Ministério da Saúde
FIOCRUZ
Fundação Oswaldo Cruz

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
INSTITUTO AGGEU MAGALHÃES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE PÚBLICA – MODALIDADE PROFISSIONAL

Luiz Antonio de Assis Ferreira

Produto Técnico-Tecnológico:

Relatório Técnico: Características estruturais da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz com base da teoria de redes e análise de redes sociais.

Recife

2024

Luiz Antonio de Assis Ferreira

Produto Técnico-Tecnológico:

Relatório Técnico: Características estruturais da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz com base da teoria de redes e análise de redes sociais.

Relatório técnico apresentado ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública Modalidade Profissional do Instituto Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências.

Orientação: Dra. Idê Gomes Dantas Gurgel

Coorientação: Dr. Juliano de Carvalho Lima

Recife

2024

RESUMO

FERREIRA, Luiz Antoni de Assis. Características estruturais da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz com base da teoria de redes e análise de redes sociais. 2024. Relatório Técnico (Doutorado em Saúde Pública) – Instituto Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2024.

A estrutura em rede, caracterizada por sua dinâmica de relacionamentos, cria vantagem no processo de aprendizagem e transmissão de conhecimento, possibilitando e incentivando a inovação e a agilidade institucional. Isso leva a uma adoção cada vez mais frequente de estruturas em rede nas organizações públicas. Esta ideia sustenta o objetivo deste relatório em analisar as características estruturais da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz com base na teoria de redes e análise de redes sociais. A produção de dados aconteceu a partir de questionário encaminhado a todos os membros que fazem parte da rede. Para a análise foram utilizadas técnicas de ciência e teoria das redes. Os resultados apontaram para uma rede que apresenta índices que permite interpretar de que existe condições estruturais que permitem um fluxo de informações eficiente na rede. Evidenciou-se o potencial de colaboração entre os pesquisadores da. Concluímos que a estrutura da rede se apresenta como uma alternativa para a resposta a emergências em saúde. Destacamos a necessidade de atenção por parte da Fiocruz para o risco de ruptura na rede caso atores com grande centralidade de intermediação e proximidade sejam removidos, o que pode comprometer os resultados.

Palavras Chaves: Teoria de Redes; Redes Sociais; Vigilância genômica

SUMÁRIO

1. Introdução 5
2. Objetivo 6
3. Marco Teórico Conceitual 6
4. Plano Operativo 9
4.1. Unidade de Análise 10
5. Resultados e Discussão 11
5.1. Contribuição de vértice na estrutura da rede: o Grau de Centralidade 13
5.2. Análise da Eficiência da RVGF 16
5.3. Análise da Robustez da RVGF 16
5.4. A Governança da RVGF 20
5.5. A Eficácia da RVGF 22
6. Influência das características estruturais da RVGF no desempenho institucional 23
7. Recomendações 24
8. Conclusão 25
9. Referências 27

1. Introdução

No campo da saúde pública o surgimento de situações de emergência exige novas formas de gestão e desenvolvimento de soluções inovadoras. Em 2019 identificou-se na China um patógeno denominado Coronavírus da Sindrome Respiratória Aguda Grave 2 (SARS-CoV-2) que causa a doença conhecida como covid-19. Este fato levou a Organização Mundial da Saúde (OMS) a declarar pandemia em março 2020.

A pandemia de covid-19 demonstrou a importância da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) em Saúde, tencionando as organizações a adotar formas e estruturas que permitissem uma rápida resposta às necessidades do sistema de saúde pública[1–3]. Neste sentido, a forma de estrutura em rede é considerada mais dinâmica, pois possibilita respostas rápidas das organizações. Em instituições públicas de CT&I em Saúde, o alcance dos resultados, alinhados ao propósito da rede, influencia a agilidade organizacional na resposta à sociedade e ao enfrentamento de crises sanitárias.

A Rede de Vigilância Genômica Fiocruz (RVGF) é uma das redes que faz a vigilância genômica do SARS-CoV-2 no Brasil. A RVGF é coordenada por cientistas da Fiocruz, com o apoio do Ministério da Saúde, e com a participação de representantes em todas as unidades da Fiocruz, com representação em todas as regiões do País. Compreender como a estrutura das redes é fundamental para entender os resultados produzidos.

Na literatura científica, a teoria dos grafos, a análise de redes sociais e a teoria das redes complexas são usadas para compreender o comportamento e as estruturas de redes de diversos tipos. A teoria dos grafos é uma área da matemática que estuda as relações entre entidades que podem ser pessoas, organizações, países entre outros e oferece as ferramentas matemáticas que permitem modelar e analisar as redes de relações que moldam as redes sociais.

Matematicamente uma rede pode ser representada por um grafo $G = (V, E)$ que consiste em um conjunto de vértices V (finito e não vazio) e um conjunto de arestas E (que podem conectar os elementos de V) [4,5].

Caracteriza-se rede social como um conjunto de pessoas ou grupos, cada um com conexões de algum tipo com alguns ou todos os outros. Em redes sociais, os

vértices ou atores são frequentemente pessoas, mas também podem se referir a outras unidades sociais, como escolas, países, grupo de pessoas e organizações, e as conexões entre os vértices são denominadas laços[6–8].

Isso nos leva a entender a análise de redes sociais (ARS) como um processo que investiga estruturas sociais, se valendo da teoria dos grafos como elemento de representação matemática, permitindo a visualização e o entendimento das conexões existentes em um determinado grupo social.

Por essa razão adotamos a ARS e a teoria e ciência de redes para identificar, caracterizar e interpretar as características estruturais da RVGF e sua influência nos resultados da Fiocruz.

2. Objetivo

Esse relatório técnico tem por objetivo apresentar os principais resultados obtidos a partir do estudo das características estruturais da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz, tendo como base a teoria de redes e a análise de redes sociais.

3. Marco Teórico Conceitual

O estudo de redes organizacionais considera a dinâmica organizacional e o modo pelo qual os atores ganham e sustentam desempenho por meio de laços sociais[9]. A adoção de redes nos setores públicos e privados traz vantagens consideráveis quanto à aprendizagem, ao uso mais eficiente de recursos, à maior capacidade de planejar e resolver problemas complexos e a melhoria dos serviços para cidadãos e clientes[10].

Em redes sociais, os nós ou vértices constituem frequentemente pessoas, mas também podem se referir a outras unidades sociais como escolas, países, grupo de pessoas e organizações[6]. Entendendo que rede social é um conjunto de atores e as relações entre eles, pode-se afirmar que as características dessas ligações, como um todo, constituem um arcabouço robusto para interpretar o comportamento social dos envolvidos.

O Quadro 1 apresenta algumas definições de redes sociais nas quais se baseia este relatório. Das definições podemos assumir que uma rede social é um conjunto de atores (finito e não vazio) conectados de alguma forma por uma interação.

Quadro 1 – Principais definições de redes sociais e autores de referência

Definição de Redes Sociais	Referência
Uma rede social consiste em um conjunto ou conjuntos finitos de atores e a relação ou relações definidas entre eles[11].	Wasserman S, Faust K. [11]
Uma rede social é um conjunto de atores e as relações que os conectam[12].	Kilduff M, Tsai W. [12]
Redes sociais são redes nas quais os vértices são pessoas, ou um grupo de pessoas, e os arcos são representados por alguma forma de interação social entre elas[13].	Newman, M E J. [13]

Fonte: O autor.

Baseada em explicações estruturais, a ARS preocupa-se em entender as ligações entre entidades sociais, que chamamos de atores ou vértices, e as implicações dessas relações. Nessa perspectiva, as unidades de análise são os vértices (atores) e os laços (ligações) entre os atores, e o foco encontra-se na análise de sua configuração.

A ARS está intrinsicamente relacionada com a teoria de redes e tem por objetivo compreender a estrutura e a padronização dessas relações, além de identificar suas causas e consequências[4,6,13–15]. Em outras palavras, a ARS é uma área de estudo que mira as relações entre os atores.

Com o uso da ARS é possível identificar as pessoas na rede que se destacam por reter conhecimento, poder, influência e que atuam como conectores importantes do fluxo de informações.

A ARS se vale da sociometria – medição das relações interpessoais - como um método para verificar a relação entre os atores. Na medida em que as relações são mapeadas, obtém-se um gráfico (sociograma) que retrata toda a rede de relacionamentos. A partir do desenvolvimento do sociograma por Moreno[16], a ARS desenvolveu um conjunto de medidas que descrevem propriedades específicas de redes e indivíduos localizados dentro das redes[17].

As características estruturais relacionam-se ao padrão geral das relações entre os atores, destacando-se o tamanho da rede (número de indivíduos participantes da rede), a densidade (relação entre as ligações existentes e o número total de ligações possíveis na rede) e a centralidade de um ator (grau em que um ator ocupa uma posição central na rede por ter um número grande de laços com outros atores, por ser capaz de alcançar muitos atores ou por ter a característica de conectar atores que não têm conexões diretas)[12,15].

Baseado nos trabalhos de Provan e Kenis[10], Wasserman e Faust[11], Newman e Girvan[18] e Newman[13] elaboramos o quadro teórico (Quadro *4*) que apresenta um resumo das principais características estruturais usadas amplamente em estudos de rede.

Quadro 2 - Características estruturais de redes organizacionais (Continua)

Característica	Descrição
Tamanho da rede	Corresponde ao conjunto de todos os vértices da rede. $E = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$
Número de Vértices	Corresponde ao número de componentes da rede. É dado pela cardinalidade do conjunto de vértices $n = \|V\|$.
Número de Arestas	Corresponde ao número total de interações entre os vértices. É dado pela cardinalidade do conjunto de arestas $m = \|A\|$ e indica o tamanho do grafo.
Densidade Δ	Definido como a proporção de laços ou arestas ou arcos existentes entre os atores ou nós ou vértices em relação ao total de laços possíveis na rede. Uma densidade igual a zero significa que todos os atores estão isolados. Uma densidade igual a 1 significa que todos os vértices estão ligados. Para redes direcionadas a Densidade Δ é calculada pela fórmula $\Delta = \frac{m}{n(n-1)}$ onde $m =$ número de arestas existentes e $n =$ número de vértices.
Diâmetro D	Definido como sendo a mais longa das geodésicas.
Componentes	Definido como subconjuntos de vértices, onde não há caminhos entre os subconjuntos.
Centralildade de Grau	A centralidade de grau de um vértice é definida como o número de vértices adjacentes a ele (número de laços que incide no vértice). Em grafos direcionados, encontramos duas medidas de centralidade: 1) Centralidade de grau de entrada (*indegree*) (k_i^{in}) - equivale ao número de laços que chegam no nó. Também referida como Prestígio.; 2) Centralidade de Saída (*outdgree*) $\left(k_j^{out}\right)$ – equivale ao número de laços que saem do nó. Também referida como de influência. Para redes direcionadas as centralidades de grau de entrada e de saída são calculadas com base nas seguintes fórmulas. $k_i^{in} = \sum_{j-1}^{n} A_{ij}$ e $k_j^{out} = \sum_{i-1}^{n} A_{ij}$
Grau Médio $\langle k \rangle$	É o número médio de conexões considerando todos os vértices. Em redes direcionadas, distinguimos entre grau de entrada, k_i^{in} e grau de saída, k_i^{out}. Finalmente, o grau total de um nó, k_i ki, é dado por: $k_i = k_i^{in} + k_i^{out}$ O grau médio para uma rede direcionada é dado por $\langle k^{in} \rangle = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} k_i^{in} = \langle k^{out} \rangle = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} k_i^{out} = \frac{m}{n}$

(Continuação)

Característica	Descrição
Centralidade de Intermediação (*Betweeness Centrality*) C_B	A centralidade de intermediação mede o quanto um vértice se encontra como meio para outros vértices. É uma medida da frequência com que um determinado vértice esteja no caminho mais curto entre dois outros. A centralidade de intermediação é calculada com o auxílio da seguinte fórmula $$BC_j = \sum_{i<k} \frac{g_{ijk}}{g_{ik}}$$ onde g_{ijk} é o número de caminhos geodésicos que conectam *i* e *k* através de *j*, e g_{ik} é o número total de caminhos que conectam *i* e *k*.
Centralidade de Proximidade (Closeness Centrality) C_C	A centralidade de proximidade mede a distância média de um ator em relação aos demais e se baseia na distância geodésica (caminho mais curto entre dois vértices). Para grafos direcionados, a centralidade de proximidade é calculada com a aplicação da seguinte fórmula $$C_c^*(n_i) = \frac{\frac{J_i}{(g-1)}}{\frac{\sum d(n_i, n_j)}{J_i}}$$

Fonte: O autor.

As conclusões deste relatório estão baseadas nos conceitos apresentados no Quadro 1.

4. Plano Operativo

Este relatório tem como objeto de análise a Rede de Vigilância Genômica Fiocruz. Trata-se de um estudo de caso por investigar fenômenos atuais dentro de um contexto real.

A investigação foi realizada a partir de características de conteúdo transacional, o qual se refere ao que é trocado entre os atores. Usamos como variável transacional, a troca de informações entre os atores, ou seja, o relacionamento profissional (contatos presenciais, troca de ideias, informações, experiências). Como resultado das interações, tem-se o fluxo de ideias, informação e transferência de conhecimento.

De acordo com Wasserman e Faust[11] o uso de questionários como método de coleta de dados é o mais comum, especialmente quando os atores são pessoas e a relação a ser estudada é aquela que o ator pode relatar. Com base nesse entendimento usamos o questionário como meio para a coleta de dados.

A variável transacional usada para este estudo objetiva a análise de como as informações são trocadas na rede, destaca-se o fato de ser uma rede voltada para pesquisa, além disso o nome dos atores é conhecido e está disponível no sítio eletrônico[i] da RVGF desta forma optou-se como estratégia para a coleta de dados apresentar a lista completa dos atores para cada respondente. A partir desta lista o respondente indicaria, dentre todos os membros da rede, aqueles com os quais mantem relação de troca de informações.

Foram distribuídos 56 questionários referentes ao número de servidores públicos participantes da RVGF. Foram excluídos 3 por estarem afastados de suas atividades por qualquer motivo durante o período de coleta de dados e obteve-se um retorno de 28 questionários. Desses foram excluídos 4 que não enviaram o TCLE assinado, restando 24 questionários o que equivale a 49% da população.

As informações referentes a cada ator foram codificadas e construída uma matriz de adjacência de variáveis binárias indicando a presença ou ausência de laços entre cada díade (conjunto de dois atores). A matriz de adjacência foi usada para criar um sociograma da rede onde cada ator é representado como um vértice e a relação é representada como um laço conectando os dois atores. A análise da rede foi feita com o uso dos softwares *Social Network Visualizer* e *Gephi*.

4.1. Unidade de Análise

A Rede de Vigilância Genômica em SARS-Cov-2 nasce em março de 2020 como uma das respostas da Fiocruz ao enfrentamento da Covid-19 ao mesmo tempo que participa das ações globais de combate a pandemia.

A rede foi instituída por portaria da presidência da Fiocruz e fica vinculada estruturalmente a Vice-Presidência de Pesquisa e Coleções Biológicas.

A Rede Genômica Fiocruz é formada por atores de todas as unidades da Fiocruz além de institutos parceiros. Assim, a rede objetiva “acompanhar as linhagens e mutações genéticas do novo coronavírus e contribuir para um melhor preparo do país no enfrentamento da pandemia em termos de diagnóstico mais precisos e vacinas eficazes”[19].

A Rede Genômica desenvolve pesquisa na área genômica e gera dados sobre

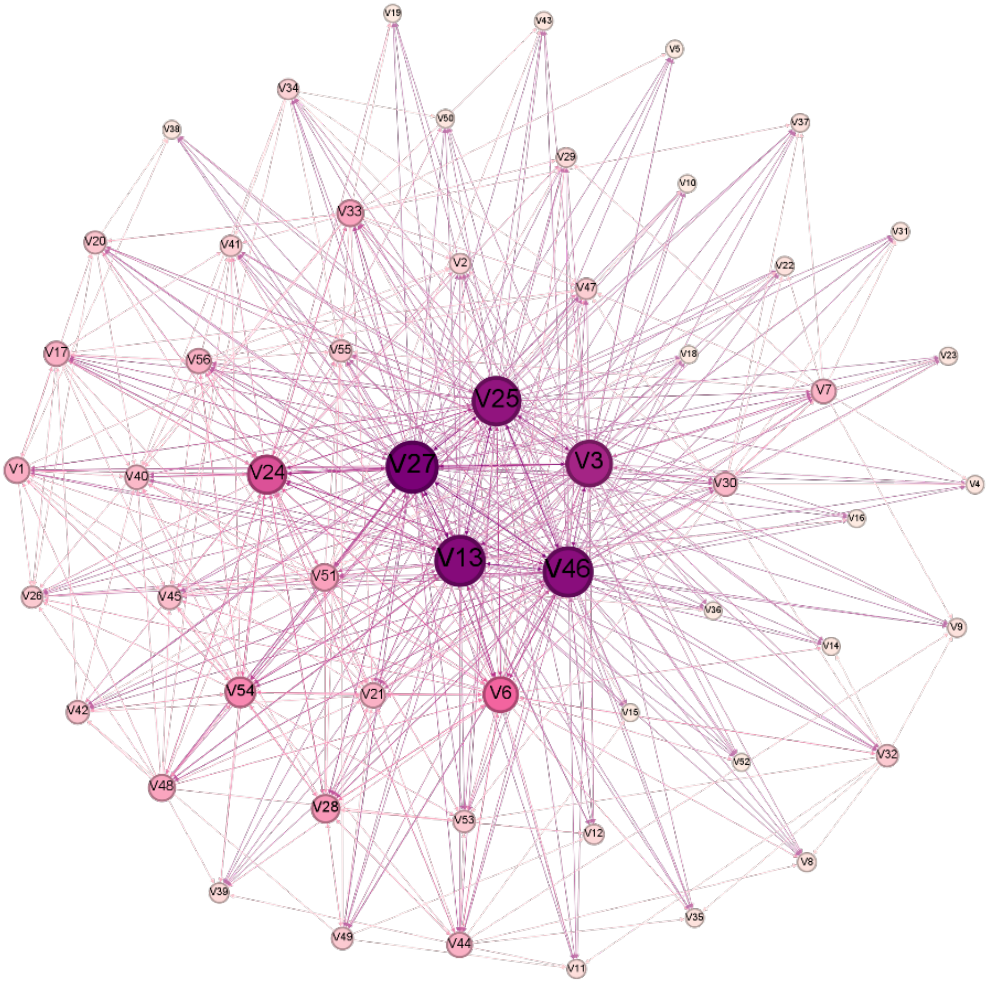
[i] https://www.genomahcov.fiocruz.br/

o comportamento do vírus SARS-CoV-2 por meio de decodificação do genoma viral, possibilitando entender o comportamento das linhagens e mutações genéticas e assim dando condições melhores ao país no enfrentamento da pandemia[20].

5. Resultados e Discussão

Com o apoio do *software* Gephi, fizemos a representação da RVGF e escolhemos o algoritmo ForceAtlas2[21] (Figura 1). Os círculos representam os vértices, os quais representam os pesquisadores da RVGF, e as linhas com setas são as arestas ou laços que unem os vértices, as quais indicam a relação entre os pesquisadores. Na representação da RVGF o diâmetro dos vértices está associado ao seu grau (maior número de conexões com outros vértices).

Figura 1 - Representação da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz



A RVGF é formada por $n = 56$ vértices. Por se tratar de uma rede direcionada, onde o par $A_{i,j}$ é diferente do par $A_{j,i}$, o número total de arestas ($m_{máx}$) possíveis é $m_{máx} = n(n-1)$. Assim, a quantidade máxima possível de laços ou arestas na RVGF é de $m_{máx} = 3080$.

Com a ajuda do *software* Gephi calculamos os índices de análise para a RVGF apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Índices de Análise da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz e seu maior componente fortemente conectado

Rede	n	m	$\langle k \rangle$	D	L	Δ	$Comp$
RVGF	56	519	9,268	3	1,627	0,169	1
Maior componente fortemente conectado	23	212	9,217	3	1,608	0,419	-

Legenda – RVGF: Rede de Vigilância Genômica Fiocruz; n: cardinalidade do conjunto de vértices; m: cardinalidade do conjunto de arestas; $\langle k \rangle$: grau médio; D: diâmetro; L: caminho mínimo médio; Δ: densidade; $Comp$: quantidade de componentes.

A densidade (Δ) da rede permite avaliar a intensidade de relacionamento existente, portanto, descreve a conectividade entre os atores. Em uma rede direcionada é simplesmente expressa como a proporção entre os laços existentes e os laços possíveis ($m_{máx}$) na rede[22,23], desta forma, pode variar de 0, onde não nenhuma aresta conectando qualquer vértice, até 1, onde todos os vértices estão conectados. Para a RVGF a densidade calculada foi de $\Delta = 0{,}169$.

A distância geodésica representa a distância mais curta entre dois vértices, tomando em consideração o número de arestas entre eles. A geodésica é a base para a definição do diâmetro (D) da rede[11]. Em termos topológicos, um grafo é uma representação que possui um diâmetro que é a mais longa das geodésicas. No caso da RVGF o diâmetro calculado foi $D = \max d(i,j) = 3$. Este valor de diâmetro indica que os pesquisadores estão conectados por meio de 2 outros pesquisadores, levando-nos à uma interpretação de que há condições estruturais para um fluxo de informações eficiente na RVGF.

Na ARS, um componente é um subconjunto de vértices de uma rede tal que exista pelo menos um caminho entre cada par de vértices. Entendemos ser importante procedermos a uma análise para identificar o número de componentes conectados dentro da RVGF. Para tanto, valemo-nos do *software* Gephi, que está ancorado no algoritmo de Robert Tarjan[24]. Verificamos que a RVGF possui 1

componente fracamente conectado e 34 componentes fortemente conectados (Tabela 1). O maior componente fortemente conectado é formado por 23 vértices, que corresponde a 41,07% de todos os vértices, e 212 arestas, respondendo por 40,84% de todas as arestas da rede. Os demais 33 componentes fortemente conectados são formados por apenas um vértice.

Se não considerarmos a natureza direcionada das arestas, podemos dizer que a RVGF é uma rede conectada (1 componente fracamente conectado). No entanto, ao considerarmos o direcionamento dos laços, temos que a RVGF é uma rede desconectada.

5.1. Contribuição de vértice na estrutura da rede: o Grau de Centralidade

Em redes sociais, o conceito de centralidade está relacionado ao vértice. De uma forma mais ampla, a centralidade de um vértice está diretamente associada à contribuição que aquele vértice tem para a estrutura da rede. Pode-se, assim, pensar a centralidade como a importância estrutural de um vértice pelo fato de que os atores centrais devem ser os mais ativos, por possuírem mais laços com outros atores da rede[4,25]. As principais medidas de centralidade abordadas em ARS são:

a) Centralidade de Grau (*degree centrality*),
b) Centralidade de Intermediação (*betweeness centrality*),
c) Centralidade de Proximidade (*closeness centrality*).

A importância da centralidade de grau C_D de um ator está nas conexões por ele estabelecida com os atores vizinhos. Nesse sentido, pode-se dizer que um vértice é mais importante que outro se estabelece um número maior de laços com os vértices vizinhos. A centralidade de grau de um vértice é definida como o número de vértices adjacentes a ele, o que equivale ao número de laços que incidem nele[13].

Para Freeman[26], em uma rede, um ator, que se encontra em uma posição que permite contato direto com muitos outros atores, deve começar a se ver e ser visto como um importante canal de informação, ou seja, torna-se um ponto focal no processo de comunicação. Por outro lado, um membro com baixo grau de centralidade passa a ser visto e percebido como periférico. Tal condição o isola do envolvimento direto com a maioria dos outros atores na rede, deixando-o fora da participação ativa no processo de comunicação.

Em um gráfico direcionado, encontramos em cada nó duas medidas de centralidade de grau: uma referente ao número de laços que chegam ao nó, que chamamos de *indegree* ou centralidade de grau de entrada, também referido como grau de prestígio, que representamos por C_{in}; e uma segunda, representante do número de arestas que partem do vértice, que denominamos de *outdegree* ou centralidade de grau de saída, identificado por C_{out} [4,13].

O cálculo da centralidade de grau é centrado em cada um dos vértices. Isso nos permite identificar e relacionar os atores com maior influência ou maior prestígio. De acordo com Wasserman e Faust[11], é comum sumarizar o grau de todos os atores usando a média (grau médio). Em redes direcionadas, a média da centralidade de grau de entrada C_{in} é igual a média de centralidade de grau de saída C_{out} que é igual ao grau médio $\langle k \rangle$.

O valor encontrado para o grau médio $\langle k \rangle$ para a RVGF foi de 9,268, o que significa que um ator se conecta em média com 9 outros pesquisadores da rede (Tabela 1). O resultado indica que há um relacionamento intenso na rede, em que pese a rede apresentar uma densidade de 16,9%.

A centralidade de intermediação C_B mede até que ponto um vértice se encontra como meio para alcançar outros vértices. É uma medida da frequência com que um determinado vértice está no caminho mais curto entre dois outros[26], ou seja, para um dado vértice focal, calcula-se, para cada par de vértices que não seja o focal, qual a proporção de todos os caminhos curtos de um para outro passar pelo vértice focal. Essa proporção é somada em todos os pares, e o resultado é um único valor para cada vértice na rede[4].

Freeman[26] destaca que quando um determinado ator está estrategicamente localizado nos caminhos que ligam outros pares de atores, ele é central. Pessoas com uma centralidade de intermediação grande podem influenciar o grupo retendo ou distorcendo informações no processo de comunicação. Em outras palavras, atores com grande intermediação estão em uma posição em que podem filtrar informações ou dar uma interpretação desejada. Tais pessoas apresentam responsabilidade para a manutenção da comunicação e se destacam como coordenadores de processos no grupo. Podemos dizer que a centralidade de intermediação é um índice que mede o potencial de controle de comunicação.

A centralidade de proximidade C_C mede a distância média de um ator em relação aos demais atores e se baseia na distância geodésica (caminho mais curto entre dois vértices) de cada ator em relação aos demais, o que acarreta o entendimento de que quanto mais próximo um ator estiver de outros atores, mais central ele será. A centralidade de proximidade expressa, nesse sentido, o quanto tal ator representa em termos de capacidade de comunicação na rede. Um ator com menor distância média de outros possui maior probabilidade de que suas opiniões alcancem outras pessoas mais rapidamente do que aqueles com maior distância média[13].

Os membros com maior centralidade de proximidade C_B são aqueles capazes de transmitir mais rapidamente uma informação para todos os demais atores da rede. Vértices com maior centralidade de proximidade C_B são aqueles em que as suas distâncias geodésicas são mínimas, indicando as mensagens podem ser transmitidas mais rápidamente[26]. Podemos apontar que tais membros são estratégicos dentro da RVGF.

Com base nos índices de centralidade, destacamos os vértices com os maiores graus de centralidade. Para tal foi usado como critério de corte a média μ dos valores de cada medida de centralidade acrescido de um desvio-padrão σ. A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores dos maiores graus de centralidade encontrados após aplicação do critério de corte.

Tabela 2 - Vértices com maiores valores de centralidade da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz

Vértice	C_{out}	C_{in}	C_B	C_C
V3	0.9636		0.0255	0.9649
V6	0.4909		0.0266	0.6626
V13	0.9818	0.2364	0.0466	0.9821
V21		0.3636		
V24	0.5232	0.2909	0.0252	0.6790
V25	10.000		0.0316	1.0000
V26		0.2545		
V27	10.000	0.2727	0.0599	1.0000
V34				1.0000
V40		0.3273		
V41		0.2364		
V45		0.3091		
V46	10.000		0.0307	1.0000
V53		0.2545		
V55		0.2727		

Legenda: C_{out}: Centralidade de Grau de Saída; C_{in}: Centralidade de Grau de Entrada; C_B: Centralidade de Intermediação; C_C: Centralidade de Proximidade
Fonte: o próprio autor

Destacamos os vértices V13, V24 e V27 por serem os vértices com os maiores valores para as 4 medidas de centralidade adotadas. Os resultados obtidos indicam que esses vértices estão em posição estratégica para a RVGF. São pessoas que possuem muitos contatos, estando no fluxo da comunicação e, portanto, exercendo papel primordial no processo de comunicação. São atores com elevada centralidade de grau de entrada, ou seja, possuem prestígio junto aos demais membros da rede. Além disso, por se encontrarem posicionados no fluxo da comunicação entre outros vértices, lhes confere um potencial controle da informação no interior da rede. Considere-se, ainda, baseada em proximidade, que esses mesmos atores estão em uma condição central na RVGF que lhes confere poder de se comunicar com muitos outros membros rapidamente, já que possuem distâncias geodésicas curtas.

5.2. Análise da Eficiência da RVGF

Para a análise da eficiência da rede, foi usado o conceito trazido por Latora e Marchiori[27] que a define como uma medida do quanto a informação é eficientemente trocada na rede. Usamos o *software* Gephi para cálculo da Eficiência Global E_{global} da RVGF e chegamos ao valor de $E_{global} = 0{,}288$. Como E também é definida para um grafo desconectado, podemos caracterizar as propriedades locais, avaliando para cada vértice i, a eficiência do subgrafo dos vizinhos de i. Calculamos a eficiência local $E_{local} = 0{,}681$ para RVGF, utilizando o *software* Gephi. A eficiência local revela o quanto a rede é tolerante à falha e revela a eficiência da rede em relação à comunicação entre vizinhos do vértice i. Considerando que E_{local} pode variar entre 0 e 1, é possível afirmar que a rede possui uma eficiência de 68,1%.

5.3. Análise da Robustez da RVGF

Procedemos a análise de robustez da RVGF. A remoção de vértices para a análise da robustez pode seguir critério de aleatoriedade ou não[28]. Fizemos uma análise da robustez da rede e optamos pela estratégia de remover os atores de maior centralidade de grau de entrada (*indegree*) e, com isso, observamos o comportamento dos índices da rede.

Tabela 3 - Impacto nos índices da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz com a retirada dos vértices de maior indegree

Vértices Removidos	n	m	$\langle k \rangle$	D	L	C_{ws}	Δ	$Comp_{wc}$	$Comp_{sc}$	E_{global}	E_{local}
RVGF	56	519	9,268	3	1,627	0,581	0,169	1	34	0,288	0,681
V21	55	499	9,073	3	1,637	0,589	0,168	1	33	0,292	0,688
V40	54	481	8,907	3	1,644	0,595	0,168	1	32	0,295	0,695
V45	53	464	8,755	3	1,651	0,602	0,168	1	31	0,299	0,702
V24	52	422	8,115	3	1,673	0,593	0,159	1	31	0,289	0,695
V27	51	357	7,000	3	1,732	0,552	0,140	1	31	0,272	0,660
V55	50	344	6,880	3	1,739	0,561	0,140	1	30	0,276	0,688
V26	49	332	6,766	3	1,745	0,565	0,141	1	29	0,280	0,673
V53	48	320	6,667	3	1,752	0,571	0,142	1	28	0,285	0,678
V13	47	263	5,596	3	1,939	0,543	0,122	1	28	0,259	0,623
V41	46	253	5,500	3	1,949	0,550	0,122	1	27	0,263	0,630

Legenda – n: cardinalidade do conjunto de vértices; m: cardinalidade do conjunto de arestas; $\langle k \rangle$: grau médio; D: diâmetro; L: caminho mínimo médio; C_{ws}: coeficiente de aglomeração médio; Δ: densidade; $Comp_{wc}$: Número de componentes fracamente conectado; $Comp_{sc}$: Número de componentes fortemente conectados; E_{global}: Eficiência Global; E_{local}: Eficiência local.
Fonte: O autor

A retirada dos vértices de maior *indegree* provoca uma redução na densidade Δ da rede de 27,81%, tornando a RVGF menos coesa, ou seja, passa a existir uma menor conectividade entre os atores. Esse comportamento da rede também pode ser observado pelo aumento do valor do caminho mínimo L em 19,79%, aumentando a menor distância entre dois vértices.

Outro impacto na estrutura da rede é a redução do grau médio $\langle k \rangle$ em 40,66%. Os pesquisadores, que antes se conectavam em média com 9 outros pesquisadores, passam a se conectar em média com 5 cientistas. O impacto imediato acontece no processo de circulação de informação e de transmissão de conhecimento, podendo afetar os resultados apresentados pela rede.

Observamos que não aconteceu uma desconexão da rede pela ótica do componente fracamente conectado. A redução se deu no número de componentes fortemente conectados, o que nos permite constatar que tais vértices faziam parte de componentes de um só vértice. Esse comportamento indica que a rede não possui fragilidade que possa causar um forte impacto na robustez da rede com a saída dos vértices com os maiores valores de *indegree*.

A remoção dos vértices com maior grau de entrada provoca uma perda na eficiência Global de 8,68%, e de 7,49% na Eficiência Local, tornando a rede menos eficiente em relação ao fluxo de informação.

Pela sua importância, optamos, também, por analisar o comportamento da rede no que se refere à robustez, removendo os vértices com maior centralidade de intermediação C_B. Esse índice mede o poder de intermediação na rede que esses atores possuem, agindo no fluxo da informação que circula na RVGF. A Tabela 4 apresenta o comportamento da rede se fizermos a retirada dos vértices com maior grau de intermediação. O conjunto desses vértices com maior C_B foi definido pela média μ mais um desvio-padrão σ e representa 12,50% de todos os vértices da rede.

Tabela 4 - Impacto nos índices da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz com a retirada dos vértices de maior centralidade de intermediação

Vértices Removidos	n	m	$\langle k \rangle$	D	L	C_{ws}	Δ	$Comp_{wc}$	$Comp_{sc}$	E_{global}	E_{local}
RVGF	56	519	9,268	3	1,627	0,581	0,169	1	34	0,288	0,681
V27	55	449	8,164	3	1,675	0,545	0,151	1	34	0,273	0,650
V13	54	384	7,111	3	1,803	0,522	0,134	1	34	0,253	0,619
V46	53	322	6,075	3	1,908	0,475	0,117	1	34	0,235	0,575
V25	52	264	5,077	5	2,102	0,412	0,100	1	34	0,213	0,480
V24	51	227	4,451	6	2,266	0,367	0,089	1	35	0,184	0,418
V6	50	198	3,960	6	2,499	0,330	0,081	1	36	0,161	0,364
V3	49	148	3,020	6	2,457	0,177	0,063	2	37	0,115	0,198

Legenda – n: cardinalidade do conjunto de vértices; m: cardinalidade do conjunto de arestas; $\langle k \rangle$: grau médio; D: diâmetro; L: caminho mínimo médio; C_{ws}: coeficiente de aglomeração médio; Δ: densidade; $Comp_{wc}$: Número de componentes fracamente conectado; $Comp_{sc}$: Número de componentes fortemente conectados; E_{global}: Eficiência Global; E_{local}: Eficiência local.
Fonte: O autor

O primeiro ponto que podemos destacar é o aumento do diâmetro da rede de 3 para 6, que acontece com a remoção dos vértices V25 e V24. Como consequência, temos a redução na conectividade na rede e maior dificuldade no compartilhamento de informações e conhecimento.

A redução no valor do grau médio $\langle k \rangle$, fazendo com que cada ator passe a se conectar em média com 3 outros atores e não mais com 9, causa forte redução na colaboração entre pesquisadores.

A retirada dos vértices com maior grau de intermediação C_B reduz a densidade em 62,72%, trazendo um risco à coesão e à conectividade da rede.

A perda da Eficiência Global é de 60,07% e, na Eficiência Local, de 70,93%, comprometendo fortemente a troca de informação e compartilhamento de conhecimento na RVGF.

A remoção do vértice V3 provoca uma desconexão da rede evidenciada pelo aumento do número de componentes fracamente conectados, bem como o aumento do número de componentes fortemente conectados. A desconexão da rede evidencia que a RVGF não apresenta robustez em relação à retirada de um conjunto de vértices com maior C_B.

Em complemento à análise de robustez da rede, procedemos à remoção dos vértices com maior centralidade de proximidade. Esses vértices foram identificados pela definição do critério de corte como sendo a média μ mais um desvio-padrão σ.

A importância da centralidade de proximidade C_C reside no fato de indicar o quanto um ator é capaz de alcançar outros atores. Essa medição nos ajuda a entender a influência do ator no fluxo de informação da rede. A Tabela 5 apresenta o comportamento da rede se fizermos a retirada dos vértices com maior grau de intermediação C_C. O conjunto desses vértices representa 14,29% de toda a rede.

Tabela 5 - Impacto nos índices da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz com a retirada dos vértices com maior centralidade de proximidade

Vértices Removidos	n	m	$\langle k \rangle$	D	L	C_{ws}	Δ	$Comp_{wc}$	$Comp_{sc}$	E_{global}	E_{local}
RVGF	56	519	9,268	3	1,627	0,581	0,169	1	34	0,288	0,681
V25	55	455	8,273	3	1,695	0,557	0,153	1	34	0,273	0,663
V27	54	387	7,167	3	1,750	0,508	0,135	1	34	0,257	0,621
V34	53	377	7,113	3	1,748	0,523	0,137	1	33	0,260	0639
V46	52	316	6,077	4	1,835	0,467	0,119	1	33	0,243	0,562
V13	51	256	5,020	4	2,079	0,429	0,100	1	33	0,216	0,502
V3	50	205	4,100	4	2,190	0,334	0,084	1	34	0,185	0,406
V24	49	169	3,449	6	2,436	0,267	0,072	2	35	0,152	0,314
V6	48	141	2,938	6	2,478	0,186	0,062	3	36	0,117	0,210

Legenda – n: cardinalidade do conjunto de vértices; m: cardinalidade do conjunto de arestas; $\langle k \rangle$: grau médio; D: diâmetro; L: caminho mínimo médio; C_{ws}: coeficiente de aglomeração médio; Δ: densidade; $Comp_{wc}$: Número de componentes fracamente conectado; $Comp_{sc}$: Número de componentes fortemente conectados; E_{global}: Eficiência Global; E_{local}: Eficiência local.
Fonte: O autor

Da mesma forma, como no caso da remoção dos vértices com maior centralidade de intermediação C_B, com a saída dos atores com maior centralidade de

proximidade C_C, o diâmetro D da rede aumenta gradativamente de 3 para 6, tendo como consequência a redução da conectividade entre os pesquisadores, impactando no fluxo de informação e no relacionamento.

Com a perda dos vértices com maior C_C, o grau médio $\langle k \rangle$ sofre uma redução de 68,30%. Nessa situação, cada ator se relaciona, em média, com aproximadamente 3 outros atores e não mais 9. Como consequência, ocorre uma forte redução no relacionamento entre os atores da rede.

A redução da densidade em 63,31%, com a retirada dos vértices com maior grau de proximidade, também é um fator que provoca redução na troca de informação e de compartilhamento de conhecimento.

Em relação à Eficiência Global E_{global}, a redução foi de 59,38%, colocando em risco a troca de informação na rede.

Quando retiramos o vértice V24 e o V6, causamos uma forte desconexão na rede, pelo aumento do número de componentes fracamente conectados, agravando o fluxo de informações na rede. Essa situação indica uma grande vulnerabilidade da rede em relação à sua integridade, caso esses membros deixem de fazer parte da RVGF.

Esses atores são peças-chave na estrutura da rede, sugerindo que a RVGF apresenta vulnerabilidade à sua integridade. A saída desse conjunto de pesquisadores da rede causa forte impacto nos índices da rede, afetando o seu resultado. Trata-se, portanto, de ponto ao qual a Fiocruz deve dedicar atenção e criar mecanismos que mantenham a estrutura e minimizem as consequências aos resultados da rede, caso tais atores deixem de pertencer à RVGF.

5.4. A Governança da RVGF

As formas de governança de rede podem ser categorizadas em duas dimensões: compartilhada ou intermediada[10]. Valemo-nos do trabalho de Provan e Kenis[10], que apresentam três formas de governança de redes organizacionais, a saber: governança compartilhada e governança intermediada por uma organização líder ou por uma organização externa, para investigar a forma com a qual a RVGF é governada.

Apoiado no trabalho dos autores acima citados, investigamos se a RVGF possui uma governança compartilhada pelos atores ou intermediada, seja por um grupo de atores, seja por um ator central.

O resultado da pesquisa indicou que, para 75% dos respondentes, a forma de governança da rede se dá por um grupo de atores. Para 8,33%, a governança da RVGF é compartilhada entre os atores da rede. Foi encontrado o mesmo percentual (8,33%) para aqueles que entendem que a RVGF é governada por um participante central (Tabela 6)

Tabela 6 - Forma de governança da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz

Formas de Governança	Respostas a questão objetiva	%
Por um grupo de atores	18	75,00%
Compartilhada entre os atores	2	8,33%
Por um participante central	2	8,33%
Não soube responder	2	8,33%
Total	24	

A RVGF apresenta, conforme a percepção dos pesquisados, uma forma de governança intermediada por um grupo de atores da rede. Tal modelo requer mecanismos de coordenação compartilhada, e as decisões tomadas devem ter um grau de participação dos atores.

Em relação ao tamanho da rede, isto é, ao número de atores, podemos dizer que é uma rede pequena ($n = 56$), permitindo que a coordenação se torne menos complexa em comparação a uma rede com muitos atores. O valor encontrado para a densidade da RVGF foi $\Delta = 0{,}169$, e para o diâmetro foi de $D = 3$. O grau médio calculado foi $\langle k \rangle = 9{,}268$, o que nos diz que um ator se relaciona em média com 9 outros atores da rede.

Devemos realçar o valor encontrado para a distância geodésica média $L = 1{,}627$, indicando uma facilidade no fluxo de informações e troca de conhecimento na RVGF. Também devemos considerar o valor da eficiência global ($E_{global} = 0{,}288$), que mede a troca e compartilhamento de informação da rede.

A RVGF possui um componente fracamente conectado, ou seja, há um caminho não direcionado entre qualquer um dos atores, o que permite a cooperação entre os atores.

Como índices que facilitam a governança intermediada por um grupo podemos elencar, principalmente:

- A RVGF é uma rede com um número pequeno de atores;
- Ressalta-se o valor de grau médio, indicando que há relação bastante ativa entre os atores, ou seja, em média cada ator se relaciona com 9 outros;
- A distância geodésica é pequena o que possibilita rápida difusão de informações e conhecimento na rede.

Assim, podemos dizer que há indícios de que as características estruturais da rede se apresentam suficientes para permitir que a governança seja realizada por um grupo de atores.

5.5. A Eficácia da RVGF

A RVGF objetiva dar respostas rápidas e concisas na detecção de linhagens para liberação de relatórios e dados. A análise a seguir se sustenta no conceito de que eficácia da rede configura a obtenção de resultados positivos relacionados aos impactos e benefícios produzidos pela rede como um todo[10,29].

Provan e Milward[30] descobriram que há uma correlação positiva entre o desempenho da rede, o grau de integração e a centralização da rede e apontaram a estrutura da rede como um dos principais fatores que determinam o desempenho da rede. A integração está relacionada com a densidade da rede. Em redes densas, os atores tendem a colaborar mais intensamente, a comunicação e a transmissão de conhecimento são mais fáceis.

Além da densidade, a centralidade é uma das medidas mais comuns na análise de redes e serve para entender a relevância de um vértice dentro da rede. De acordo com a revisão de literatura realizada por Medina, Siciliano, Wang e Hu[31], há uma forte tendência de os pesquisadores se basearem nos benefícios da centralidade como um *driver* estrutural de resultados de rede. Ao observamos os índices de rede apresentados na Tabela 15 (página **Erro! Indicador não definido.**), encontramos o valor do grau médio de centralidade $\langle k \rangle = 9{,}268$, ou seja, os pesquisadores se relacionam em média com 9 outros pesquisadores da rede. Este resultado associado à percepção positiva dos membros da rede em relação a inovação e

compartilhamento de conhecimentos, sugere que a estrutura da rede apresenta condições que favorecem a obtenção de resultados.

6. Influência das características estruturais da RVGF no desempenho institucional

Seguindo o posicionamento de Brewer[32] , o entendimento de desempenho no setor público torna-se evasivo e, por esse motivo, é factível o uso de medidas perceptivas. O mesmo autor afirma que a percepção dos empregados sobre o desempenho institucional dá robustez à medida de desempenho.

O questionário enviado aos membros da rede procurou identificar os principais resultados obtidos pela RVGF. Os participantes foram solicitados a responder à seguinte questão: Como os resultados obtidos pela Rede Genômica Fiocruz contribuem para o desempenho da Fiocruz? A análise das respostas proporcionou a identificação das seguintes categorias/resultados:

i. Resposta da Fiocruz a emergências em saúde pública e ao SUS,
ii. Geração de Conhecimento Científico,
iii. Inserção da Fiocruz no contexto mundial.

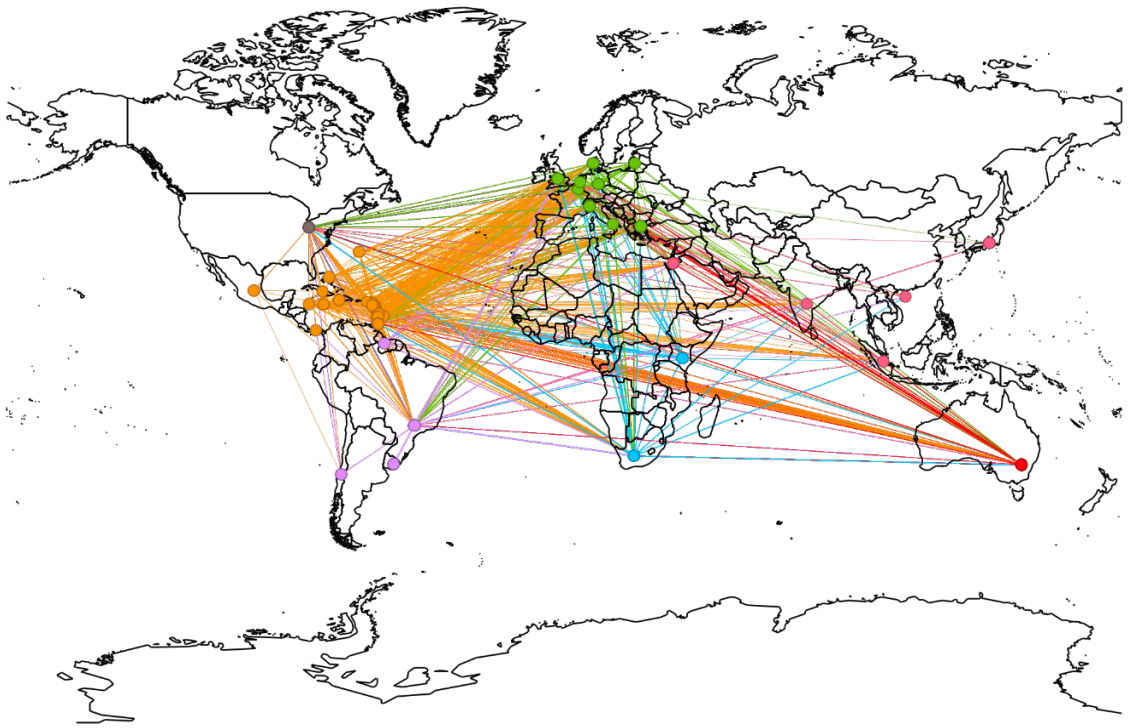
A vigilância genômica facilita a troca de informações entre países, organizando uma resposta coordenada a nível global. Nesse sentido, a RVGF participa da iniciativa internacional de acesso aberto a informações sobre genomas de vírus influenza e coronavírus, o GISAID, sendo um dos grupos curadores da iniciativa na América do Sul. A plataforma GISAID possui dados abertos e gratuitos e procura incentivar a implementação de projetos colaborativos entre pesquisadores de instituições de todo o mundo. A RVGF depositou na plataforma GISAID, no período compreendido entre fevereiro 2020 e maio 2024, um total de 85.253 genomas[33].

Além do sequenciamento genético do vírus, a contribuição científica da RVGF viabiliza a geração e compartilhamento de conhecimento, fundamental notadamente em momentos de emergências em saúde. A RVGF publicou, entre março de 2020 e maio de 2024, 68 artigos em parceria com pesquisadores de instituições de diversos países.

Os pesquisadores da RVGF colaboraram com cientistas dos 42 países representados na rede de coautoria. A Figura 15 ilustra a colaboração dos

pesquisadores da RVGF com cientistas dos principais países da rede de coautoria estudada.

Figura 2 - Países representados na Rede de Coautoria no âmbito da Rede de Vigilância Genômica Fiocruz



7. Recomendações

Os resultados sugerem que os índices de rede apresentam significativa influência no desempenho institucional.

Tabela 7 - Características dos índices de rede

Índices de Rede	Características	Influência no Desempenho da Rede
Densidade (Δ) Grau médio ($\langle k \rangle$ Diâmetro (D) Caminho mínimo médio (L)	• Sugerem uma grande atividade entre os membros da rede. • Favorecem a cooperação, a troca de informações e o compartilhamento de conhecimento entre os pesquisadores. • Possuem correlação positiva com a forma de governança intermediada adotada pela RVGF.	Esses fatores são característicos de uma colaboração mais intensa no interior da rede. São índices associados a integração da rede, portanto, suportam a obtenção de resultados.

Os resultados apresentaram alguns pontos que requerem atenção e sugerem a necessidade de ações que visem a sua mitigação.

Tabela 8 - Índices de centralidade e riscos a integridade da rede

Índices de centralidade	Características	Riscos à integridade da rede	Recomendação
Centralidade de Intermediação	• O grupo de atores com os maiores graus de centralidade de intermediação representam 12,5% de toda a RVGF. • Possuem um potencial controle da informação e, por conseguinte, estão em posição estratégica na rede.	Riscos que podem comprometer os resultados. Os atores em posição estratégica, que possuem um alto grau de centralidade de proximidade e de intermediação, se removidos da rede, provocam alterações nos índices, afetando as características estruturais da rede. • Redução da densidade e do grau médio da rede • Aumento do valor do diâmetro • Condições que dificultam a troca de informações e o compartilhamento de conhecimento. • Compromete a forma de governança adotada pela rede. • A retirada dos vértices em posição estratégica na rede provoca uma forte redução da eficiência global e local, o que prejudica o fluxo informacional.	Para evitar a perda de tais vértices devem ser previstas ações pela Fiocruz para sua mitigação, como por exemplo, criar condições para que outros atores também aumento o seu grau de centralização, criando alternativas para a rede.
Centralidade de Proximidade	• Esses atores são capazes de transmitir mais rapidamente uma informação para um grande número de atores da rede. • Esses atores são estratégicos dentro da RVGF.		

8. Conclusão

A RVGF apresenta um conjunto de características estruturais de interesse para este relatório. Destacamos a densidade (Δ), o grau médio ($\langle k \rangle$) e o diâmetro (D), com valores que sugerem uma grande atividade entre os membros da rede e, portanto, favorece a cooperação, a troca de informações e o compartilhamento de conhecimento entre os pesquisadores. Estas características estabelecem as condições necessárias para que os resultados da RVGF influenciem o desempenho institucional, na medida em que atuam na capacidade de resposta a emergência em saúde.

Em relação aos vértices, a RVGF apresenta medidas de centralidade que merecem atenção. Identificamos atores que possuem importância dentro da rede por ocuparem posição com grande intermediação (alto valor de centralidade de intermediação). O grupo de atores com os maiores graus de centralidade de intermediação representam 12,5% de toda a RVGF. Esses pesquisadores podem atuar filtrando informações ou acelerando a sua divulgação. Membros de redes em tal posição apresentam responsabilidade para a manutenção da comunicação e se destacam como coordenadores dentro da rede. São atores que possuem um potencial controle da informação e, por conseguinte, estão em posição estratégica na rede.

A RVGF apresenta vértices com alto valor de centralidade de proximidade. Esses atores são capazes de transmitir mais rapidamente uma informação para um grande número de atores da rede. Podemos apontar que tais membros são estratégicos dentro da RVGF.

Destacamos a existência de três vértices que possuem alto grau de centralidade de intermediação e de proximidade. Esses atores possuem muitos contatos, estando no fluxo da informação e portanto, exercem um papel estratégico no processo de comunicação da RVGF.

Identificamos a existência de riscos à integridade da rede que podem comprometer seus resultados e que devem ser objeto de ações pela Fiocruz para sua mitigação. Os atores em posição estratégica, que possuem um alto grau de centralidade de proximidade e de intermediação, se removidos da rede, provocam alterações nos índices, afetando as características estruturais da rede.

O teste de robustez que fizemos indicou que, sem esses atores, ocorre a ruptura na rede com o aumento do número de componentes. A densidade e o grau médio da rede são reduzidos, enquanto o diâmetro da rede aumenta de valor, condições que dificultam a troca de informações e o compartilhamento de conhecimento, comprometendo, inclusive, a forma de governança adotada pela rede.

9. Referências

1. Vargas MA, Alves NG, Mrejen M. Ciência, tecnologia e inovação em tempos de pandemia: implicações da Covid-19. Cadernos do Desenvolvimento. 2021;16(28):28.

2. UNCTAD. The Need to Protect Science, Technology and Innovation Funding During and After the COVID-19 Crisis: UNCTAD Policy Brief No. 80 [Internet]. 2020 jun. (United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) Policy Briefs; vol. 80). Report No.: 80. Disponível em: https://www.un-ilibrary.org/content/papers/27082822/4

3. FIOCRUZ. IX Congresso Interno Fiocruz - Relatório Final [Internet]. 2022 [citado 20 de julho de 2022]. Disponível em: https://congressointerno.fiocruz.br/sites/congressointerno.fiocruz.br/files/documentos/IX%20Congresso%20Interno%20Fiocruz%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final.pdf

4. Borgatti SP, Everett MG, Johnson JC. Analyzing social networks. Los Angeles: SAGE; 2013. 296 p.

5. Pereira HBB, Fadigas IS, Senna V, Moret MA. Semantic networks based on titles of scientific papers. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. março de 2011;390(6):1192–7.

6. Ryan Light, James Moody. Network basics: points, lines, and positions. Em: Ryan Light, organizador. The oxford handbook of social networks. Nova York: Oxford University Press; 2020. (Oxford handbooks).

7. Newman MEJ. Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results. Phys Rev E. 28 de junho de 2001;64(1):016131.

8. Tamanini Andrade MT, Braga P, Gomes Carneiro TK, Moura Ribeiro N, A. Moret M, De Barros Pereira HB. Contextualized Analysis of Social Networks: Collaboration in Scientific Communities. SN. 2014;03(02):71–9.

9. Pallotti F, Lomi A. Network influence and organizational performance: The effects of tie strength and structural equivalence. European Management Journal. outubro de 2011;29(5):389–403.

10. Provan KG, Kenis P. Modes of network governance: structure, management, and effectiveness. Journal of Public Administration Research and Theory. 2008;18(2):229–52.

11. Wasserman S, Faust K. Social network analysis: methods and applications. Cambridge ; New York: Cambridge University Press; 1994. 825 p. (Structural analysis in the social sciences).

12. Kilduff M, Tsai W. Social networks and organizations. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE; 2003. 172 p.

13. Newman MEJ. Networks: an introduction. Oxford ; New York: Oxford University Press; 2010. 772 p.

14. Brass DJ, Galaskiewicz J, Greve HR, Tsai W. Taking stock of networks and organizations: a multilevel perspective. Academy of Management Journal. 2004;24.

15. Tichy NM, Tushman ML, Fombrun C. Social network analysis for organizations. The Academy of Management Review. outubro de 1979;4(4):507.

16. Moreno JL. Who shall survive? A new approach to the problem of human interrelations. Washington, D. C.: Nervous and Mental Disease Publishing Co; 1934.

17. Mote JE, Jordan G, Hage J, Whitestone Y. New directions in the use of network analysis in research and product development evaluation. Res Eval. 1º de setembro de 2007;16(3):191–203.

18. Girvan M, Newman MEJ. Community structure in social and biological networks. Proc Natl Acad Sci USA. 11 de junho de 2002;99(12):7821–6.

19. Fiocruz. A Rede Genômica Fiocruz [Internet]. A Rede Genômica Fiocruz. [citado 24 de outubro de 2022]. Disponível em: https://www.genomahcov.fiocruz.br/a-rede/

20. FIOCRUZ. Balanço de Gestão - Atuação da Fiocruz na Pandemia da Covid-19 [Internet]. 2022 [citado 20 de julho de 2022]. Disponível em: https://portal.fiocruz.br/documento/balanco-de-gestao-2020-2022-atuacao-da-fiocruz-na-pandemia-de-covid19

21. Jacomy M, Venturini T, Heymann S, Bastian M. ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. Muldoon MR, organizador. PLoS ONE. 10 de junho de 2014;9(6):e98679.

22. Higgins SS. Análise de redes em ciências sociais. Enap; 2018.

23. Scott J. Social network analysis: a handbook. 2nd ed. London ; Thousands Oaks, Calif: SAGE Publications; 2000. 208 p.

24. Tarjan R, UlIDlary S. DEPrH-FIRST SEARCH .ANI) LmEAR GRAm ALGORITHMS.

25. Latora V, Marchiori M. A measure of centrality based on network efficiency. New J Phys. 28 de junho de 2007;9(6):188–188.

26. Freeman LC. Centrality in social networks conceptual clarification. Social Networks. janeiro de 1978;1(3):215–39.

27. Latora V, Marchiori M. Efficient Behavior of Small-World Networks. Phys Rev Lett. 17 de outubro de 2001;87(19):198701.

28. Barabási AL, Pósfai M. Network science. Cambridge: Cambridge university press; 2016.

29. Turrini A, Cristofoli D, Frosini F, Nasi G. Networking literature about determinants of network effectiveness. Public Administration. 18 de dezembro de 2009;88(2):528–50.

30. Provan KG, Milward HB. A preliminary theory of interorganizational network effectiveness: a comparative study of four community mental health systems. Administrative Science Quarterly. março de 1995;40(1):1.

31. Medina A, Siciliano MD, Wang W, Hu Q. Network Effects Research: A Systematic Review of Theoretical Mechanisms and Measures. The American Review of Public Administration. outubro de 2022;52(7):513–28.

32. Brewer GA. All measures of performance are subjective: more evidence on US federal agencies. Em: Boyne GA, Meier KJ, O´Toole Jr LJ, Walker RM, organizadores. Public service performance: perspectives on measurement and management. 1º ed UK: Cambridge University Press; 2006.

33. Fiocruz. Dashboard Rede Genômica [Internet]. Rede Genomica Fiocruz. Disponível em: https://www.genomahcov.fiocruz.br/dashboards/