



## ANÁLISE DE CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE NOS DEZ AEROPORTOS DE MAIOR MOVIMENTAÇÃO DE PASSAGEIROS DO BRASIL

L. R. Alves<sup>1</sup>; D. F. Vicentini<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*Universidade Federal do Paraná, Av. Coronel Francisco H. dos Santos, 210  
Jd. das Américas, Curitiba/PR, CEP 81530-000  
lucianoribeiroalves@ufpr.br<sup>1</sup>, vicentini@ufpr.br<sup>2</sup>*

**Resumo:** O mercado da aviação civil no Brasil aumentou significativamente nos últimos anos, tornando o setor cada vez mais impactante na economia do país. Desta forma, estudos que buscam entender melhor sua dinâmica de funcionamento são muito relevantes. Este estudo tem por objetivo analisar os dez aeroportos mais movimentados do país através de medidas de centralidade de proximidade em rede. Para tal, foi realizada uma coleta de informações dentro da base de dados dos organismos do setor aéreo brasileiro, e, em seguida, foi realizada a análise de centralidade com o auxílio do *software Ucinet 6.363*. Os estudos indicaram uma grande concentração da atividade do setor aeroviário na região sudeste e os aeroportos de maior intensidade com a rede. Este trabalho ainda apresenta uma discussão que visa contribuir na escolha de um centro logístico dentro da malha dos aeroportos mais movimentados do território nacional.

*Palavras-chave:* Aeroportos, Logística, Centralidade, Grafos.

**Abstract:** The civil aviation market in Brazil has grown significantly in the last few years, turning this activity highly impactful on the country's economy. Therefore, studies that aim on a better understanding of its dynamics are very relevant. The objective of this work is to analyze the ten most visited airports in Brazil using proximity centrality measures. To achieve the goal, all the data needed was collected from the official Brazilian organizations database and subsequently inserted into the Ucinet 3.363 software in order to obtain all centrality parameters. The results of this research indicate that the civil aviation flow in the country is not well balanced throughout the territory. This work also pointed a possible option for a logistic center of the network studied.

*Keywords:* Airports, Logistics, Centrality, Graphs.

## 1 Introdução

Quase toda atividade humana requer algum deslocamento. O traslado, seja ele a pé, de bicicleta, ônibus, trem, carro ou avião, é essencial e necessário para que as atividades econômicas possam ser realizadas. Portanto, o estudo dos transportes é importante, uma vez que afeta todas as esferas produtivas de um país, além de modificar as concepções sociais, podendo alterar até mesmo o curso da história política [1].

O presente trabalho tem como objetivo analisar, sob a perspectiva da logística, um recorte da ciência dos transportes: a movimentação aérea de passageiros em território nacional. Para tanto, adotou-se como objeto principal de estudo o conjunto dos dez aeroportos mais movimentados do Brasil, com o objetivo de identificar quais são os aeroportos mais relevantes de acordo com a análise dos parâmetros de centralidade de proximidade deste conjunto e como isto pode contribuir com a logística entre eles.

Para aplicar os conceitos de centralidade, foi utilizada a Teoria dos Grafos, que é um desdobramento das teorias matemáticas acerca das soluções de problemas de otimização. Em essência, ela considera que todo conjunto de indivíduos ou organizações que têm algum tipo de relação sejam representados a partir de nós conectados por arestas. Segundo Freeman [2], que desenvolveu importantes estudos na área, as medidas de centralidade são baseadas na teoria dos grafos.

Assim, no presente estudo, optou-se por este tipo de análise, onde os vértices da rede são os aeroportos, e as arestas são as rotas aéreas que os interligam. Desta forma, podem-se aplicar os conceitos de centralidade estudados, objetivando analisar a malha aeroportuária brasileira em termos logísticos.

## 2 Metodologia

A análise de centralidade deste trabalho foi realizada em três etapas principais. A primeira consistiu na coleta de dados do tráfego aéreo nacional de passageiros, os quais foram coletados do banco de dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) [3], em formato de planilhas. Entretanto, estes arquivos possuem informações de tráfego de todos os aeroportos brasileiros, então, para o presente estudo, foi necessária a coleta seletiva e a edição dos dados a fim de restringir a análise aos aeroportos mais movimentados. Outra informação extraída do conteúdo disponibilizado pela ANAC [3] foi a distância entre os aeroportos. A obtenção destes valores diretamente do órgão competente é importante, pois estas distâncias não são exatamente linhas retas, uma vez que aeronaves traçam suas rotas de navegação com base nas cartas aéreas, como ilustra a Figura 1.

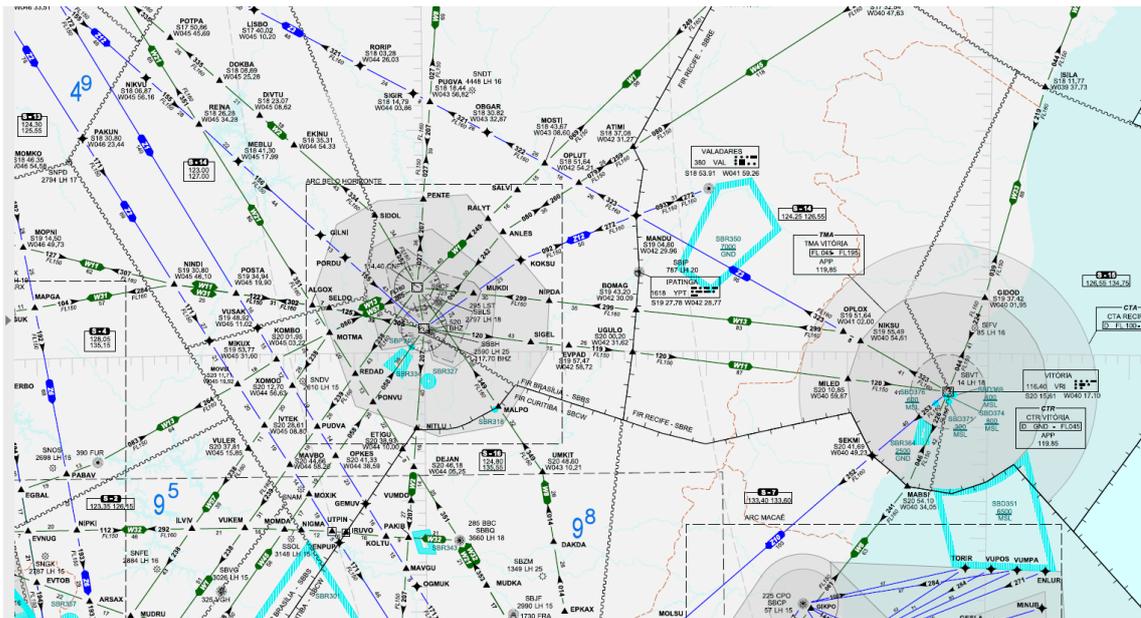


Figura 1 – Exemplo de carta de navegação.

Fonte: [4].

Portanto, para que o resultado da centralidade fosse condizente com a realidade, os valores das distâncias utilizados neste estudo foram os considerados pela ANAC como a distância que de fato os aviões voam para realizar o percurso.

A Tabela 1 mostra os aeroportos considerados para o presente estudo com as respectivas movimentações totais (em termos de voos nacionais, transporte de passageiros – pousos e decolagens somados). A Fig. 2 mostra a distribuição destes aeroportos no território brasileiro.

Tabela 1 – Lista dos aeroportos selecionados para este trabalho.

Aeroporto	Nome comercial	Cidade	Estado	Movimentações
SBGR	Guarulhos	Guarulhos	SP	112783
SBSP	Congonhas	São Paulo	SP	82355
SBKP	Viracopos	Campinas	SP	69269
SBGL	Galeão	Rio de Janeiro	RJ	68450
SBRJ	Santos Dumont	Rio de Janeiro	RJ	55622
SBCF	Confins	Belo Horizonte	MG	53661
SBBR	Juscelino Kubitschek	Brasília	DF	53243
SBCT	Afonso Pena	Curitiba	PR	50382
SBPA	Salgado Filho	Porto Alegre	RS	42279
SBSV	Luis Magalhães	Salvador	BA	33576



**Figura 2** – Distribuição espacial dos aeroportos selecionados para o estudo.

Fonte: Os autores (2017).

Os dados coletados do banco de dados da ANAC e que foram formatados são apresentados na Tabela 2, que reúne as distâncias, em pares, entre os aeroportos em estudo.

**Tabela 2** – Distância entre aeroportos em quilômetros.

Aeroporto	SBGR	SBSP	SBBR	SBGL	SBRJ	SBKP	SBCF	SBSV	SBPA	SBCT
SBGR	0	28	855	336	344	82	496	1452	865	359
SBSP	28	0	873	360	366	84	524	1480	837	331
SBBR	855	873	0	914	928	798	590	1083	1605	1083
SBGL	336	360	914	0	14	398	361	1217	1121	672
SBRJ	344	366	928	14	0	407	374	1224	1120	676
SBKP	82	84	798	398	407	0	498	1458	874	348
SBCF	496	524	590	361	374	498	0	959	1361	846
SBSV	1452	1480	1083	1217	1224	1458	959	0	2315	1805
SBPA	865	837	1605	1121	1120	874	1361	2315	0	534
SBCT	359	331	1083	672	676	348	846	1805	534	0

A centralidade é uma propriedade dos indivíduos ou organizações de uma rede de grafos que indica o quão central ou relevante eles são [5]. Os primeiros estudos de centralidade em grafos são datados de 1950, por Bavelas, que aplicou estes conceitos em uma rede de comunicação. Através destes estudos, percebeu-se que os conceitos poderiam ser aplicados a diversos sistemas que configurassem uma rede, que por sua vez pode ser representada através dos grafos.



Tradicionalmente, as medidas de centralidade podem ser de grau, proximidade, ou de intermediação, as quais foram estudadas e catalogadas por [2] em 1978. Desde então, até os dias atuais, ainda existem novas propostas de medidas de centralidade, cujos cálculos podem ser efetuados por *softwares* cada vez mais modernos, como a centralidade em camadas proposta por [6] em 2016. No presente estudo, os aeroportos da malha selecionada são analisados quanto à medida de centralidade de proximidade.

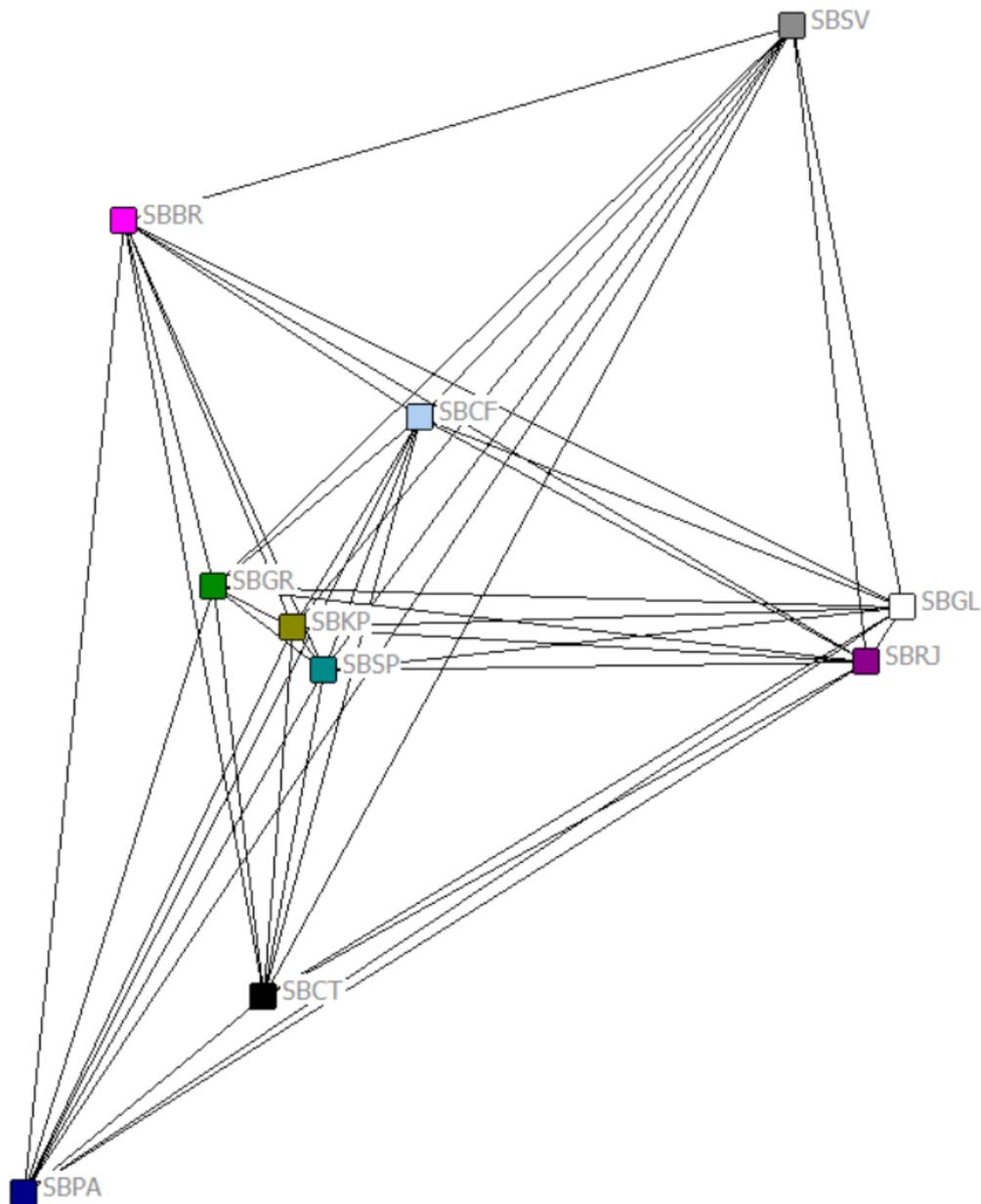
A centralidade de proximidade é calculada através da Eq. (1):

$$Cp(v_i) = (\sum_{j=1}^n dist(v_i, v_j))^{-1} \quad (1)$$

Onde  $dist(v_i, v_j)$  se refere à distância entre dois vértices  $v_i$  e  $v_j$  de um grafo de  $n$  vértices. Esta medida indica qual é o vértice do grafo que está mais próximo de todos os outros vértices da rede, ou seja, uma informação ou produto chega mais rápido a todos os pontos da rede quando partem do vértice de maior centralidade. Esta medida pode indicar, portanto, a localização de um possível centro logístico que visa suprir todos os aeroportos com um determinado produto ou serviço.

### 3 Resultados

Os dados foram organizados com a finalidade de serem inseridos no programa *Ucinet* (versão 6.363) para, além de gerar uma rede de grafos, calcular as medidas de centralidade de cada aeroporto. A rede de grafos dos aeroportos em estudo gerada é apresentada na Fig. 3:



**Figura 3** – Rede de grafos gerada pelo programa *Ucinet 6.363*.

Fonte: Os autores (2017).

Na Fig. 3 são indicados os aeroportos por seu código da ICAO e suas interligações, formando um grafo. Como o *Ucinet 6.363* não é um programa georreferenciado, o grafo é gerado com base apenas no módulo da distância entre os vértices, não considerando a orientação dos vértices com relação à demarcação brasileira do território (ou seja, as distâncias geográficas). É a partir deste grafo (Fig. 3) e dos dados fornecidos ao programa (Tabela 1 e Tabela 2) que o programa calcula as medidas de centralidade de proximidade da rede. O resultado destas medidas é apresentado na Tabela 3 em ordem crescente de centralidade para cada aeroporto.



**Tabela 3** – Centralidade de proximidade de cada aeroporto.

Colocação	Aeroporto	Centralidade de proximidade ( $\times 10^5 m^{-1}$ )
1º	SBGR	20,75989010
2º	SBSP	20,47921360
3º	SBKP	20,21427128
4º	SBGL	18,54255516
5º	SBRJ	18,33852925
6º	SBCF	16,64170411
7º	SBCT	15,02855425
8º	SBBR	11,45606599
9º	SBPA	9,405568096
10º	SBSV	7,696451936

Nota-se pelo resultado do cálculo da centralidade de proximidade que o aeroporto mais centralizado na rede é o aeroporto de Guarulhos. Este seria, portanto, o aeroporto localizado a uma menor distância de todos os outros. Isto é um indicativo de que o mesmo poderia ser utilizado como um ponto eficiente para se construir um centro logístico de abastecimento das outras unidades, ou um ponto de partida de distribuição de itens de transporte emergencial, pois a partir de Guarulhos é que se consegue viajar para todos os outros aeroportos percorrendo o menor caminho. Fatores como combustível, peças de aeronaves, serviços aeroportuários e manutenção, que estão presentes em todo e qualquer aeroporto, poderiam estar estrategicamente localizados próximos ao aeroporto de Guarulhos para conseguir chegar aos demais aeroportos rapidamente.

#### 4 Conclusões

O Brasil possui um vasto território que, no entanto, não se apresenta interligado de forma homogênea em sua totalidade, por vias aéreas. A região Norte, que é a região de maior área do país, é pouco abastecida em termos de movimentos aéreos, não estando nenhum de seus aeroportos contemplados entre os mais movimentados do país. O oposto acontece com o Sudeste brasileiro, onde em uma pequena área se encontra um elevado fluxo de aeronaves. Portanto, são recomendados mais estudos aplicando os métodos de centralidade de grafo na malha aérea do Brasil, a fim de determinar um ponto de conexão eficiente entre o Norte e o Sudeste do país, oferecendo assim, mais alternativas estratégicas.

A medida de centralidade de proximidade certamente não seria, em um caso real, o único parâmetro utilizado para a escolha de um centro logístico para a rede de aeroportos deste estudo. Tal tomada de decisão é bastante complexa e deve considerar diversos outros fatores, tais como a oferta de mão de obra nas cidades vizinhas, interesse municipal e estadual em investimentos na área, taxas de embarque dos aeroportos, disponibilidade de mercado para oferecer o que os aeroportos consomem, espaço disponível para uma a estrutura necessária, custos de operação, isenções fiscais, entre

outros. Entretanto, a distância deste centro logístico com relação aos demais aeroportos é de muita importância e indispensável na análise de sua implantação. E então, o estudo da centralidade de proximidade da rede escolhida se faz necessária. No âmbito da centralidade, outros estudos em aeroportos brasileiros também poderiam ser realizados, seja alterando o tipo de centralidade avaliada, seja alterando o conjunto de aeroportos escolhidos. Os conceitos aqui apresentados poderiam ser aplicados, por exemplo, em uma malha mais abrangente de aeroportos, e cujos resultados poderiam diferir bastante dos que aqui foram alcançados. Adicionalmente, podem ser realizadas análises da mesma rede deste trabalho, porém sob a perspectiva de outras medidas de centralidade, como centralidade de autovetor e centralidade de grau, permitindo observar quais são os fluxos críticos entre os aeroportos e que futuramente poderiam se tornar gargalos logísticos ou acarretar em sobrecarga de operação.

## Referências

- [1] HORONJEFF, Robert; MCKELVEY, Francis X. **Planning and design of airports**. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1994, p. 829.
- [2] FREEMAN, L.C. **Centrality in networks: conceptual clarification**. In: Social Networks, v1, p. 215-239, 1978/79.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-estatisticos/dados-estatisticos>>. Acesso em: 19 nov. 2017.
- [4] SERVIÇO DE INFORMAÇÃO AERONÁUTICA. Disponível em: <<https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas>>. Acesso em: 19 out. 2017.
- [5] WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications**. New York, Cambridge University Press, 1994.
- [6] BRANDÃO, Luana; DEL-VECCHIO, Renata; MELLO, João. Estudos sobre nova medida de centralidade em grafos: a centralidade em camadas, p. 640 – 653. In: Anais do XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha [Blucher Marine Engineering Proceedings, v.2, n.1], São Paulo, 2016.