

## EXPLORANDO A VULNERABILIDADE DAS REDES DE TRANSPORTE POR ENTROPIA: ANÁLISE DA REDE COMPLEXA DE TRANSPORTE MARÍTIMO AMÉRICA DO SUL-AMÉRICA DO NORTE

Jonata Souza dos Santos<sup>1</sup>; Carlos César Ribeiro Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Produção; Iniciação Científica – FAPESB;  
jonata.santos@aln.senaicimatec.edu.br

<sup>2</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; carlos.santos@fiieb.org.br

### RESUMO

Este estudo tem como objetivo compreender quais pontos da rede de transporte marítima, da América do Sul e Norte, podem ser explorados para tornar a rede mais eficaz, utilizando o método de redes complexas. A metodologia incluiu a busca por artigos relevantes sobre o tema, utilizando as bases de dados Web of Science e Scopus, a fim de inferir considerações mais assertivas a respeito da rede, além da coleta de dados sobre o transporte marítimo por meio do painel estatístico da ANTAQ. Com esses dados, foi possível gerar uma rede complexa no software Gephi, onde os portos são representados como nós e as rotas de transporte são representadas como arestas. A análise dos resultados preliminares revelou os portos mais importantes, da América do Sul, em termos de grau e PageRank. Esses resultados podem ser úteis na tomada de decisões em relação a investimentos no transporte marítimo do continente americano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes Marítimas; América; Redes Complexas.

### 1. INTRODUÇÃO

A rede de transporte marítimo é uma área de pesquisa interdisciplinar que envolve diversas disciplinas, como história, geografia, economia, antropologia, sociologia e estudos culturais. Essas redes são formadas por conexões e interações entre portos, rotas marítimas, navios, cargas e pessoas, que se desenvolveram ao longo da história da navegação e do comércio marítimo.

Um exemplo marcante da importância das redes de transporte marítimo é o estudo realizado por Fernand Braudel (1995), o renomado historiador francês. Em sua obra “Civilização Material, Economia e Capitalismo”, Braudel destaca como as redes comerciais estabelecidas no Atlântico Sul, durante o período colonial, permitiram a circulação de pessoas, mercadorias e ideias entre diferentes continentes e culturas. Para Braudel, essas redes não só influenciaram a economia global, mas também moldaram as relações sociais, culturais e políticas entre as sociedades envolvidas.<sup>1</sup>

A análise das redes de transporte marítimo é uma abordagem valiosa para entender as dinâmicas globais de comércio e transporte, bem como para melhorar a eficiência e a resiliência do sistema de transporte marítimo, especialmente em termos de segurança e sustentabilidade. Um exemplo significativo da aplicação da análise de redes ao transporte marítimo é o estudo realizado por César Ducruet (2020), geógrafo francês especializado em geografia dos transportes e logística. Em seu artigo “The geography of maritime networks: A critical review”, Ducruet destaca como a análise das redes de transporte marítimo pode fornecer insights valiosos sobre as mudanças na estrutura das redes marítimas ao longo de décadas, utilizando indicadores como conectividade, centralidade e modularidade. Além disso, Ducruet argumenta que a análise de redes pode ser utilizada para entender as mudanças na economia mundial e nas políticas de transporte.<sup>2</sup>

A compreensão das redes de transporte marítimo é, portanto, crucial para entender a história, a economia e a cultura das sociedades em todo o mundo, bem como para o desenvolvimento de soluções inovadoras para os desafios contemporâneos. Neste contexto, a análise da rede complexa de transporte marítimo América do Sul-América do Norte por entropia é uma ferramenta valiosa para mapear e compreender a estrutura e a dinâmica da rede de transporte marítimo na região, identificar lacunas e oportunidades de pesquisa e promover a colaboração entre pesquisadores de diferentes áreas e instituições.

Com relação à análise de redes complexas, um problema fundamental é a quantificação da sua complexidade. Uma possível abordagem para resolver esse problema é a extensão de conceitos-chave da teoria da informação para redes. Nesse sentido, o trabalho de Anand e Bianconi (2009) propõe uma definição para a entropia de Shannon de um conjunto de redes e como ela se relaciona com as entropias de Gibbs e von Neumann dos conjuntos de redes. Essas quantidades desempenham um papel crucial na formulação de modelos nulos de redes por meio de argumentos de máxima entropia e contribuem para problemas de inferência que surgem no campo de redes complexas. Portanto, o uso da entropia para medir a complexidade de redes é uma ferramenta útil para avançar na compreensão e modelagem desses sistemas complexos.<sup>3</sup>

Dito isto, este estudo tem como objetivo compreender quais pontos da rede de transporte marítima, da América do Sul e Norte, podem ser explorados para tornar a rede mais eficaz, utilizando o método de redes complexas.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo consistiu em uma análise bibliométrica seguida de uma análise de rede. Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados sobre o tema das redes marítimas a partir de uma busca nas bases de dados Web of Science e Scopus. Foram extraídos 315 artigos em formato bibtex, os quais foram analisados utilizando a ferramenta biblioshiny do método bibliometrix em R. Por meio dessa análise, foi possível identificar os principais autores e artigos relacionados ao tema, sendo César Ducruet destacado como o autor mais relevante com seu artigo “The worldwide maritime network of container shipping: spatial structure and regional dynamics”. Além disso, foram desenvolvidos dois algoritmos em Python para a bibliometria, que podem auxiliar na construção de vocabulários de controles assertivos. Esses algoritmos foram usados na elaboração de um artigo de redes complexas submetido ao BraSNAM 2023.

Contudo, apenas o mais relevante não é suficiente para entender suficientemente a dinâmica do transporte marítimo, tendo isto em vista, foi gerado um ranking de relevância de todos os artigos da base, assim, quando a rede final for gerada e todos os resultados estiverem disponíveis, será possível entender os dados, transformá-los em informações e adquirirmos conhecimento que será aplicado na conclusão da pesquisa.<sup>4</sup>

Posteriormente, foi acessado o painel estatístico da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), que permitiu a obtenção da base de dados do transporte marítimo do Brasil em excel. Como o objetivo da pesquisa era analisar a rede marítima da América do Sul e América do Norte, a base de dados foi filtrada por continente, no período de 2010 a 2023, com as respectivas informações sobre os portos de origem e destino, assim, foram obtidos dados tanto por ano quanto por mês. Contudo, neste estágio da pesquisa, ficou decidido trabalhar apenas com a América do Sul e posteriormente serão adicionados os dados da América do Norte. Deste modo, em números, essa base correspondeu a 143.332 linhas, em que cada linha corresponde a uma viagem de transporte de cargas.

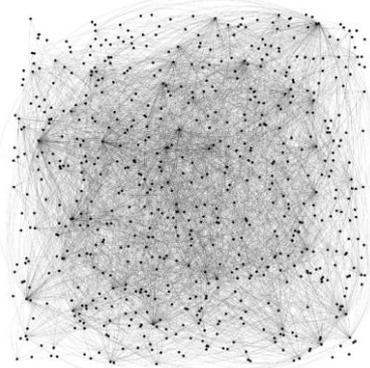
Além disso, para a construção da rede, ficou definido, como nós, os portos de origem e, como arestas, os portos de destino, com o peso de cada aresta correspondendo ao total transportado em toneladas. É importante ressaltar que, como visto no livro de David Easley e Jon Kleinberg (2003) “Networks, Crowds, and Markets Reasoning about a Highly Connected World”, a rede é representada em forma de grafo, que é uma representação matemática de um conjunto de objetos, onde os objetos são representados por vértices (nós) e as conexões entre esses objetos são representadas por arestas. No contexto das redes de transporte marítimo, os nós representam os portos e as arestas representam as rotas de transporte entre esses portos. O peso de uma aresta indica a quantidade de carga transportada entre os portos conectados por essa aresta. Essa representação em grafo é uma ferramenta poderosa para análise de redes complexas, permitindo extrair informações relevantes sobre a estrutura e dinâmica das redes de transporte marítimo.<sup>5</sup>

A partir dos dados obtidos, foi utilizada a ferramenta Gephi para a análise de rede, a fim de gerar a representação gráfica da rede complexa. Posteriormente, serão realizadas análises de medidas de centralidade, como grau e betweenness, bem como medidas de clustering, como coeficiente de agrupamento e assortatividade, dentre outras medidas. Com essas medidas, obteremos informações relevantes sobre a rede, como os portos mais importantes em termos de conexões, bem como a estrutura e a dinâmica da rede.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a rede complexa da rede marítima da América do Sul, gerada pelo software Gephi. É possível observar que a rede é altamente conectada, com diversos nós apresentando alta centralidade. A medida de modularidade da rede foi de 0,567, o que indica que a rede possui uma estrutura organizada em comunidades. Vale ressaltar que cada ponto (nó) é um porto e as linhas representam a conexão dos portos uns com os outros.

**Figura 1.** Rede Complexa da Rede Marítima Sul-Americana.



Ao analisar os nós com maiores graus, ou seja, maior número de conexões, aliado à medida de PagRank, foi possível identificar os portos mais importantes da rede marítima da América do Sul. A Tabela 1 apresenta os 10 portos com maiores graus na rede, sendo que o Porto de Santos apresentou o maior grau, seguido pelos portos de Rio Grande e Paranaguá.

**Tabela 1.** Ranking dos portos mais conectados.

Porto	Grau	PagRank
Santos	161	0,0206
Rio Grande	146	0,0204
Paranaguá	116	0,0145
Salvador	115	0,0146
Rio De Janeiro	112	0,0146
Vila Do Conde	100	0,0161
Fortaleza	99	0,0146
Vitória	93	0,0119
Suape	91	0,0154
Terminal Portuário Do Pecém	86	0,0100

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa mostram que os portos de Santos, Rio Grande e Paranaguá são os que possuem maior grau na rede de transporte marítimo da América do Sul, indicando que eles são os mais conectados e, portanto, mais importantes na rede, além da medida de PagRank, que se refere ao grau de conexão de um porto com os portos mais importantes da rede, essa medida não necessariamente segue a mesma ordem do grau, porém também serve para reforçar a importância de um porto, como podemos ver no porto de Santos, que além de ser maior em grau, também é o maior em PagRank.

É importante ressaltar que os resultados apresentados se referem apenas à análise da rede de transporte marítimo da América do Sul, e que os dados da América do Norte serão incluídos posteriormente na pesquisa, a fim de fornecer uma visão mais abrangente sobre o funcionamento da rede no continente.

Contudo, vale destacar que, apesar de serem os portos com maior grau, a importância de um porto na rede também depende de outros fatores, como a localização geográfica, a capacidade de movimentação de carga, o tipo de carga movimentada, entre outros. Dessa forma, para uma análise mais completa e precisa, seria necessário considerar esses outros fatores, além de realizar mais cálculos de várias outras medidas, como modularidade, centralidade de eigenvector, etc. Estas medidas serão feitas e combinadas com o estudo feito a partir da análise bibliométrica realizada, assim será possível inferir direcionamentos e descrições mais completas e precisas a respeito do funcionamento da rede e como torna-la mais eficaz.

Em suma, a pesquisa já entregou ferramentas úteis para sociedade, que são os algoritmos utilizados para a bibliometria e irá contribuir para a compreensão da dinâmica da rede de transporte marítimo na América do Sul para América do Norte, fornecendo informações importantes sobre os portos mais importantes e conectados na região. Essas informações podem ser úteis para os gestores públicos e privados no planejamento e tomada de decisões sobre investimentos em infraestrutura e logística marítima na região.

#### 5. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup>BRAUDEL, F. **Civilização material, economia e capitalismo: Séculos XV-XVIII**: as estruturas do cotidiano. 1. ed. [s.l.] WMF Martins Fontes, 1995. v. 1

<sup>2</sup>DUCRUET, C. **The geography of maritime networks**: A critical review. *Journal of Transport Geography*, v. 88, p. 102824, 1 out. 2020.

<sup>3</sup>ANAND, K.; BIANCONI, G. **Entropy measures for networks**: Toward an information theory of complex topologies. *Physical Review E*, v. 80, n. 4, p. 045102, 13 out. 2009.

<sup>4</sup>ARIA, M.; CUCCURULLO, C. **bibliometrix**: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, nov. 2017.

<sup>5</sup>EASLEY, D.; KLEINBERG, J. **Networks, Crowds, and Markets**. [s.l.] Cambridge University Press, 2010.