicerce operacional. Observa-se, ainda, que P20 apresenta os maiores valores de Grau de Centralidade e de Intermediação. Este ator funciona como um “Hub” que conecta diversos outros atores ou grupos da rede que, de outra forma, estariam isolados, conforme apontado por Dekker (2008). Isso revela que, devido à sua importância, a perda de P20 poderia acarretar grandes problemas à conectividade da Rede Alpha. Este nível de centralização em torno de um único pesquisador cria uma vulnerabilidade estrutural na rede. Conforme apontado por White *et al.* (2022), que discutem os desafios de coordenação e dependência em redes, e que, embora a discussão aconteça em um outro contexto onde o autor utiliza a centralização para identificar resistências na colaboração, na Rede Alpha, a alta dependência da rede em P20 para a intermediação pode se tornar um gargalo na colaboração entre os pesquisadores.

Por fim, esses achados divergem para os mesmos desafios percebidos pelos próprios pesquisadores no Objetivo Três desta pesquisa. Estes apontam a governança e a articulação entre os membros como os maiores desafios identificados por eles. A estrutura da rede emergente centralizada em P20 pode explicar a dificuldade de articulação, pois a comunicação flui por meio de um único ator, em vez de ocorrer entre um número maior de membros da rede.

Outro resultado interessante, quanto aos achados, é a divisão da influência na rede. Os dados mostraram que os pesquisadores P20 e P13 são os que apresentam o maior grau de centralização e intermediação, todavia, não são os mais influentes. Esse papel de influência e

prestígio fica com os pesquisadores P29, P30, P31 e P15. Conforme Souza *et al.* (2019), esses pesquisadores possuem um tipo de liderança baseada em prestígio e influência, cujo poder advém de sua rede de contatos com atores estratégicos. Ao confrontar estes achados com as métricas do referencial teórico, podemos entender que a liderança operacional da rede fica com P20 e P13, pois possuem as maiores Centralidades de Grau e de Intermediação. Estes são os atores que fazem a rede funcionar no seu dia a dia. Já a liderança por influência (Autovetor) é exercida por P29, P30, P31, P15. Isso revela a importância de um nó pela importância de seus vizinhos. P29 tem prestígio por estar conectado a outros atores importantes da rede. Complementarmente, a rede possui um grupo (P6, P13, P20, P59, P62, P71, P72, P73, P74, P76, P77, P81 e P86) com a maior Centralidade de Proximidade. Segundo Freeman (1977), estes seriam os atores mais importantes para a rápida circulação de informações na rede, pois não dependem de intermediários para essa tarefa.

Finalmente, a análise dos resultados desta pesquisa sugere uma rede de múltiplas lideranças com papéis distintos: P20, intermediário operacional da rede; P29, influenciador por prestígio; e P6, P13, P20, P59, P62, P71, P72, P73, P74, P76, P77, P81 e P86, responsáveis pela disseminação rápida de informações. Em vista disso, um possível desafio de governança da Rede Alpha pode ser a falta de alinhamento ou o pouco alinhamento entre esses diferentes tipos de liderança. Assim, para que a rede atinja seu potencial inovador, descrito no referencial como dependente de colaboração eficiente, é necessária a articulação entre a influência P29 e a operação P20, atuando de forma coordenada, utilizando os disseminadores de informações da rede (P6, P13, P20, P59, P62, P71, P72, P73, P74, P76, P77, P81 e P86) para disseminar as informações estratégicas e fomentar a articulação entre os subgrupos. Em última análise, a rede pode ser vista, conforme Wanderley *et al.* (2014), como um ecossistema dinâmico em que as interações ativas (Grau) entre seus participantes, o controle do fluxo de informações (Intermediação), a posição estratégica (Proximidade) e o prestígio relacional (Autovetor) se articulam para definir a influência e a importância de cada pesquisador.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação investigou as interações colaborativas que ocorreram entre os pesquisadores integrantes da Rede Alpha, desde sua criação em 2023 até o dia 30 de junho de 2025. Foi utilizada como Metodologia/Ferramenta a Análise de Redes Sociais (ARS). Ao mapear as interações entre os pesquisadores da rede, foi possível conhecer como a rede se estruturava a priori e como está atualmente em sua estrutura emergente. Além disso, foi possível mapear as oportunidades e os desafios apontados pelos participantes para uma dinâmica mais eficiente nas interações da rede. Essa rede tem como missão a pesquisa voltada ao desenvolvimento de tecnologias que contribuam para a geração de energias renováveis. Essas interações acontecem em um contexto muito estratégico, que visa à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs), o que colabora diretamente para um desenvolvimento mais sustentável. O trabalho cumpriu seu objetivo central ao revelar quem são os pesquisadores mais influentes e como suas interações moldam a dinâmica da Rede Alpha, detalhado ao longo da análise dos resultados.

Inicialmente, o estudo dedicou-se a mapear a estrutura a priori da rede de colaboração científica, o que permitiu visualizar com mais clareza a topologia inicial da Rede Alpha. A análise revelou uma rede com características de “mundo pequeno” (*small-world*), marcada por alta modularidade (0,777), o que indica a formação de subgrupos ou clusters de pesquisa bem definidos, mas que, ao mesmo tempo, se mantêm conectados por um caminho médio curto entre os nós, de 2. Esta estrutura, conforme apontado por Watts e Strogatz (1998), é mais propícia à especialização do conhecimento nos clusters do que à rápida disseminação de inovações por toda a rede.

Em um segundo momento, o estudo concentrou-se em analisar a estrutura de ligação e a dinâmica das interações da rede emergente. Uma alta modularidade (0,817), aliada à presença de "buracos estruturais" (Burt, 1992) explorados por “atores-ponte” como P19, sugere uma dinâmica de especialização interna e de fluxo de conhecimento externo. A rede mostrou-se esparsa em termos de densidade geral (0,018), mas eficiente. Isso revela que, enquanto a colaboração intensiva ocorre em grupos temáticos específicos, a estrutura geral é flexível o bastante para permitir que novas informações e oportunidades de colaboração fluam de forma ágil entre eles, o que potencializa a capacidade de inovação do grupo como um todo.

Na sequência, buscou-se identificar os atores centrais da rede por meio de métricas de centralidade. Os resultados revelaram o pesquisador P20 como o ator mais central em quase todas as métricas analisadas. Ele possui o maior grau de conexões diretas (Grau 14), atua como

a principal ponte entre diferentes subgrupos (Intermediação 29) e, junto com outros pesquisadores, possui o acesso mais rápido e eficiente à informação (Proximidade 1). A importância de um ator central como P20 corrobora a visão de Freeman (1979) de que a centralidade é um indicador crucial do poder e da influência de um ator em uma rede social. Atores como P31, P12, P13 e P75 também emergiram como “Hubs” secundários e conectores importantes para a coesão de seus respectivos *clusters*.

Quanto às contribuições deste trabalho, as conclusões oferecem contribuições relevantes para diferentes esferas. Para a academia, a pesquisa contribuiu ao utilizar a metodologia de Análise de Redes Sociais (ARS) como ferramenta metodológica e analítica no estudo específico da Rede Alpha. Ela apresentou um modelo prático de como a estrutura relacional pode impactar a produção científica, oferecendo um caminho para que futuros pesquisadores explorem a correlação entre a posição de um ator na rede e seu impacto acadêmico, como o índice *h*, apontado por Wanderley *et al.* (2014).

Para instituições privadas e gestores de PD&I, os resultados oferecem insights valiosos sobre a gestão estratégica de equipes de pesquisa e inovação. A identificação de atores-chave, gargalos de comunicação e subgrupos coesos permite otimizar a comunicação na rede, a alocação de recursos, fomentar colaborações mais estratégicas e acelerar a criação de tecnologias de forma mais eficiente. Além disso, empresas do setor de energia podem utilizar essa análise para identificar potenciais parceiros acadêmicos e centros de excelência.

Para a sociedade, o estudo contribuiu para desvendar a dinâmica de colaboração em um campo vital como o das energias renováveis. O estudo reforça a importância do investimento em redes de pesquisa para enfrentar desafios globais, como a transição energética e a crise climática. Além disso, o trabalho entende que compreender como o conhecimento é criado e difundido é um passo importante para o fortalecimento de ecossistemas de inovação e possibilita que os avanços científicos se traduzam em benefícios tangíveis para a sociedade (Krell; Souza, 2020).

Reconhece-se que este estudo apresenta limitações que abrem caminho para futuras investigações. A limitação mais evidente deste estudo está na amostra analisada, que, embora representativa, não conseguiu capturar todos os pesquisadores da Rede Alpha, o que constitui a principal limitação, por se tratar de uma pesquisa de recorte específico da rede. Desta forma, sugere-se que, para futuras pesquisas, a amostra seja expandida, ou seja, que o estudo seja replicado com uma amostra mais ampla da rede. Além de sugerir a comparação com outras redes de pesquisa em energias renováveis no Brasil ou no exterior, o que permite uma análise comparativa entre diferentes redes. Sugere-se ainda realizar uma análise longitudinal para

observar a evolução das interações da rede ao longo do tempo. Isso permitiria compreender como as posições dos atores mudam, como novos membros são integrados e como a estrutura da rede se adapta a novos projetos e desafios. A inclusão de mais dados qualitativos de forma explicativa: combinar a análise quantitativa de ARS com métodos qualitativos, como entrevistas com pesquisadores centrais e periféricos. Isso poderia aprofundar a compreensão da natureza das colaborações, das motivações por trás das parcerias e das barreiras à comunicação, trazendo à tona as nuances que os dados estruturais, por si só, não são capazes de revelar, conforme defendem Wasserman e Faust (1994).

Além disso, sugere-se, para investigações futuras, a aplicação de métodos estatísticos inferenciais para validar a comparação entre as topologias das duas redes, especificamente o uso da correlação de QAP (Quadratic Assignment Procedure), ou, em português, “Procedimento de Atribuição Quadrática”. O QAP permitiria testar matematicamente a hipótese de que a estrutura planejada (*a priori*) é preditora da estrutura real (rede emergente). Segundo Borgatti, Everett e Johnson (2013), esta técnica é importante nos estudos de redes, pois pode “calcular a significância estatística considerando a não-independência das observações diádicas, superando as limitações das correlações tradicionais ao comparar matrizes de adjacência”.

Por fim, sugere-se realizar uma correlação com métricas de impacto: cruzar os dados de centralidade com métricas de impacto da produção científica, como número de citações, patentes registradas ou projetos financiados, para validar empiricamente a relação entre a posição na rede e o sucesso acadêmico e tecnológico.

Em suma, esta pesquisa revelou que as interações em uma rede de pesquisa são complexas e estruturadas e que a utilização da ARS se mostra uma metodologia poderosa para estudar tais ambientes, o que nos leva a compreender de forma mais clara a dinâmica dessas redes, conforme Silva e Silva (2020). Esses ambientes, que, por tamanha complexidade, às vezes se mostram enganadoramente intuitivos, o que se revela falso mais tarde ao se analisar tais redes com maior profundidade. A análise quantitativa é uma ferramenta poderosa para a gestão do conhecimento e da inovação. Por fim, espera-se que os achados desta pesquisa sirvam de base para o fortalecimento da Rede Alpha e inspirem novos estudos sobre a força dos laços, fracos e fortes, e que, assim, contribuam para a construção de um futuro mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, R. M. S.; COSTA, F. da S. Avaliando a transição energética através da análise de clusters das matrizes de energia elétrica de 40 países. **Cadernos do IME - Série Estatística**, Rio de Janeiro, v. 52, p. 1-21, 2022.
- ARIOLLI, F.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- AVELLAR, A. P. M. de; DAMASCENO, A. O.; SILVA, F. Q. Determinantes da cooperação para inovação das empresas brasileiras. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 951-974, ago./dez. 2021.
- BACHARACH, S. B.; LAWLER, E. **Power and politics in organizations**. San Francisco, Josey Bass, 1980.
- BAKSHY, E. *et al.* O papel das redes sociais na difusão de informações. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WORLD WIDE WEB, 21., 2012, Lyon. **Anais [...]**. New York: Association for Computing Machinery, 2012. p. 519–528.
- BARABÁSI, A.-L. **Network science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.
- BASCOMPTE, J. Networks in ecology. **Basic and Applied Ecology**, v. 8, n. 6, p. 485–490, 2007.
- BATAGELJ, V. Centrality in Social Networks. *In*: FERLIGOJ, A.; KRAMBERGER, A. (Ed.). **Developments in Statistics and Methodology**. Metodološki zvezki, 9. Ljubljana: FDV, 1993. p. 130-137.
- BERTONCELO, E.; PEREIRA, V. B. Entrevista com John Scott. **Tempo Social**, v. 28, n. 2, p. 207–212, maio 2016.
- BORDIN, A. S.; GONÇALVES, A. L.; TODESCO, J. L. Análise da colaboração científica departamental através de redes de coautoria. **Perspectivas em ciência da informação**, v. 19, n. 2, p. 37–52, abr. 2014.
- BORGATTI, S. P. *et al.* Network Analysis in the Social Sciences. **Science**, v. 323, n. 5916, p. 892-895, 2009.
- BORGATTI, S. P.; CROSS, R. A Relational View of Information Seeking and Learning in Social Networks. **Management Science**, v. 49, n. 4, p. 432-445, abr. 2003.
- BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; JOHNSON, J. C. **Analyzing social networks**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2013.
- BORIM-DE-SOUZA, R. *et al.* Cross-sector partnerships & sustainable development: counter-arguing optimism. **Revista de Administração de Empresas**, v. 63, n. 3, p. e2022–0233, 2023.
- BOZEMAN, B.; LEE, S. The Impact of Research Collaboration on Scientific Productivity. **Social Science Studies**, v. 35, n. 5, p. 673-702, 2005.

BRAGA, M. J. DA C.; GOMES, L. F. A. M.; RUEDIGER, M. A. Mundos pequenos, produção acadêmica e grafos de colaboração: um estudo de caso dos Enanpads. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 1, p. 133–154, jan. 2008.

BRAND, F. C. **A influência de propriedades estruturais e relacionais da rede social e de características cognitivas na transferência de conhecimentos: estudo em uma rede de cooperação**. 2015. 190 f. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

BRAR, J. *et al.* The Benefits, Challenges, and Strategies toward Establishing a Community-Engaged Knowledge Hub: An Integrative Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 20, n. 2, p. 1–26, jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 916/2023-SCE/ANEEL**. Processo nº 48526.018815/2023-00. Brasília, DF: ANEEL, 18 dez. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 7 mar., 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 19 mar. 2024.

BURT, R. The Social Structure of Competition. *In*: BURT, R. **Structural Holes: the social structure of competition**. Cambridge: Harvard University Press, 1992. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=E6v0cVy8hVIC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=E6v0cVy8hVIC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 22 set. 2025.

CAPAZ, R. S.; MARVULLE, V. Arte da tecnologia do hidrogênio: revisão. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: [s.n.], 2006.

CASTELLS, M.; CARDOSO, G. (Org.). Prefácio dos organizadores. *In*: **A sociedade em rede: do conhecimento à ação política**. Lisboa: CIES, 2005. Disponível em: [http://www.cies.iscte.pt/destaques/documents/Sociedade\\_em\\_Rede\\_CC.pdf](http://www.cies.iscte.pt/destaques/documents/Sociedade_em_Rede_CC.pdf). Acesso em: 08 out. 2025.

CASTRO, M. **Contexto institucional de referência, governança de redes e processos de cooperação e competição: estudo em arranjos produtivos locais do estado Paraná**. 2013. 291 f. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

CHAVES, A. S. Tecnologias de eletricidade limpa podem resolver a crise climática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210361, 2021.

CHEN, Dong; DAI, Li; LI, Donghong. A Delicate Balance for Innovation: Competition and Collaboration in R&D Consortia. **Management and Organization Review**, v.15, n.1, p. 145–176, mar. 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/251B2890472BBDDC7EFA7ED3A7C10B1C/S1740877618000499a.pdf/a-delicate-balance-for-innovation-competition-and-collaboration-in-randd-consortia.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1987.

COLLINS, C. S.; STOCKTON, C. M. O Papel Central da Teoria na Pesquisa Qualitativa. **International Journal of Qualitative Methods**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2018.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010.

CROSS, R.; PARKER, A. **The Hidden Power of Social Networks: Understanding How Work Really Gets Done in Organizations**. Boston: Harvard Business School Press, 2004.

CUNHA, C. R. DA; MELO, M. C. DE O. L. A confiança nas relações interorganizacionais. **Organizações & Sociedade**, v. 11, n. spe, p. 79–93, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/osoc/a/Y7yDZBBhFDptJJ6LMKVzHbT/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 set. 2025.

DEGENNE, Alain; FORSÉ, Michel. **Introducing Social Networks**. Londres: SAGE Publications, 1999.

DEKKER, A. Centrality in social networks: Theoretical and simulation approaches. *In: Simulation technology and training conference (Simtect)*. Melbourne, Austrália, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228981558\\_Centrality\\_in\\_social\\_networks\\_Theoretical\\_and\\_simulation\\_approaches](https://www.researchgate.net/publication/228981558_Centrality_in_social_networks_Theoretical_and_simulation_approaches). Acesso em: 27 ago. 2025.

DI, K. *et al.* How do enterprises' green collaborative innovation network locations affect their green total factor productivity? Empirical analysis based on social network analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 438, p. 140766, 2024.

EMIRBAYER, M.; GOODWIN, J. Network analysis, culture and the problem of agency. **American Journal of Sociology**, v. 99, n. 6, p. 1411-1454, 1994.

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 90, p. 23–48, maio 2017.

FARINA, M. C. *et al.* Análise de redes sociais no arranjo produtivo local dos ramos têxtil e de confecções da região da Grande São Paulo a partir de uma visão de governança. **Gestão & Regionalidade**, São Caetano do Sul, v. 33, n. 98, p. 36-52, maio/ago. 2017.

FERREIRA, Gonçalo Costa. **Redes sociais de informação em organizações num contexto da sociedade contemporânea**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012, p.79.

FERREIRA, Gonçalo Costa. Redes sociais de informação: uma história e um estudo de caso. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 16, n. 3, p. 208-231, jul./set. 2011. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/pci/a/hX6dWhCGmV CqGCC6ZnhgSMw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2025.

FERREIRA, V.B. A prática colaborativa: tradição e contemporaneidade. *In: E-science e políticas públicas para ciência, tecnologia e inovação no Brasil* [online]. Salvador: EDUFBA, 2018. pp. 57-75. ISBN: 978-85-232-1865-2. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclclefindmkaj/https://books.scielo.org/id/bc84k/pdf/ferreira-9788523218652-05.pdf>. Acesso em: 29 set. 2025.

- FORTUNATO, Santo. Community detection in graphs. **Physics Reports**, v. 486, n. 3-5, p. 75-174, 2010.
- FREEMAN, L. C. A set of measures of centrality based on betweenness. **Sociometry**, v. 40, n. 1, p. 35–41, 1977.
- FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social Networks**, Amsterdam, v. 1, n. 3, p. 215-239, 1979.
- FREEMAN, L. C. **The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science**. Vancouver: Empirical Press, 2004.
- FREITAS, R. P. de *et al.* Análise da Dinâmica das Redes Sociais em torno da Hashtag #ESG ON X (ANTIGO TWITTER): Evolução, influenciadores e tópicos. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. e010782, 2025.
- GALEMBECK, F. Energia: resolver problemas, explorar: demandas atuais de aumento na produção de energia de fontes renováveis criam grandes oportunidades para o Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 74, n. 4, p. 1–7, 24 mar. 2022.
- GASPAR FILHO, V.; SANTOS, T. Transição da Segurança Energética: energias limpas, minerais críticos e novas dependências. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, p. e01791, 2022. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/asoc/a/QfkCFyq38HWdKJcKrP8wvZR/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 15 set. 2025.
- GATTAZ, C. C. **Um modelo de referência de formação e gestão de redes organizacionais: o caso do sistema de C, T&I do setor aeroespacial brasileiro**. 2010. 306 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- GEPHI. **Gephi**: Software para visualização e exploração de redes. [S.l.]: Gephi Consortium, 2023. Versão 0.10.1. Disponível em: <https://gephi.org/>. Acesso em: 01 Jan. 2025.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GOMES, R. F. L. Grafos, algoritmos e métricas. Como seguir rastros nas mídias sociais?. **Galáxia**, São Paulo, n. 38, p. 220–223, maio 2018.
- GOMES, R.C.; PORTO, G.S.; COSTA, P.R. Methodological proposal for the use of patents in research of interorganizational collaboration networks for innovation. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 8, n. 3, 2019. DOI: 10.5585/geas.v8i3.15777. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/15777>. Acesso em: 16 nov. 2025.
- GRANOVETTER, M. S. The Strength of Weak Ties. **American Journal of Sociology**, v. 78, n. 6, p. 1360–1380, 1973.
- GULATI, R. Alliances and Networks. **Strategic Management Journal**, v. 19, n. 4, p. 293-317, 1998.
- GULATI, R.; SYTCH, M. Does Familiarity Breed Trust? Revisiting the Antecedents of Trust. **Managerial and Decision Economics**, Hoboken, v. 29, n. 2-3, p. 165-190, mar./abr. 2008.

HANK, C. *et al.* **Análise de país Power-to-X**: análise comparativa específica do local para caminhos e produtos Power-to-X adequados em países em desenvolvimento e emergentes. Freiburg: Fraunhofer ISE, maio 2023.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Aquecimento Global de 1,5°C**. Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza. Suíça, out. 2018, Suíça. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnmbpcjpcglclefindmkaj/https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

JABER, T. A Surge toward a Sustainable Future: Organizational Change and Transformational Vision by an Oil and Gas Company. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 25, n. 3, p. e200031, 2021.

JACOBSON, M. Z. *et al.* Impacts of Green New Deal Energy Plans on Grid Stability, Costs, Jobs, Health, and Climate in 143 Countries. **One Earth**, v. 1, n. 4, p. 449-463, 20 dez. 2019.

JANNUZZI, G. M. Transição energética no Brasil. **Ciência & Cultura**, v. 76, n. 3, p. 1-6, 2024.

KIM, D.; LEE, S.; ZIKOS, V. **Responsabilidade social corporativa ambiental e redes endógenas de P&D**. [S. l.]: [s. n.], [2024]. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=5191603>. Acesso em: 15 de Nov. 2025.

KOSCHATZKY, K. **Networks in Innovation Research and Innovation Policy – An Introduction**. Technology, innovation and policy 12. Series of the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI). 2001.

KRELL, A. J.; SOUZA, C. B. C. A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 157–188, 2020.

LAMPIS, A. *et al.* Possibilidades e limites da transição energética: uma análise à luz da ciência pós-normal. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 103, p. 183–200, set. 2021.

LAUMANN, Edward O.; MARSDEN, Peter V.; PRENSKY, David. The boundary specification problem in network analysis. *In*: BURT, Ronald S.; MINOR, Michael (Ed.). **Applied network analysis: a methodological introduction**. Beverly Hills: Sage Publications, 1983. cap. 1, p. 18-34.

LEITE, D. B. C.; CAREGNATO, C. E.; MIORANDO, B. S. Efeitos multiplicadores das redes de colaboração em pesquisa. Um estudo internacional. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 23, n. 1, p. 263–286, jan. 2018.

LOBO, Ezequiel Alves; CRUZ NETO, Luis Alves da Silva; TAHIM, Elda Fontenele; CÂMARA, Samuel Façanha. Formas de orquestração da inovação em arranjos produtivos locais: um estudo no setor moveleiro e de calçados. **DRD - Desenvolvimento Regional em**

**debate**, [S. l.], v. 14, p. 300–320, 2024. DOI: 10.24302/drd.v14.5066. Disponível em: <https://www.periodicos.unc.br/index.php/drd/article/view/5066>. Acesso em: 14 nov. 2025.

LOPES, F. D.; BALDI, M. Redes como perspectiva de análise e como estrutura de governança: uma análise das diferentes contribuições. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 4, p. 733-754, jul./ago. 2009.

LOPES, G. da C. *et al.* Simbiose industrial e redes de inovação: uma análise sistemática da literatura. **Revista Gestão em Análise**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 9–26, 2025.

MACHADO, D. de Q.; IPIRANGA, A. S. R. Characteristics and performance of knowledge networks in the biotechnology sector. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 17, n. 3, p. 350–367, maio 2013.

MARQUES, H. R. *et al.* Open Innovation and Implementation of Different Types of Innovation: An Analysis Based on Panel Data. **Brazilian Business Review**, v. 19, n. 1, p. 39–58, jan. 2022.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Excel**: software. Versão 2016. Redmond: Microsoft Corporation, 2016.

MILGRAM, Stanley. The Small-World Problem. **Psychology Today**, v. 1, n. 1, p. 61-67, maio 1967.

MIRANDA, L. M. Sobre história, sustentabilidade e crise energética. **Revista Brasileira de História**, v. 43, n. 92, p. 15–28, jan. 2023.

MIRANDA, P. E. V. de; THIJSSSEN, R. **Estudo de mapeamento para o setor brasileiro de P&D de hidrogênio: relatório síntese**. Rio de Janeiro: [s.n.], 30 set. 2024.

NEWMAN, M. E. J. **Networks: An Introduction**. Oxford: Oxford University Press, 2010.

NEWMAN, M. E. J.; GIRVAN, M. Finding and evaluating community structure in networks. **Physical Review E**, v. 69, n. 2, p. 026113, 2004. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0308217>. Acesso em: 19 mar. 2025.

NUNES, S. A. da S. **Benefícios da aprendizagem cooperativa e do trabalho em grupo nas relações interpessoais em ambiente escolar**: estudo de caso em 1º ciclo do ensino básico. 2022. Relatório (Mestrado em Educação Pré-Escolar e Ensino do 1.º Ciclo do Ensino Básico) - Escola Superior de Educação Jean Piaget, Almada, 2022.

O'MALLEY, A. J.; MARSDEN, P.V. The Analysis of Social Networks. **Health Services and Outcomes Research Methodology**, V. 1, N. 4, P. 222-269, dec. 2008. Doi: 10.1007/s10742-008-0041-z.

PEIXOTO, J.; EGREJA, C. A força dos laços fracos: estratégias de emprego entre os imigrantes brasileiros em Portugal. **Sociologias**, Porto Alegre, ano 14, n. 29, p. 288-316, jan./abr. 2012.

PINTO, A. M. G.; JUNQUEIRA, L. A. P. Relações de poder em uma rede do terceiro setor: um estudo de caso. **Revista de Administração Pública**, v. 43, n. 5, p. 1091-1116, 2009.

- PIRES, A. M. B.; TEIXEIRA, F. L. C.; HASTENREITER FILHO, H. N. Colaboração nas atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação: O que nos ensina o modelo de Centros e Redes de Excelência Petrobras / Coppe UFRJ?. **Organização & Sociedade**, Salvador, v. 20, n. 66, p. 417-434, jul./set. 2013.
- POWELL, W. W.; KOPUT, K. W.; SMITH-DOERR, L. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: networks of learning in biotechnology. **Administrative Science Quarterly**, Ithaca, NY, v. 41, n. 1, p. 116-147, mar. 1996.
- RECUERO, R. **Análise de Redes para Mídia Social**. Porto Alegre: Sulina, 2015.
- RECUERO, R. **Introdução a análise de redes sociais online**. Salvador: Edufba, 2017.
- RECUERO, R. **Redes Sociais na Internet**. Porto Alegre: Sulina, 2009.
- RIBEIRO, H. C. M.; CORRÊA, R. Analysis of the Scientific Production on the Green Hydrogen Theme Published in Scientific Journals Indexed by EBSCO. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. e03165, 2023.
- RIBEIRO, H. C. M.; SOUZA, M. T. S. Economia circular e turismo: produção científica à luz da análise de redes sociais. **Estudios Gerenciales**, v. 38, n. 164, p. 385-402, 2022.
- ROCHA, G. O. da *et al.* Química Sem Fronteiras: o desafio da energia. **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1540–1551, 2013.
- RODRIGUES, Cristiane Pereira; HOMRICH, Aline Sacchi; CARVALHO, Marly Monteiro de. Gestão de stakeholders e o gerenciamento de projetos de eventos em universidades públicas: um estudo de caso. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO, PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE (SINGEP), 9., 2021, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2021.
- RUFINO, A. C.; BONFIM, W. L. de S. Diversas abordagens conceituais sobre o trabalho em rede. **Barbarói**, Santa Cruz do Sul, n. 45, p. 119-137, jul./dez. 2015.
- SACCOL, A. Z. Um retorno ao básico: compreendendo os paradigmas de pesquisa e sua aplicação na pesquisa em administração. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 250–269, 2010.
- SANT'ANA, R. B. O trabalho em redes e grupos de colaboração em pesquisa: desafios contemporâneos. **Perspectiva**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1143–1162, 2016.
- SCOTT, J. **Social Network Analysis: A handbook**. 2. ed. New York: SAGE, 2001.
- SCOTT, J.; CARRINGTON, P.J. **Manual SAGE de Análise de Redes Sociais**. SAGE Publications: Nova Iorque, 2011.
- SEBRAE. **Entenda o que é um hub de inovação e como funciona**. Portal Sebrae, 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/entenda-o-que-e-um-hub-de-inovacao-e-como-funciona,32b22cb3509c4810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 24 jun. 2024.

- SHEBLE, L.; BRENNAN, K.; WILDEMUTH, B. M. Social network analysis. *In*: WILDEMUTH, Barbara M. (Ed.). **Applications of social research methods to questions in information and library science**. 2. ed. 2016. p. 339-350. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/313820672\\_Social\\_network\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/313820672_Social_network_analysis). Acesso em: 15 set. 2025.
- SIFFERT, N.; ROCHA, K. Hidrogênio Verde: Oportunidades e Desafios para o Brasil. **Radar Ipea**, Brasília, n. 74, p. 29-37, 2023.
- SILVA, A. B. de O. e; PARREIRAS, F. S.; MATHEUS, R. F.; PARREIRAS, T. A. S. Análise de redes sociais como metodologia de apoio para a discussão da interdisciplinaridade na ciência da informação. **Ciência da Informação**, v. 35, n. 1, p. 72–93, jan./abr. 2006.
- SILVA, H. P.; SILVA, C. L. O uso da Análise de Redes Sociais (ARS) para a captação de relações tecnológicas na COOCAT-MEL em Telêmaco Borba-PR. **Revista da FAE**, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 163-188, jan./jun. 2020.
- SOUSA, J. C.; SOUSA, F. R. Redes de Colaboração como Estratégia de Inovação. ID on line. **Revista de psicologia**, [S. l.], v. 17, n. 69, p. 439-459, dez. 2023. DOI: 10.14295/online.v17i69.3927. Disponível em: <http://idonline.emnuvens.com.br/id>. Acesso em: 15 nov. 2025.
- SOUSA, P. **Energias renováveis - O que são, conceito e definição**. Conceito de, 19 mar. 2024. Disponível em: <https://conceito.de/energias-renovaveis>. Acesso em: 08 de Jan. 2025.
- SOUZA, A. C. dos S. *et al.* **Análise de redes sociais: uma abordagem prática**. Salvador: EDUFBA, 2019. p. 29-43.
- TÁLAMO, J. R.; CARVALHO, M. M. Redes de cooperação com foco em inovação: um estudo exploratório. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 4, p. 747–760, out. 2010.
- TOMÁEL, M. I.; MARTELETO, R. M. Redes sociais de dois modos: aspectos conceituais. **Transinformação**, v. 25, n. 3, p. 245–253, set./dez. 2013.
- VERMELHO, S. C.; VELHO, A. P. M.; BERTONCELLO, V. Sobre o conceito de redes sociais e seus pesquisadores. **Educação e Pesquisa**, v. 41, n. 4, p. 863-881, dez. 2015.
- VICHI, F.; MANSOR, M. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 747-757, 2009.
- VIEIRA, G. P.; KAMAZAKI, D. F.; DIAS, A. C. G. Ética em Pesquisa: A Utilização de Levantamento On-line em Psicologia. **Psicologia: Ciência e Profissão**, v. 42, p. e238789, 2022.
- WANDERLEY, A. J. *et al.* Identificando correlações entre métricas de Análise de Redes Sociais e o h-index de pesquisadores de Ciência da Computação. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 34., 2014, Brasília. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBC, 2014. p. 1-12.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: Methods and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

White et al. (2022) - não está nas referências White,

WHITE, K. B.; RESMONDO, Z. N.; JENNINGS, J. C.; CREEL, L. M.; KELLY PRYOR, B. N. A social network analysis of interorganisational collaboration: Efforts to improve social connectedness. **Health & social care in the community**, v. 30, n. 6, e6067–e6079. 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/hsc.14044>. Acesso em: 17 ago. 2025.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA COLETA DE DADOS

<b>BLOCO 1 - Perfil do respondente</b>
<b>1– Nome completo</b>
<b>2 – Gênero</b>  <input type="checkbox"/> Feminino <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Não optar Outra:
<b>3– Selecione a sua faixa etária:</b>  <input type="checkbox"/> De 18 a 30 anos <input type="checkbox"/> De 30 a 40 anos <input type="checkbox"/> De 40 a 50 anos <input type="checkbox"/> De 50 a 60 anos <input type="checkbox"/> Mais de 60 anos
<b>BLOCO 2 - Perfil da Rede Alpha</b>
<b>3. – Selecione a opção que representa o projeto ao qual você pertence entre os doze projetos de pesquisa que compõem a "Rede Alpha" (caso pertença a mais de um grupo, pode selecionar mais de uma opção):</b>  <input type="checkbox"/> Grupo 1 - Novos materiais para células fotovoltaicas voltados à produção de energia solar. <input type="checkbox"/> Grupo 2 - Tecnologias (fotoeletroquímicas) para a produção de H2V. <input type="checkbox"/> Grupo 3 - Conversores para energias renováveis na produção e uso do H2V. <input type="checkbox"/> Grupo 4 - Integração à rede elétrica de produção de H2V a partir de plantas fotovoltaicas (PV) e eólicas em larga escala. <input type="checkbox"/> Grupo 5 - Tecnologias eólicas e térmicas solares com regeneração industrial para produção de H2. <input type="checkbox"/> Grupo 6 - Produção fermentativa de H2 a partir de resíduos orgânicos. <input type="checkbox"/> Grupo 7 - Novas tecnologias de sensoriamento óptico aplicadas à detecção de hidrogênio. <input type="checkbox"/> Grupo 8 - Mobilidade, sistemas térmicos e misturas com H2. <input type="checkbox"/> Grupo 9 - Tecnologias (CCUS) para integrar a redução de emissões à utilização e ao transporte de H2V. <input type="checkbox"/> Grupo 10 - Desenvolvimento e avaliação de materiais e processos inovadores para a obtenção de SAF e combustíveis sintéticos. <input type="checkbox"/> Grupo 11 - Materiais e tecnologias para armazenamento e transporte de H2. <input type="checkbox"/> Grupo 12 - Gestão da inovação: transferência de tecnologia e fortalecimento da cadeia produtiva das energias renováveis, com ênfase no H2V, no estado do Ceará. <input type="checkbox"/> Não sei

**5 - Digite os nomes dos pesquisadores com quem você tem colaborado no âmbito da Rede Alpha e indique o grau de colaboração com cada um.**

**Neste questionário, considera-se como "colaboração" qualquer atividade formal ou informal realizada com outros membros da Rede Alpha, sejam eles do seu grupo de pesquisa ou não, tais como:**

I - Coautoria de artigos, capítulos ou projetos

II - Participação em grupos de trabalho, reuniões ou eventos da rede.

III - Compartilhamento de dados, metodologias ou recursos.

IV - Discussões técnicas com o objetivo de avançar uma pesquisa comum.

Para os graus de colaboração, utilize:

1 – Raramente (menos de 2 vezes por mês)

2 – Ocasionalmente (de 2 a 4 vezes por mês)

3 – Regularmente (pelo menos 1 vez por semana)

4 – Frequentemente (diariamente)

**EXEMPLO DE RESPOSTAS:**

Miguel Ceos Albuquerque Nobre - 2

Ana Metis Colares Maia - 4 etc.

### **Bloco 3 - Oportunidades e Desafios na Rede Alpha**

**6 - Na sua visão, quais são as principais oportunidades que a Rede Alpha pode explorar para ampliar seu impacto na pesquisa e na colaboração científica?**

**7 - Quais você considera os desafios atuais mais críticos para o funcionamento eficaz da Rede Alpha e como acredita que a Rede pode superá-los?**

Fonte: elaborado pelo autor, inspirado em Nunes (2022).

## APÊNDICE B – GRUPOS DE PESQUISA DA REDE ALPHA

<b>GRUPOS DE PESQUISA</b>
<p><b>Grupo 1:</b> Novos materiais para células fotovoltaicas voltados à produção de energia solar. Neste grupo encontra-se uma equipe multidisciplinar de pesquisadores das áreas de Física, Química, e Engenharia de Materiais vinculados à UFC e ao IFCE.</p>
<p><b>Grupo 2:</b> Tecnologias fotoeletroquímicas para a produção de hidrogênio verde. Este grupo tem como proposta, estudar as diferentes rotas de produção de hidrogênio a partir de processos (foto)eletrolíticos, reunindo pesquisadores vinculados à UFC, UFCA, IFCE e Embrapa.</p>
<p><b>Grupo 3:</b> Conversores de energias renováveis na produção e no uso do H<sub>2</sub>V. Fazem parte do grupo três de pesquisa da Rede Alpha, o grupo de pesquisa em Mecatrônica (GPEM), do eixo de controle e processos industriais do IFCE Sobral, e o grupo de processamento de Engenharia e controle (GPEC), ligados ao departamento de engenharia da UFC.</p>
<p><b>Grupo 4:</b> Integração à rede elétrica de produção de H<sub>2</sub> a partir de plantas PV e Eólica em larga escala. O grupo é composto pelos seguintes subgrupos: Grupo de Redes Elétricas Inteligentes (GREI-UFC), que desenvolve soluções inovadoras para redes; Grupo de processamento de Energias e Controle (UFC); Grupo de estudo de potência e Energias Renováveis (UNIFOR); Instituto SENAI de Tecnologias (SENAI-CE); Grupo de processamento e planejamento de Energias elétricas (UNILAB); e Laboratório de inovação Tecnológica (LIT-IFCE). O grupo tem como objetivo buscar soluções para a produção de hidrogênio verde no Ceará, bem como para a aplicação de H<sub>2</sub> na rede elétrica.</p>
<p><b>Grupo 5:</b> Tecnologias eólicas e térmicas solares com regeneração industrial para produção de hidrogênio. O grupo é composto por professores e pesquisadores de quatro ICTs: UFC, UECE, Unifor e Unilab. O grupo tem como objetivo desenvolver tecnologias voltadas ao setor produtivo, a partir das demandas da indústria, com foco na sustentabilidade de produtos e serviços. Desta forma, o grupo buscará desenvolver um sistema capaz de gerar H<sub>2</sub> a partir de fontes renováveis.</p>
<p><b>Grupo 6:</b> Produção fermentativa de hidrogênio a partir de resíduos orgânicos. Este grupo é composto por pesquisadores da EMBRAPA e da UFC, além de alunos de graduação e de pós-graduação. O grupo busca desenvolver reatores anaeróbios para a produção de H<sub>2</sub> e metano.</p>
<p><b>Grupo 7:</b> Novas tecnologias de sensoriamento óptico aplicadas à detecção de hidrogênio. O grupo é formado por pesquisadores da UFC, IFCE e UVA, com o objetivo de desenvolver um sensor capaz de medir a concentração de H<sub>2</sub> em cilindros de armazenamento desse gás, por meio de um compósito de hidretos com materiais cerâmicos luminescentes.</p>
<p><b>Grupo 8:</b> Mobilidade, Sistemas Térmicos e Misturas com Hidrogênio. O grupo é formado por professores e pesquisadores de quatro ICTs: UFC, UECE, Unifor e Institutos SENAI de Tecnologia. O propósito do grupo é desenvolver pesquisa aplicada para atender ao setor produtivo. O grupo possui experiência na produção de leitos em monólitos cerâmicos catalíticos a serem implementados em montagens compactas e associados a motores avançados e a células a combustível.</p>
<p><b>Grupo 9:</b> Tecnologias CCUS para integrar a redução de emissões à utilização e ao transporte de H<sub>2</sub>V. São instituições que compõem o grupo, UFC e UEC. O grupo tem como objetivo desenvolver tecnologias mais eficientes e econômicas para a produção de H<sub>2</sub> de baixa emissão e de metanol. Visando reduzir os custos operacionais a longo prazo</p>

e tornar essas soluções mais competitivas, com maior viabilidade econômica e menor impacto ambiental.

**Grupo 10:** Desenvolvimento e avaliação de materiais e processos inovadores para a obtenção de SAF (querosene de aviação sustentável) e de combustíveis sintéticos. O grupo é composto por quatro ICTs além da UFC e da URCA. O grupo busca soluções nos processos de obtenção e de avaliação de combustíveis sustentáveis.

**Grupo 11:** Materiais e tecnologias para o armazenamento e o transporte de hidrogênio. Fazem parte do grupo professores e pesquisadores da UFC. O grupo busca desenvolver tecnologias voltadas para a área da metalurgia física, processos de fabricação, análise de materiais, absorção e simulação numérica, a fim de compreender a interação dos materiais com o H<sub>2</sub>.

**Grupo 12:** Gestão da Inovação: transferência de tecnologia e fortalecimento da cadeia produtiva das energias renováveis, com ênfase no H<sub>2</sub>V, no estado do Ceará. O grupo é composto por integrantes da UFC, UECE, Unifor, IFCE e IEL Ceará. O grupo tem como função manter a colaboração ativa com uma variedade de instituições nacionais, como a USP e a UNB, e internacionais, como a Copenhagen Business School (Dinamarca). Além disso, o grupo conta com a colaboração de entidades do setor produtivo, como a FIEC.

Fonte: dados da pesquisa.