

Classificação da eficiência das rotas logísticas de exportação da soja do Brasil, Argentina e Paraguai, através de uma análise multicritério

Palavras-Chave: Agricultura, Cadeia de Suprimentos, Soja

Autor:

Flávio Martins Sales – IE

Prof^(a). Dr^(a). Andréa Leda Ramos de Oliveira, FEAGRI - Unicamp

INTRODUÇÃO:

Os países usados como objeto de estudo da pesquisa: Brasil, Argentina e Paraguai, são economias com forte concentração do setor agrícola na pauta exportadora e, conseqüentemente, é nítida a relevância que a cultura da soja tem na formação de divisas desses países. Os três países, juntos totalizaram em 2024 cerca de 54% da produção total de soja, e 63% da exportação global, sendo o Brasil, o maior produtor e exportador da oleaginosa no mundo. A tabela a seguir com dados do USDA reforça o papel de destaque dos países no comércio global de soja.

Países	Produção	Exportação	Esmagamento
Brasil	1°	1°	3°
Argentina	3°	4°	4°
Paraguai	6°	3°	11°

No princípio da análise da cadeia de exportação de soja (em grãos) cabe destacar características que destoam entre os países. A primeira diferença se dá na forma em que a soja é exportada, enquanto o Brasil e o Paraguai têm a maior parte da sua comercialização em grãos, a Argentina se destaca nas exportações dos subprodutos, como óleo e farelo de soja (sendo o maior exportador destes produtos). Estas especificidades podem ser exibidas com maior clareza ao calcularmos o percentual da produção esmagada, onde o Brasil e Paraguai registraram na safra 2024/25, respectivamente, 34% e 30%, enquanto para a Argentina, o indicador é de 84% (USDA, 2025). Outra característica diferente entre os países é o destino de suas exportações. Enquanto Brasil e Argentina exportam majoritariamente seus grãos para a China, o Paraguai, sem acesso ao mar e com uma baixa capacidade de esmagamento de sua soja, tem como principal comprador de sua produção a própria Argentina (DNIT, 2025).

Tendo como pressuposto as diferenças na organização das cadeias produtivas e exportadoras de soja nos países, as variáveis que serão consideradas na análise multicritério serão:

Tabela 2- Variáveis utilizadas

Variável nome completo	Nome reduzido	Unidade	Recorte temporal	Fonte
Produtividade	Prod	tons/ha	2024/25	USDA
Market share de produção	Msp	%	2024/25	USDA
Market share de exportações	Mse	%	2024/25	USDA
Emissão de CO2	ECO	tons	2022	Worldometers
Intensidade de carbono no transporte rodoviário	Ic	gCO2/MJ	2022	IEA
Área agricultável	Aa	%	2022	World Bank
Área de floresta	Af	%	2023	World Bank
HHI de produção	HHIP	-	2008 (Paraguai), 2023 (Brasil) e 2023/24 (Argentina)	IBGE, MAGYP, FAO
HHI Escoamento	HHIE	-	2018 (Argentina) e 2024	MDIC, MAGYP, DNIT
Distância média	Dist	Km	-	Cálculo de autoria própria
Paved ratio	Pratio	%	2019	World Road Statistics

Dessa forma, a escolha das variáveis de produção visou mostrar a importância internacional de cada país. Somados a isso, os indicadores logísticos e ambientais indicam gargalos logísticos e o grau de sustentabilidade da cadeia exportadora.

OBJETIVO:

O objetivo geral do projeto é construir um sistema de avaliação de desempenho para classificar a eficiência das rotas logísticas de exportação da soja. Para isso, serão avaliadas as principais rotas utilizadas para o escoamento da soja do Brasil, Argentina e Paraguai. A análise considerará variáveis dos âmbitos produtivo, logístico e de impactos no meio ambiente, utilizando o método multicritério Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE).

METODOLOGIA:

A análise multicritério permite a tomada de decisão em cenários com múltiplos fatores, comuns ao planejamento logístico. Um dos métodos mais utilizados é o PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation), que realiza comparações entre alternativas com base em diversos critérios, aos quais são atribuídos pesos conforme sua importância relativa.

O método utiliza funções de preferência para julgar a intensidade com que uma alternativa é preferida a outra em cada critério. A seguir, calcula-se o índice de preferência global, conforme a fórmula:

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^k \omega_j p_j(d_j)}{\sum_{j=1}^k \omega_j}$$

Onde:

- $\pi(a,b)$: grau em que a alternativa a é preferida à alternativa b
- ω_j : peso do critério j;
- $P_j(a,b)$: função de preferência no critério j;
- k: número total de critérios.

Com esses índices, calculam-se os fluxos de preferência:

- Fluxo positivo $\phi^+(a)$: quanto a alternativa a é preferida em relação às demais;
- Fluxo negativo $\phi^-(a)$: quanto a é superada pelas outras.

A diferença entre esses fluxos gera o fluxo líquido:

$$\varphi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

Esse valor $\phi(a)$ permite ordenar as alternativas de forma completa: quanto maior, melhor a alternativa.

A escolha dos grupos de variáveis visa trazer também uma análise qualitativa sobre fatores de diferentes naturezas, podendo ser resumida em três grandes grupos: Produção, Sustentabilidade e Logística.

Ao se tratar de “Logística”, há a dificuldade de equiparar a distância média percorrida pela cadeia exportadora de soja em cada país, tendo em vista a distribuição das praças produtivas e dos portos de escoamento. Portanto, um modelo estatístico foi traçado utilizando o método de peso conjunto:

$$\text{Média Ponderada} = \frac{\sum_{i,j} d_{i,j} \cdot w_i \cdot p_j}{\sum_{i,j} w_i \cdot p_j}$$

Onde:

- $d(i,j)$ é a distância entre a praça i e o porto j
- $w(i)$ é o peso da praça i (participação na produção total)
- $p(j)$ é o peso do porto j (participação no volume total exportado)
- O somatório é feito sobre todas as combinações válidas de praças e portos.

Com este método, foi possível calcular a variável de “Distância média ponderada”, em que os pesos maiores são dados para as praças com as maiores produções e para os portos responsáveis pelos maiores volumes de escoamento. O cálculo da distância foi feito por meio do Geonames, com base nas latitudes e longitudes dos portos e dos centroides das regiões produtoras: as mesorregiões no Brasil e os departamentos na Argentina e os distritos no Paraguai.

Além disso, uma outra variável utilizada no modelo foi o cálculo dos índices de Herfindahl-Hirschman (HHI), que é um índice de concentração, e, nesse caso, calculamos tanto o grau de concentração da produção de soja nesses países, quanto o grau de concentração dos portos. O índice varia de 0 (nada concentrado) a 1 (muito concentrado), dado pela fórmula:

$$\text{HHI} = \sum_{j=1}^n s_j^2$$

Onde:

- $s(i)$ é a participação da unidade i (em proporção)
- n é o número de unidades

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

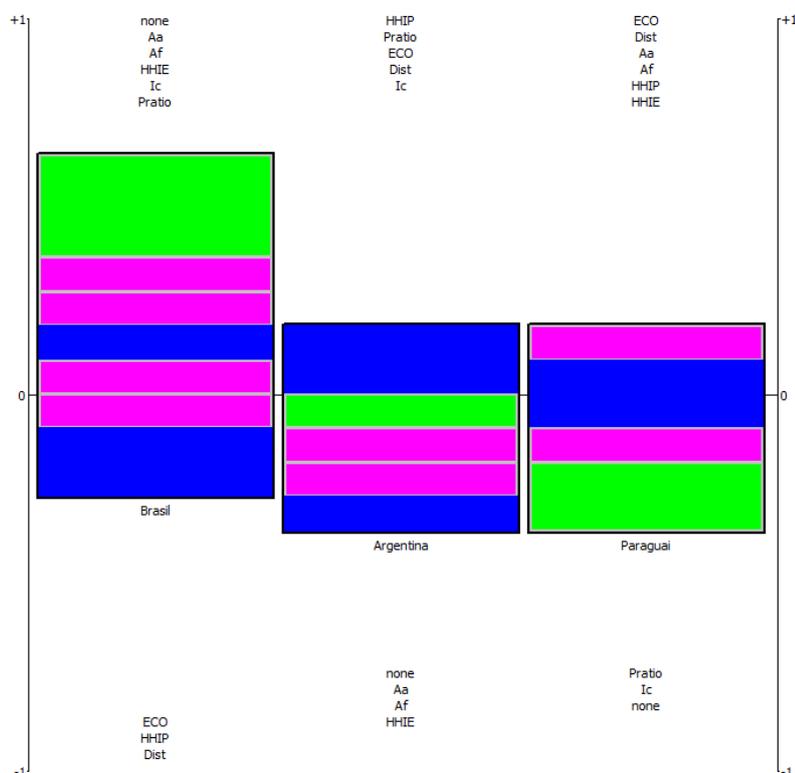
O resultado do projeto elegeu o Brasil como o país mais eficiente (com o maior ϕ), como mostrado pelo seguinte resultado:

Tabela 3- Promethee flow

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Brasil		0,3636	0,6818	0,3182
2	Argentina		-0,1818	0,4091	0,5909
2	Paraguai		-0,1818	0,4091	0,5909

Para entendermos como cada variável se desempenhou na formação do “phi” de cada país, cabe analisar a visualização “Rainbow” do Promethee. No gráfico, em verde estão as variáveis do setor de “Produção”, em azul o “Logístico” e em rosa o “Sustentabilidade”:

Figura 1- Rainbow Promethee



O phi maior do Brasil foi fortemente impactado pelos critérios de produção, ou seja, a sua posição de destaque no comércio internacional de soja corroborou para aumentar sua média final, enquanto o menor volume produzido no Paraguai e o menor exportado na Argentina atuaram negativamente na média desses países.

Além disso, apesar de ter a maior emissão de gás carbônico entre os países (por ter um número populacional bem maior), o Brasil apresenta uma área de florestas maior que os outros países, e uma área agricultável menor, o que contribui no setor de sustentabilidade. Já a Argentina teve sua média prejudicada pelo caráter pouco sustentável da sua cadeia produtiva, e o Paraguai registrou o maior grau de emissão de carbono pelo modal de transporte rodoviário (maior intensidade de carbono).

Quanto à logística, os resultados foram variados, com o Brasil apresentando uma produção concentrada, mas uma estrutura de escoamento bem distribuída, o oposto da Argentina. Já o Paraguai tem uma produção mais distribuída que o Brasil, as exportações são menos concentradas nos portos que a Argentina, porém apresenta um percentual de suas rodovias pavimentadas baixo.

CONCLUSÕES:

Portanto, pode-se concluir do trabalho que o Brasil se destaca pela alta produtividade agrícola, maior participação no mercado global e uma estrutura logística mais distribuída, ainda que com desafios. Apesar de longas distâncias até os portos (principalmente da região do Centro-Oeste) (IBGE,2023), o país apresenta uma combinação mais equilibrada entre produção, infraestrutura e indicadores ambientais, o que resulta no maior escore Phi do modelo.

Já a Argentina, embora tenha grande peso exportador e bom desempenho produtivo, enfrenta um sistema logístico altamente concentrado na região de Rosário-San Lorenzo e isso se reflete no alto

índice de concentração do escoamento (HHE). Além disso, o país tem um desempenho inferior em critérios ambientais, com um percentual maior de seu território destinado a produção agrícola. A análise sobre o Paraguai pode mostrar um grau de maiores limitações estruturais se comparado com os países vizinhos. A concentração do escoamento em poucos portos fluviais e a baixa diversificação de sua rede logística elevam os níveis de concentração (HHI) e de emissões no transporte. Ainda que competitivo no campo produtivo, seu desempenho global é comprometido pelos gargalos logísticos e ambientais.

BIBLIOGRAFIA

BANCO MUNDIAL. Agricultural land (% of land area). Data360. Disponível em:

https://data360.worldbank.org/en/indicador/WB_WDI_AG_LND_AGR1_ZS. Acesso em: 3 ago. 2025.

BANCO MUNDIAL. Forest area (% of land area). Data360. Disponível em:

https://data360.worldbank.org/en/indicador/WB_WDI_AG_LND_FRST_ZS. Acesso em: 3 ago. 2025.

COMEXSTAT. Portal de estatísticas de comércio exterior. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 3 ago. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Family farming in Latin America and the Caribbean: Recommendations for a differentiated public policy. Microdata. Disponível em:

<https://microdata.fao.org/index.php/catalog/1615/study-description>. Acesso em: 3 ago. 2025.

GEONAMES. GeoNames geographical database. Disponível em: <https://www.geonames.org/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tabela 1612 - Produção agrícola municipal. SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso em: 3 ago. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy statistics data browser. Disponível em:

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=BRA&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2Road>. Acesso em: 3 ago. 2025.

MAGYP – MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. Superficie sembrada y producción – Serie histórica. Argentina. Disponível em: <https://datos.magyp.gob.ar/dataset/8ae4865f-d2f2-45a2-9343-7a4a12728a90/archivo/ba694aa3-99d2-4d7d-9936-60f88e36ad9a>. Acesso em: 3 ago. 2025.

OECD/IRF – WORLD ROAD STATISTICS. Data Warehouse. Disponível em: <https://worldroadstatistics.org/data-warehouse/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRIBUTACIÓN (SET); DIRECCIÓN NACIONAL DE INGRESOS TRIBUTARIOS (DNIT). Datos Abiertos – Portal Institucional – Dirección Nacional de Ingresos Tributarios – GGII. Asunción: DNIT, 2023. Disponível em: <https://www.dnit.gov.py/en/web/portal-institucional/datos-abiertos>. Acesso em: 3 ago. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Foreign Agricultural Service (FAS). PSD Online: Production, Supply and Distribution Online. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 3 ago. 2025.

WORLDOMETERS. CO₂ Emissions by Country. Disponível em: <https://www.worldometers.info/co2-emissions/>. Acesso em: 3 ago. 2025.