

ANÁLISE DA PEGADA HÍDRICA DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO E DA ÁGUA VIRTUAL NA PRODUÇÃO DA SOJA NO BRASIL

Juliana Aparecida Souza Gomes

Lucas Calixto Braga Marcondes de Oliveira

*Trabalho de iniciação científica realizado no
Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística
Agroindustrial (ESALQ-LOG)*

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a análise da pegada hídrica envolvida no transporte rodoviário da soja, nos fluxos internos e para exportação, no contexto brasileiro. Além disso, também será explorada a questão da água virtual no grão de soja, no âmbito da produção nacional, discriminada por estados e seus respectivos municípios. Com os volumes de soja produzidos e os fluxos nos quais o grão foi transportado, as variáveis hídricas mencionadas anteriormente puderam ser estimadas. Evidências empíricas, estabelecidas por Gerbens-Leenes e Hoekstra (2010), foram fundamentais para que a pegada hídrica total do processo de transporte rodoviário da leguminosa fosse obtida. Ademais, com relação à água virtual, a umidade contida nos grãos foi estimada com base nas especificações internacionais para a comercialização da commodity.

Palavras-chave: Soja, Pegada hídrica, Água virtual, Transporte Rodoviário, Fluxos internos, Exportação.

ABSTRACT

This work aims to analyze the water footprint involved in the transport of soybean, by roads on intern flows and exportation, in the brazilian context. In addition, the issue of virtual water in the soy bean will also be explored, within the scope of national production, broken down by states and respective municipalities. With the total soybean volumes and the flows in which the grain was transported, the water variables mentioned above could be estimated. Empirical evidence, made by Gerbens-Leenes and Hoekstra (2010), was fundamental for obtaining the

total water footprint of the leguminous road transport process. In addition, in relation to virtual water, the moisture contained in the grains was estimated based on international specifications for the commodity's commercialization.

Keywords: Soy, Water footprint, Virtual water, Road transport, Internal flows, Exportation.

INTRODUÇÃO

Os rios, além de serem associados com o surgimento das primeiras civilizações, foram essenciais para o transporte, tanto de pessoas quanto de mercadorias. Proporcionaram água potável, peixes e foram, por fim, insumo fundamental para o estabelecimento da agricultura (Veriato, et al., 2015). Na atualidade, a questão da sustentabilidade e da boa gestão, no âmbito dos recursos hídricos, que são escassos, se tornou tema de discussões internacionalmente, com ponderações partindo de diversas organizações, como empresas, governos e até mesmo entidades como a própria Organização das Nações Unidas (ONU).

Quanto a isso, a utilização dos recursos hídricos de maneira sustentável, especialmente na agroindústria, é um assunto que vem sendo discutido de maneira crescente, visto que é necessário preservar e explorar conscientemente a água para que as próximas gerações possam usufruir dela (Roesler, 2012).

A produção de alimentos e bens duráveis, na maioria das vezes demanda a utilização de uma porção hídrica, que está direta ou indiretamente envolvida com as cadeias de produção. Nesse sentido, John Anthony Allan, geógrafo britânico, definiu em 1998 o volume hídrico contido nas commodities como água virtual (AV). Esse conceito permite analisar de forma ampla o consumo de água de uma população e, associado ao conceito de Pegada Hídrica (PH), formulado por Arjen Hoekstra em 2002, é uma maneira eficiente de avaliar o volume de água necessário para a produção e/ou distribuição de um bem ou serviço final.

Neste trabalho, a magnitude da PH do transporte da soja será analisada no que se refere à produção e aos fluxos relacionados à sua distribuição e exportação. A PH é, além disso, um modo de compreender os impactos causados desde a matéria-prima até os produtos finais (Giacomin e Ohmuna, 2012). A partir da definição da PH do transporte da soja no Brasil e nos seus respectivos estados, foi utilizado o valor médio para o transporte nos EUA. Estudos apontaram que cerca de 261 litros de consumo de água estão associados ao transporte rodoviário de uma tonelada do material transportado, por quilômetro (Gerbens-Leenes e Hoekstra, 2010).

Assim, este trabalho teve como objetivo realizar o cálculo da PH do transporte rodoviário da soja (em m³/t) e comparar os resultados em cada estado e municípios do território nacional. Além disso, será realizado um detalhamento dos fluxos do transporte da soja e as instalações logísticas (portos, hidrovias ou terminais de transbordo) envolvidas, de modo a discutir os resultados obtidos destacando a relação entre a PH do transporte com a quantidade de carga e a distância das operações. Por fim, para a completude da análise apresentada e melhor

mensuração do volume hídrico envolvido, também será calculada a AV advinda da produção da soja no país, com base na umidade dos grãos da oleaginosa.

REFERENCIAL TEÓRICO

PRODUÇÃO AGRÍCOLA E A SOJA NO BRASIL

O Brasil é um dos grandes destaques no que se refere à produção de grãos e ao setor do agronegócio como um todo. Nesse sentido, cerca de R\$ 1,55 trilhão, 21,4% do PIB brasileiro de 2019 teve relação com os bens e serviços finais por ele gerados, sendo o ramo agrícola o principal componente, que correspondeu a 68% do valor anteriormente mencionado (Confederação Agrícola e Pecuária do Brasil/CNA). Nesse ano, o valor bruto da produção (VBP) da agropecuária do Brasil totalizou R\$ 651,5 bilhões. No ano de 2020, ainda, de acordo com a CNA, o VBP da agropecuária do Brasil deve ser 11,8% maior, atingindo R\$ 728,68 bilhões: R\$ 457,08 bilhões referentes ao ramo agrícola e R\$ 271,6 representados pela pecuária.

A figura 1, a seguir, mostra a representatividade da soja no VBP do agronegócio nacional:



Figura 1: Valor Bruto da Produção dos Principais Produtos do Agronegócio Brasileiro (em R\$ bilhões).

Fonte: CNA (2020).

A soja, grão pertencente à família Fabaceae, é no Brasil um dos principais produtos do agro, sendo base para a produção de bens alimentares, óleos e proteínas (FAO,2018). Essa oleaginosa representa um VBP de R\$ 175,63 bilhões no setor, sendo assim um dos produtos mais

relevantes para a economia. Dados recentes da Embrapa demonstraram que a produção nacional de soja na safra 2019/20 atingiu 124,845 milhões de toneladas, tornando o Brasil o maior produtor mundial do vegetal, com área plantada total e produtividade maior do que os Estados Unidos, que ocupa a segunda posição. Quanto a isso, no âmbito interno, o estado do Mato Grosso é principal produtor, que detém também a maior área plantada, gerando cerca de 27% da produção do Brasil. Nesse sentido, a região Centro-Oeste é detentora de aproximadamente metade do montante gerado nacionalmente (CONAB, 2018).

Em seguida, os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, respectivamente, são os líderes na produção. Com relação ao parâmetro da produtividade, o estado do Paraná apresenta-se como maior destaque, superando o Mato Grosso e, nesse sentido, para além do emprego da tecnologia, com uso de plantas geneticamente modificadas e das boas práticas agrícolas, o fator climático desempenha fator fundamental. Na safra 2011/12, dados da Conab apontaram que a produção do Mato Grosso do Sul foi 30% menor justamente devido ao longo período de estiagem relacionado ao evento climático La Niña.

Desse modo, com o rendimento da soja sendo afetado por fatores climáticos, como temperatura, déficit e excesso hídrico (Schoffel et al., 2001), o consumo de água pelo grão é dependente do estado de desenvolvimento vegetal e das condições ambientais, principalmente na fase de enchimento de grãos (Embrapa, 2013). Outro ponto importante para se levar em consideração é a umidade do grão de soja, em que as sementes precisam ser colhidas com teor de umidade de 13% a 15% para que não estejam expostas a danos mecânicos e/ou danos latentes (Cortez et al., 2019).

As figuras 2, 3 e 4, representadas abaixo, mostram a produção, produtividade e área plantada.

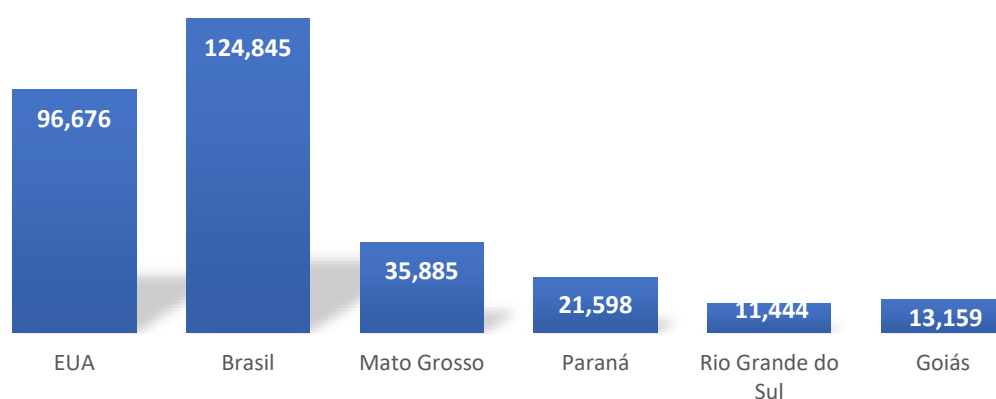


Figura 2: Produção de Soja – Safra 2019/20 (em milhões de toneladas)
 Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Embrapa

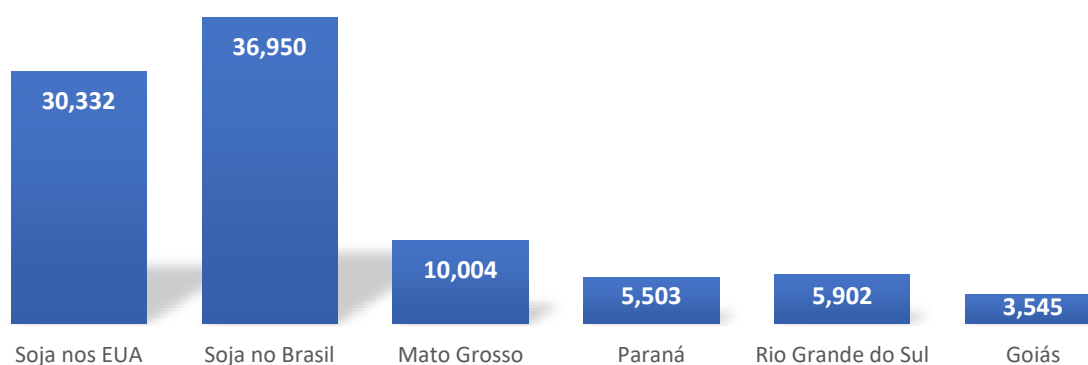


Figura 3: Área Plantada de Soja – Safra 2019/20 (em milhões de ha)
 Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Embrapa

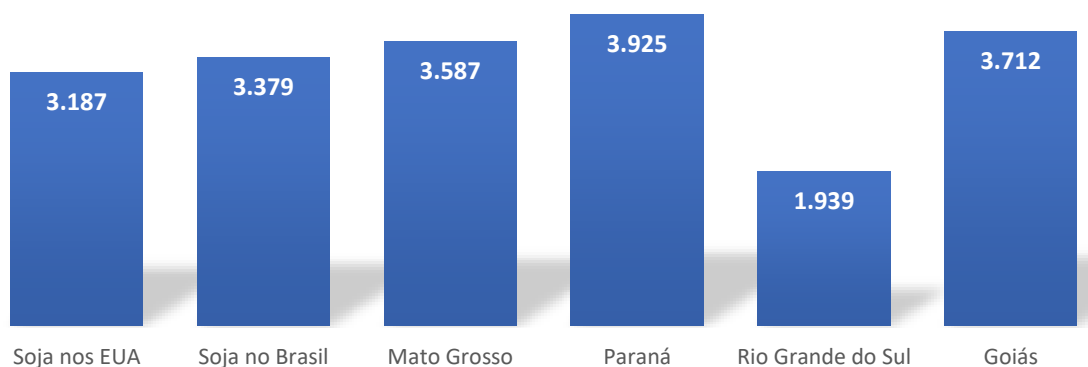


Figura 4: Produtividade de Soja – Safra 2019/20 (em kg/ha)
 Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Embrapa

As movimentações da soja no Brasil têm grande relevância no comércio internacional, em que os mercados asiáticos e europeus são os principais compradores. Entre os meses de janeiro a agosto de 2020, a China importou cerca de 54,433 milhões de toneladas da soja brasileira, volume 29% maior do que no mesmo período do ano anterior (Canal Rural). Para além do mercado chinês, que é o maior importador desse produto, países como Holanda e Espanha apresentaram crescimentos expressivos nos montantes comprados da oleaginosa no período citado, configurando-se, respectivamente, como segundo e terceiro maiores importadores. Ainda, segundo o site Canal Rural, “as exportações brasileiras de soja em grão totalizaram 75,11 milhões de toneladas entre janeiro a junho de 2020. O volume é 34% maior ano a ano”.

Assim, no que se refere à análise da PH e da AV, as exportações e fluxos logísticos do agronegócio têm grande relevância. A água exportada pelo Brasil, associada aos grãos de soja e o volume hídrico relacionado ao seu transporte é expressivo, visto que o país é um dos líderes na produção e exportação de grãos e que apresenta grande dependência do modal rodoviário, ineficiente com relação à magnitude da PH a ele associada. Pesquisas realizadas por Gerbens-Leenes e Hoekstra, em 2010, apontaram que os fretes rodoviários, realizados por caminhões movidos a diesel, demandam elevada quantidade de energia para transportar insumos, perdendo apenas para o modal aeroviário. Os fretes realizados por caminhões geram, dessa forma, elevada PH, sendo que, nesse sentido, o modal ferroviário apresenta-se como o menor demandante de energia e mais eficiente com relação à PH relacionada ao transporte de cargas. A respeito dos modais de transportes no Brasil, segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT) apud portal Agência de Notícias IBGE (2019):

A distribuição espacial da logística de transportes no território brasileiro apresenta predominância de rodovias, concentradas principalmente no Centro-Sul do país, em especial no estado de São Paulo. Em 2009, segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT), 61,1% de toda a carga transportada no Brasil usou o sistema modal rodoviário; 21,0% passaram por ferrovias, 14% pelas hidrovias e terminais portuários fluviais e marítimos e apenas 0,4% por via aérea.

A predominância do modal rodoviário, ressaltada acima, pode ser observada na figura 5.

Modais de Transporte no Brasil

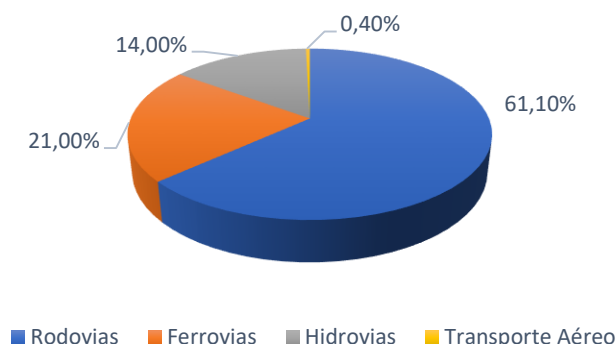


Figura 5: Modais de Transporte no Brasil em 2009

Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Agência de Notícias IBGE.

RECURSOS HÍDRICOS

A água é essencial para todas as atividades exercidas pelo homem, é necessária para a higiene, saúde, produção de alimentos, processos industriais, entre outros, sendo importante para a manutenção da vida (Branco et al., 1991). O Brasil detém 19% da água do planeta, porém, a distribuição não é igualitária e uniforme. Como exemplo desse fator, a Amazônia possui a maior bacia fluvial do mundo e é uma das regiões com população baixa se comparada com grandes centros urbanos. (Jornais Biosferas, 2020).

Em 2019, para definir a agenda ambiental global e entre os assuntos principais a serem discutidos, ocorreu a assembleia da ONU. Houve o debate sobre como tornar os padrões de consumo e produção mais sustentáveis, além de estratégias para reduzir o uso de recursos e a perda da biodiversidade (Cardinalli, 2019). De acordo com dados da Unesco expostos na agência nacional de águas e saneamento básico, o Brasil exporta aproximadamente 112 trilhões de litros de água doce por ano, dentre os principais produtos estão a soja, açúcar, café e a carne bovina, assim, o Brasil comanda a 4ª posição entre os maiores exportadores de “água virtual”. Ocupando o primeiro lugar estão os Estados Unidos com 314 trilhões de litros água exportada por ano e a China com 143 trilhões de litros por ano.

A água já é alvo de conflitos em diversas localidades no mundo e os dados futuros são ainda mais preocupantes. Segundo as Nações Unidas (ONU), aproximadamente dois terços da população mundial sofrerão com a falta desse recurso natural, sendo que dos 9 bilhões de pessoas estimadas até 2025, cerca de 7 bilhões não terão acesso a água. Além disso, a

organização afirma que os principais fatores que afetam a disponibilidade de água são o crescimento populacional, poluição, desmatamento, mudança do curso natural dos rios, desperdício e mudanças climáticas. De acordo com dados atuais do relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos, o estresse hídrico já alcança mais de 2 bilhões de habitantes em vários países, sendo que 90% da ocorrência de desastres naturais estão atrelados ao fator água; nesse sentido, os setores agrícolas são responsáveis por 70% dessas captações.

Esses fatores impulsionaram a pressão internacional para a preservação ambiental no Brasil e, quanto a isso, o aumento do desmatamento, atrelado ao crescimento populacional, contribuem diretamente para a escassez da água e mudanças no seu abastecimento. Além disso, a cultura dos habitantes também influencia, pois 37% da água tratada se perde devido a vazamentos e fraudes (Exame, 2020). Portanto, o reflorestamento é essencial para proteger os mananciais que são o principal foco de investidores, empresas e pressão internacional.

O Brasil possui algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo como a dos rios Amazonas, Pará e São Francisco, possui também reserva hídrica do Aquífero Guarani que faz parte do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (ANA,2014). Porém, mesmo contabilizando boa porcentagem de reservas de água doce do contexto mundial, o país apresenta escassez principalmente no semiárido nordestino configurando um cenário de má distribuição de água, poluição de rios e desigualdade ambiental (Borelli, 2017).

A agenda 2030 da ONU, no que se refere à sustentabilidade, propôs 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) aos estados membros, dos quais o Brasil é um dos integrantes. Essas definições, que teoricamente serão realidade entre 2016 a 2030, englobam conceitos como a mitigação da degradação dos recursos naturais e o desenvolvimento de políticas sustentáveis no âmbito econômico e ambiental. O sexto objetivo, nomeado por Água Limpa e Saneamento, relaciona-se diretamente à PH e à AV, ao definir os recursos hídricos como base para a efetivação do crescimento econômico, para além da própria sustentabilidade ambiental e a erradicação da pobreza (Agenda 2030).

METODOLOGIA

Com relação aos conceitos de PH abordados neste trabalho, estes foram desenvolvidos pelo professor Arjen Hoekstra, no livro “Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global” (2011). Com a proposta de criar uma forma de avaliação do uso dos recursos

hídricos de modo global, abrangendo o uso da água ao longo das cadeias de produção e distribuição com a contabilização do uso direto e indireto das porções hídricas pelos produtores e consumidores, Hoekstra definiu que “a pegada hídrica de um produto é o volume de água utilizado para produzi-lo, medida ao longo da cadeia produtiva”. Segundo o autor, esse conceito “é um indicador multidimensional, que mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição pelo tipo de poluição” (HOEKSTRA et al., 2011, p. 2).

A PH total de um processo, portanto, engloba componentes diversos. Essa variável pode ser subdividida em três componentes: PH azul, PH verde e PH cinza. A respeito do primeiro, há uma mensuração do consumo de água superficial e subterrânea ao longo da cadeia produtiva; Hoekstra definiu que o “consumo”, nesse caso, está associado à perda de água superficial ou subterrânea que está disponível em uma bacia hidrográfica. Conforme definido pelo autor, “a perda ocorre quando a água evapora, retorna a outra bacia ou ao mar ou é incorporada em um produto” (HOEKSTRA et al., 2011, p. 2).

Com relação à PHs verde e cinza, por fim, Hoekstra as definiu da seguinte forma:

“A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água verde (água de chuva, desde que não escoe). A pegada hídrica cinza refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes” (HOEKSTRA et al., 2011, p. 2).

Neste trabalho, o enfoque principal se deu à avaliação da PH total do transporte rodoviário da soja, partindo de dados referentes a estudos semelhantes, realizados nos Estados Unidos. Quanto a isso, para a realização das análises, foi utilizado o dado no qual se estimou que cerca de 261 litros de água são necessários para que ocorra o transporte de uma tonelada de grãos de soja por quilômetro percorrido via rodovias (Gerbens-Leenes e Hoekstra, 2010).

Para a mensuração da PH, portanto, foi necessária a utilização de dados referentes à produção e fluxos de transporte da soja por unidade estadual e municipal do Brasil. Os fluxos do transporte rodoviário de soja no Brasil foram obtidos a partir do trabalho de Rocha (2020), o qual fez o uso de um modelo matemático para a minimização dos custos de transporte (*network equilibrium model*) para obtenção dos fluxos ótimos do transporte dessa *commodity* no país. Assim, a PH total do transporte (PHt), em m³/t, de acordo com Bleninger e Kotsuka (2015), pôde ser estimada através da seguinte operação:

$$PHt \left(\frac{m^3}{t} \right) = Pegada \text{ Hídrica} \left(\frac{m^3}{t \times km} \right) \times Distância \text{ percorrida via rodovias (Km)}$$

Quanto ao cálculo da AV contida nos grãos de soja, por fim, a análise partiu dos dados referentes à produção nacional. Com base nas especificações de deságio da soja publicadas pela CONAB, nas quais a umidade dos grãos se limita a 14% de seu volume, a AV referente à soja produzida nos estados nacionais pôde ser estimada da seguinte maneira:

$$AV (t) = Volume \text{ de soja produzido (t)} \times 14\%$$

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos cálculos realizados, a Tabela 1 sintetiza os valores da Pegada Hídrica Total do transporte rodoviário de cargas e Água Virtual.

Tabela 1: Produção, Pegada Hídrica Total do Transporte Rodoviário e Água Virtual na Produção da Soja nos Estados do Brasil em 2017.

Estado	Quantidade Produzida (t)	PHt (m³/t)	AV na Produção (t)
Brasil	114.599.168,00	14.958.854.295,04	11.776.701,72
MT	30.479.870,00	7.301.423.274,29	4.267.181,80
PR	19.073.706,00	1.177.017.109,60	2.670.318,84
RS	18.744.186,00	1.468.298.855,79	2.624.186,04
GO	11.372.539,00	620.486.347,25	1.592.155,46
MS	9.101.890,00	1.205.853.818,47	1.274.264,60
MG	5.318.554,00	362.904.037,41	744.597,56
BA	5.143.899,00	930.722.744,98	720.145,86
SP	3.260.981,00	248.828.210,73	456.537,34
SC	2.447.350,00	219.743.831,21	342.629,00
TO	2.410.207,00	210.672.136,72	337.428,98
MA	2.331.688,00	429.675.921,24	326.436,32
PI	2.020.195,00	354.408.674,53	282.827,30
PA	1.632.115,00	200.361.521,84	228.496,10
RO	908.702,00	211.037.545,74	127.218,28
DF	241.500,00	3.869.251,79	33.810,00
RR	55.885,00	12.081.522,26	7.823,90
AP	54.400,00	1.295.870,54	7.616,00
AL	1.240,00	162.316,53	173,60
AC	261,00	11.304,13	36,54

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

Há uma relação diretamente proporcional, portanto, entre o volume de soja produzido por estado e o componente hídrico virtual na leguminosa. Os estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, são, dessa forma, os mais representativos no âmbito da AV. A respeito da

PHt, todavia, há dependência da distância e também do volume transportado, de modo que os fluxos mais ineficientes, nesse sentido, são os que apresentam elevada distância até os destinos finais e/ou volumes de cargas elevados.

O nível de produção de soja e a disparidade na eficiência dos transportes podem ser analisadas com os resultados da PHt em cada unidade federativa, ilustrados nas figuras 6 e 7.

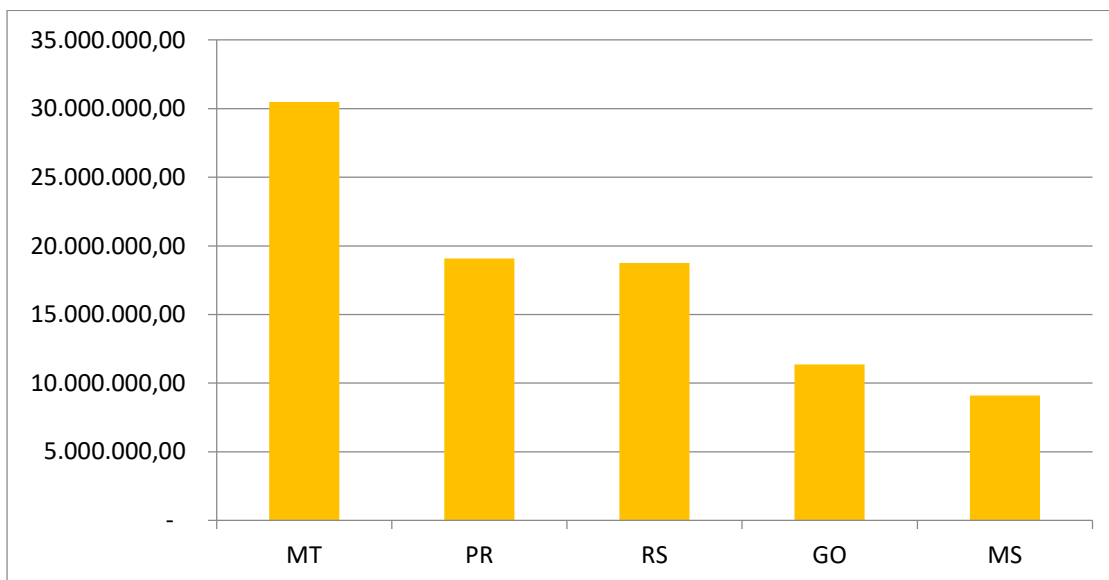


Figura 6: Ranking dos Cinco Principais Estados na Produção de Soja

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

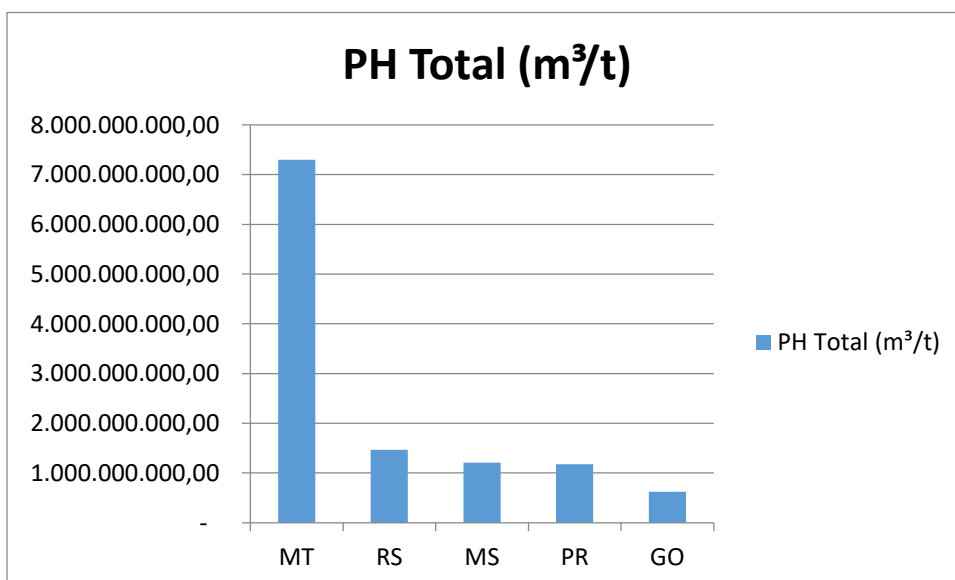


Figura 7: Pegada Hídrica Total do Transporte da Soja nos Maiores Produtores Estaduais

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

Analisando os resultados obtidos, conclui-se que as regiões Sul e Centro-Oeste, com destaque para o estado do Mato Grosso, apresentam-se como as de maior relevância na PHt gerada, o que se deve à elevada produção interna de soja e fluxos rodoviários percorridos. O Goiás é o mais eficiente no âmbito da PHt e, além disso, estados como o Paraná apresentam expressiva competitividade na PHt gerada e também na quantidade de soja produzida.

A disparidade na relação entre a PHt e a quantidade de soja produzida fica evidente justamente pela magnitude dos resultados obtidos. A respeito da produção, em ordem decrescente, há a seguinte relação de importância: MT, PR, RS, GO e MS; na segunda análise, referente à PHt, ocorre outra configuração: MT, RS, MS, PR e GO, respectivamente.

Contudo, no que se refere à PH ponderada do transporte da soja via rodovias (PHp) nessas rotas, há alteração nos municípios e regiões de maior significância, conforme ilustrado no mapa abaixo (figura 8).

Nesta análise, tomando a distância e as quantidades dos carregamentos como ponderadores, os fluxos de escoamento na porção central do Mato Grosso apresentam-se como os maiores geradores da PHp, assim como as cidades na porção Oeste da Bahia e na região de encontro dos estados do Tocantins, Bahia, Maranhão e Piauí. Com a análise da PHp é possível estabelecer os fluxos em que há perda hídrica expressiva na logística de transportes por tonelada de soja em cada quilômetro percorrido. Além das localidades destacadas anteriormente, os municípios da porção Sudoeste e Norte do país, no estado do Pará, apresentam-se como agentes expressivos na PHp.

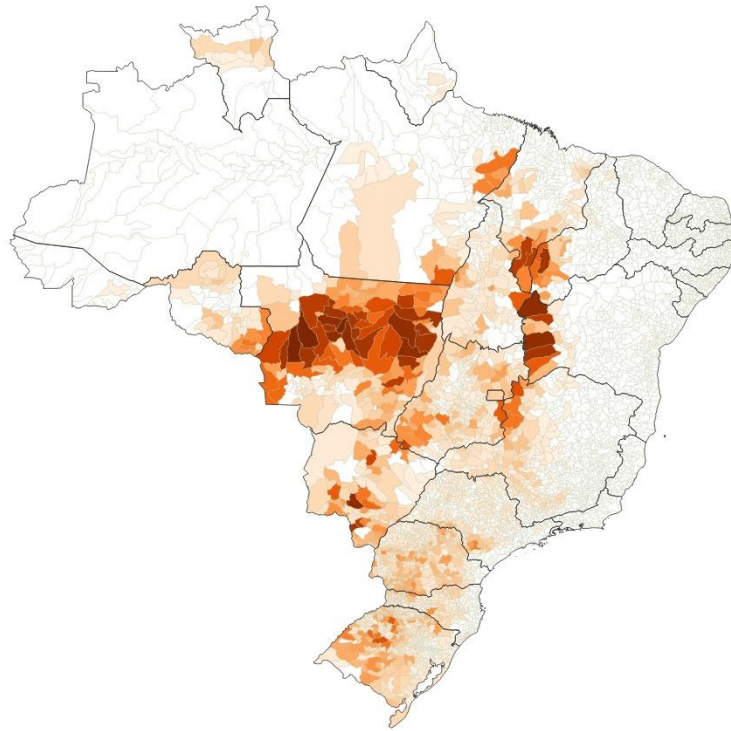


Figura 8: Pegada Hídrica Ponderada do Transporte Rodoviário da Soja por Município
Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

PRINCIPAIS ESTADOS NA PRODUÇÃO DE SOJA: DETALHAMENTO DOS FLUXOS DE TRANSPORTE REALIZADOS E ANÁLISE DA PHT

A tabela 2 sintetiza uma série de informações relativas ao detalhamento dos fluxos de transporte e análise da pegada hídrica total dos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul.

Tabela 2: Quantidade Produzida, Pegada Hídrica Total do Transporte Rodoviário da Soja, Distância Ponderada nos Maiores Estados Produtores e os Três Principais Municípios na Produção por Estado.

Estados e Municípios	Distância Ponderada (km)	Quantidade Produzida (t)	PHt (m ³ /t)
MT		30.479.870,00	7.301.423.274,29
Sorriso	889,44	2.157.600,00	500.873.820,43
Nova Mutum	101,36	1.348.776,00	35.683.517,03
Nova Ubiratã	652,82	1.242.000,00	211.620.844,03
PR		19.073.706,00	1.177.017.109,60
Tibagi	167,42	438.700,00	19.169.292,50
Cascavel	22,77	358.800,00	2.132.130,96
Castro	53,49	289.200,00	4.037.396,36
RS		18.744.186,00	1.468.298.855,79
Tupaciretã	459,72	511.529,00	61.376.956,35
Cachoeira do Sul	51,80	458.137,00	6.193.672,64
Júlio de Castilhos	417,34	328.080,00	35.736.779,79
GO		11.372.539,00	620.486.347,25
Rio Verde	10,00	1.102.500,00	2.877.525,00
Jataí	114,26	1.060.200,00	31.617.311,34
Cristalina	230,38	811.200,00	48.777.641,55
MS		9.101.890,00	1.205.853.818,47
Maracaju	1.060,33	982.200,00	271.820.713,00
Sidrolândia	195,30	706.230,00	35.999.371,58
Ponta Porã	10,00	694.200,00	1.811.862,00

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

Quanto à produção mato-grossense, os municípios de Sorriso, Nova Urutum e Nova Ubiratã são os de maior relevância. No estado, essas cidades não são as maiores representantes com relação à PHt, o que indica distâncias rodoviárias relativamente menores e mais eficientes, quanto ao indicador. Quanto a isso, enquanto o município de Sorriso ocupa a posição de principal produtor do país, no ranking da PHt a cidade ocupa a quarta posição, sendo superada por outros municípios do Mato Grosso.

No estado do Paraná, os principais produtores são Tibagi, Cascavel e Castro. Os fluxos de transporte da soja, partindo de Tibagi, são para o porto Paranaguá – PR e para o município de Ponta Grossa – PR. Em Cascavel, há fluxos de recebimento de soja a partir dos seguintes municípios paranaenses: Anahy, Capitão Leônidas Marques, Maripá, Ouro Verde do Oeste, Palotina, Santa Tereza do Oeste, São José das Palmeiras, São Pedro do Iguaçu, Toledo, Jesuítas, fluxos com destino aos terminais de transbordo de Cascavel a partir de Boa Vista da Aparecida, Capanema, Catanduvas, Corbélia, Lindoeste, Nova Prata do Iguaçu, Realeza, Santa Lúcia, Três Barras do Paraná e fluxos dentro do próprio município. Em Castro, o transporte da soja se dá para Ponta Grossa – PR e para o porto de Eugênio de Castro – RS. Nesse município, ainda que a quantidade produzida tenha sido menor do que em Cascavel (segundo maior produtor do Paraná), sua PHt é praticamente duas vezes maior, dada à maior distância ponderada com relação à Cascavel.

Para o estado do Rio Grande do Sul, Tupanciretã, Cachoeira do Sul e Júlio de Castilhos são os maiores na produção. Em Tupanciretã, há recebimento de soja para o terminal de transbordo da cidade a partir de Capão do Cipó – RS e Progresso – RS e escoamento dos grãos para o porto de Rio Grande – RS. Em Cachoeira Sul, os fluxos efetivados foram dentro do próprio município e para o porto de Rio Grande – RS e, nessas movimentações, constatou-se distância ponderada relativamente baixa, o que resulta em geração de menor PHt. Em Júlio de Castilhos, há recebimentos para os seus terminais de transbordo a partir dos seguintes municípios do Rio Grande do Sul: Faxinal do Soturno, Nova Palma, São João de Polinêse, Ivorá, São Martinho da Serra, Silveira Martins e escoamento para o porto de Rio Grande – RS.

No Goiás, as cidades de Rio Verde, Jataí e Cristalina são os maiores destaques na produção. Em Rio verde, há entrada de soja a partir dos municípios goianos de Acreúna, Amorinópolis, Iporá, Montividiu, Santa Helena do Goiás, Santo Antônio da Barra, e movimentações dentro da cidade de Rio Verde. Esse município, ainda que seja o maior produtor do estado, possui PHt relativamente baixa, em comparação com Jataí e Cristalina. Em Jataí, o escoamento da soja ocorre para o terminal de transbordo de São Simão e para rotas internas. Para o município de Cristalina, as rotas são para mercado interno, em Araguari – MG, Uberlândia – MG e Ipameri – GO.

Por fim, no estado do Mato Grosso do Sul os principais produtores são Maracaju, Sidrolândia e Ponta Porã. Em Maracaju, a soja direcionou-se para Osvaldo Cruz – SP e para o porto de Santos – SP; a cidade apresentou a maior distância ponderada dos municípios desta análise, tendo por isso uma PHt expressiva. Para Sidrolândia, as movimentações do grão realizaram-se para Osvaldo Cruz – SP e Campo Grande – MS. Em Ponta Porã, os fluxos de transporte da oleaginosa foram dentro dos limites do município, sendo que também houve entrada do grão para a cidade a partir de Antônio João – MS.

PRINCIPAIS MUNICÍPIOS NA PRODUÇÃO DE SOJA: DETALHAMENTO DOS FLUXOS DE TRANSPORTE REALIZADOS E ANÁLISE DA PHT POR MUNICÍPIO

A partir das tabelas 3 e 4, pode-se identificar que há uma correlação diretamente proporcional entre a quantidade produzida de soja em toneladas e a distância rodoviária percorrida na geração da PHT, de modo que, quanto maior for a produção e/ou a distância percorrida, mais elevada ela será.

Com relação aos fluxos da soja, o município de Sapezal (MT) possui como destino de exportação o porto de Rio Grande (RS) e o terminal de transbordo de Porto Velho (RO), para o mercado interno o destino é para o município de Itacoatiara (AM). A soja com origem em Brasnorte (MT) e em Ipiranga do Norte (MT) é encaminhada para a exportação por meio do porto de Rio Grande (RS).

Em 4º lugar entre os municípios com maior PHt encontra-se Sorriso (MT), o maior produtor de soja do Brasil, segundo a tabela 4, com exportação do grão através do porto de Rio Grande (RS) e pelo terminal de transbordo de Itaituba (PA), movimentando também dentro do próprio município. Além disso, há também o transporte de soja dentro do mercado interno para os municípios do Mato Grosso como Lucas do Rio Verde e Sorriso. O município de Querência (MT) movimenta para o mercado externo por meio do porto de Santos (SP) e dentro do mercado interno em Bebedouro (SP) e Orlândia (SP). O destino da soja partindo de Porto dos Gaúchos (MT) é demarcado pela exportação através do porto de Rio Grande (RS).

O transporte de soja partindo de Formosa do Rio Preto (BA) tem como destino a exportação pelos portos de São Luís (MA) e Salvador (BA). Em Canarana (MT) o grão vai para exportação pelo porto de Santos (SP) e pelo terminal de transbordo de Araguari (MG). Há também o município de Maracaju (MS), escoando a soja para o mercado externo pelo porto de Santos (SP) e para o mercado interno para Osvaldo Cruz (SP). Em São Desiderio (BA) o produto se destina ao porto de Salvador (BA) e mercado interno em Iraquara (BA).

A tabela 4 indica os 10 municípios mais produtores de soja do Brasil, observa-se que alguns municípios citados na tabela 3 se repetem, mostrando que há uma relação direta com a quantidade produzida. Em Nova Mutum (MT) o destino para exportação é pelo terminal de transbordo em Rondonópolis (MT) e para o mercado interno segue dentro de Nova Mutum (MT) e para Cuiabá (MT). A soja com origem em Nova Ubitatã tem destino ao mercado externo por meio do terminal de transbordo de Rondonópolis (MT).

O município de Campo Novo do Parecis (MT) ocupando o 7º lugar entre os 10 maiores produtores, tem como destino a exportação pelo porto de Rio Grande (RS) e o mercado interno dentro do próprio município. Em Rio Verde, como a distância observada é a menor entre os 10 maiores produtores, conseqüentemente o valor de pegada hídrica total do transporte de soja é o menor destacado. Ocorrendo o escoamento dentro no próprio município, sendo destino também de escoamento para o mercado interno pelos municípios de Acreúna (GO),

Amorinópolis (GO), Iporá (GO), Montividiu (GO), Santa Helena de Goiás (GO) e Santo Antônio da Barra (GO). Por fim, o grão partindo de Diamantino (MT) segue para o mercado interno de Cuiabá (MT).

Tabela 3: Análise dos 10 municípios com maior pegada hídrica total do transporte rodoviário de soja (m^3/t) no Brasil, indicando a quantidade produzida de soja em toneladas.

Município	Estado	PHT (m^3/t)	Quantidade Produzida (t)	Distância (km)
Sapezal	MT	581.355.200,06	1.095.934,00	2.032,43
Brasnorte	MT	519.803.730,32	683.966,00	2.911,82
Ipiranga do Norte	MT	513.419.133,84	710.711,00	2.767,82
Sorriso	MT	500.873.820,43	2.157.600,00	889,44
Querência	MT	464.127.879,28	1.208.445,00	1.471,53
Porto dos Gaúchos	MT	446.842.949,83	582.658,00	2.938,33
Formosa do Rio Preto	BA	366.641.120,76	1.329.131,00	1.056,90
Canarana	MT	309.008.874,83	824.877,00	1.435,30
Maracaju	MS	271.820.713,00	982.200,00	1.060,33
São Desidério	BA	266.219.480,57	1.395.693,00	730,82

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

Tabela 4: Análise dos 10 municípios com maior quantidade produzida em toneladas de soja no Brasil e sua respectiva pegada hídrica total do transporte rodoviário de soja (m^3/t).

Município	Estado	PHT (m^3/t)	Quantidade Produzida (t)	Distância (km)
Sorriso	MT	2.157.600,00	500.873.820,43	889,44
São Desidério	BA	1.395.693,00	266.219.480,57	730,82
Nova Mutum	MT	1.348.776,00	35.683.517,03	101,36
Formosa do Rio Preto	BA	1.329.131,00	366.641.120,76	1.056,90
Nova Ubiratã	MT	1.242.000,00	211.620.844,03	652,82
Querência	MT	1.208.445,00	464.127.879,28	1.471,53
Campo Novo do Parecis	MT	1.172.148,00	177.423.271,93	579,95
Rio Verde	GO	1.102.500,00	2.877.525,00	10,00
Sapezal	MT	1.095.934,00	581.355.200,06	2.032,43
Diamantino	MT	1.062.553,00	49.759.667,50	179,43

Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

Com base nas tabelas 5 e 6, o município de Picada Café (RS) ocupa a 1º posição em relação ao estado com menor quantidade produzida e menor valor em PHT, esse fator é decorrente da menor distância observada se comparado com os outros municípios, apresentando como destino o mercado interno em Canoas (RS). Viçosa (MG) aparece em 2º lugar com destaque ao mercado externo pelo terminal de transbordo em Santa Luzia (MG). O produto final com origem em Tramandaí (RS), é entregue em Santa Rosa (RS). Já o município de Santa Maria do Herval (RS) destina o grão para o mercado interno de Canoas (RS).

Em Três Coroas (RS) a soja se destina ao porto de Imbituba (SC). O grão partindo de Montes Claros (MG) vai para o mercado externo pelo terminal de transbordo em Pirapora (MG). O

município de Curvelo exporta a soja pelo terminal de transbordo em Santa Luzia (MG). A cidade de Igrejinha (RS) aparece em 8º lugar entre os que apresentam menor PHT, destinando a soja para o mercado interno em Guarani das Missões (RS). Em Lacerdópolis, o destino também é o mercado interno para Joaçaba (SC) e o município de Nova Roma do Sul (RS) com destino a Veranópolis (RS) para o mercado interno, ocupa o 10º lugar de acordo com a tabela 5. Dentre os municípios apresentados entre os menos produtores, ainda se encontram Fortaleza de Minas (MG), Lindóia (SP) e Lontras (SC). Em Fortaleza de Minas (MG) o destino do grão segue pelo porto de Santos (SP), assim como o observado para Lindóia (SP). Por fim, Lontras (SC) destina o produto para o mercado interno em São Francisco do Sul (SC).

Tabela 5: Análise dos 10 municípios com menor pegada hídrica total do transporte rodoviário de soja ($m^3/t*km$) no Brasil, indicando a quantidade produzida de soja em toneladas.

Município	Estado	PHT (m^3/t)	Quantidade Produzida (t)	Distância (km)
Picada Café	RS	2,00	35,75	68,48
Viçosa	MG	2,00	129,10	247,32
Tramandaí	RS	8,00	132,52	63,47
Santa Maria do Herval	RS	10,00	162,26	62,17
Montes Claros	MG	4,00	180,35	172,75
Três Coroas	RS	2,00	188,99	362,04
Curvelo	MG	4,00	193,15	185,01
Igrejinha	RS	22,00	198,24	34,52
Lacerdópolis	SC	60,00	263,60	16,83
Nova Roma do Sul	RS	45,00	313,84	26,72

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

Tabela 6: Análise dos 10 municípios com menor quantidade produzida em toneladas de soja no Brasil e sua respectiva pegada hídrica total do transporte rodoviário de soja ($m^3/t*km$).

Município	Estado	PHT (m^3/t)	Quantidade Produzida (t)	Distância (km)
Picada Café	RS	35,75	2,00	68,48
Viçosa	MG	129,10	2,00	247,32
Três Coroas	RS	188,99	2,00	362,04
Montes Claros	MG	180,35	4,00	172,75
Curvelo	MG	193,15	4,00	185,01
Tramandaí	RS	132,52	8,00	63,47
Fortaleza de Minas	MG	1.091,68	9,00	464,74
Santa Maria do Herval	RS	162,26	10,00	62,17
Lindóia	SP	1.017,58	14,00	278,48
Lontras	SC	710,00	15,00	181,35

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

ANÁLISE DA PEGADA HÍDRICA POR MUNICÍPIO

Na figura 9, o *boxplot* foi obtido a partir das informações da variável de pegada hídrica do transporte rodoviário de soja (m^3/t) (PHt). Por meio desse gráfico, foi possível avaliar a simetrias dos dados, sua dispersão e a existência de *outliers* (dados discrepantes), observa-se a presença de valores atípicos em cada densidade amostral, indicando valores altos de PHt, porém como o gráfico é mais achatado, indica baixa variabilidade de desvio padrão nos resultados. Esse fator ocorre, pois, a variação dos valores de PHt é dependente da quantidade produzida de soja em toneladas e da distância percorrida durante o transporte da leguminosa.

Desse modo, há diferença nos dados de cada município, assim, alguns podem apresentar quantidade produzida de soja maior e distância de transporte reduzida enquanto outros municípios podem apresentar distância percorrida maior e baixa quantidade produzida do grão, porém em ambos os cenários o valor de PHt pode ser elevado, sendo a principal justificativa para a apresentação dos valores atípicos.

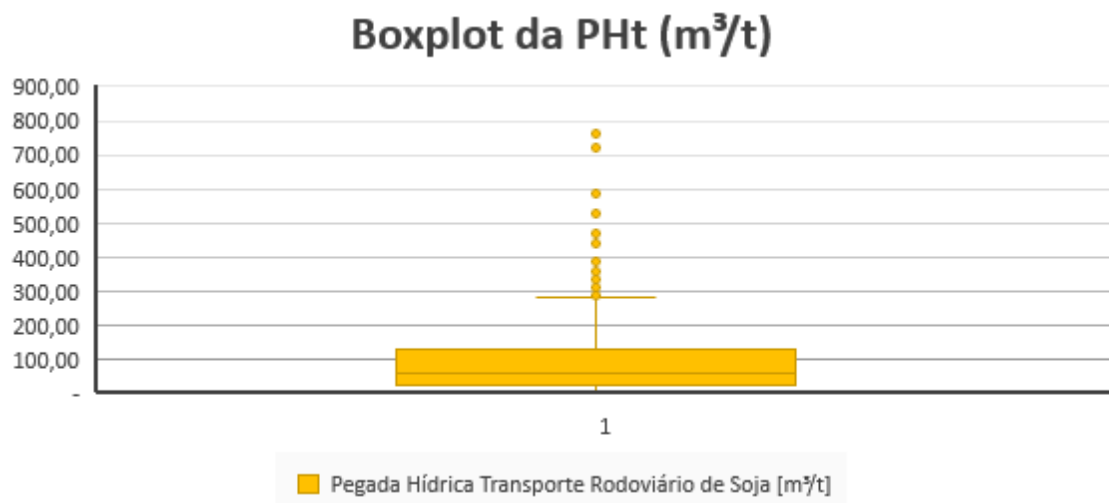


Figura 9: Gráfico de boxplot da pegada hídrica do transporte rodoviário de soja (m^3/t).
Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nos resultados da pesquisa.

CONCLUSÃO

Através das análises e conceitos explorados, foi possível constatar a magnitude dos volumes hídricos necessários para que se efetive o transporte da soja no país, que ocorre predominantemente por meio do modal rodoviário. Para além da utilização do conceito de pegada hídrica, a mensuração da água virtual contida nos montantes de soja produzidos no Brasil também destaca o fato de que expressivas porções de água estão associadas à produção

da leguminosa. Em termos quantitativos, o estado do Mato Grosso apresentou-se como maior produtor e gerador de pegada hídrica nos fluxos rodoviários analisados, assim como principal agente com relação à água virtual da soja produzida no contexto nacional. No âmbito municipal, o município mato-grossense de Sorriso se sobressaiu como principal cidade no a da soja, sendo o maior produtor e gerador de pegada hídrica no transporte do país. Os estados da região Sul, nesse sentido, também apresentaram resultados importantes, com destaque para o Paraná e o Rio Grande do Sul.

Tendo em vista os resultados encontrados e a predominância do modal rodoviário, que é ineficiente do ponto de vista da pegada hídrica, nas movimentações de commodities brasileiras, urge a necessidade de alterações no campo de infraestrutura e da logística de transportes. Além disso, para além de questões de sustentabilidade, a necessidade de mudanças nas estruturas de transportes de cargas também é relevante pelo fato de que os custos do transporte estão diretamente associados com o lucro final dos produtores, que perdem competitividade com a ineficiência logística. O Brasil tornou-se o maior produtor de soja do mundo e, com a pressão internacional pela preservação ambiental, somada às projeções de escassez nos montantes de água potável nas próximas gerações, a temática se torna ainda mais relevante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE. **IBGE mapeia a infraestrutura dos transportes no**

Brasil. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14707-asi-ibge-mapeia-a-infraestrutura-dos-transportes-no-brasil>. Acesso em: 27 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no**

Brasil: 2014/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Brasil exporta cerca de 112 trilhões de litros de água doce por ano.** Disponível em:

<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/brasil-exporta-cerca-de-112-trilhaues-de-litros-de.2019-03-15.0186272020>. Acesso em: 4 jan. 2021.

AGENDA 2030. **Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável.** 2020. Disponível em:

<http://www.agenda2030.org.br/ods/6/>. Acesso em: 23 dez. 2020.

BLENINGER, Tobias; KOTSUKA, Luziadne Katiucia. **CONCEITOS DE ÁGUA VIRTUAL EPEGADA HÍDRICA: ESTUDO DE CASO DA SOJA E ÓLEO DE SOJA NO BRASIL. Recursos Hídricos**, [S. l.], p. 1-24, maio 2015.

BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, SO.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo, Ed. Da USP, v.03, 1991.

CANAL RURAL. **China compra 54 milhões de toneladas de soja do Brasil em 2020**.

Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/radar/china-compra-54-milhoes-de-toneladas-de-soja-do-brasil-em-2020/#:~:text=O%20pa%C3%ADs%20%C3%A9%20o%20maior,de%2032%25%20ano%20a%20ano>. Acesso em: 10 dez. 2020.

CNA BRASIL. **Panorama do Agro**. Disponível em:

<https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro/#:~:text=O%20valor%20bruto%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o,250%2C8%20no%20segmento%20pecu%C3%A1rio.&text=O%20segundo%20lugar%20no%20ranking,%2C7%20bilh%C3%B5es%2C%20em%202020>. Acesso em: 18 dez. 2020.

CONAB. **AVISO E PRÊMIO DE RISCO PARA A AQUISIÇÃO DE SOJA EM GRÃOS ORIUNDO DE CONTRATO PRIVADO DE OPÇÃO DE VENDA Nº 112/06**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/comercializacao/leiloes-agropecuarios/prop/item/download/2645_22d5c2503cce386873a45685445c6685. Acesso em: 13 jan. 2021.

ELIZABETH BORELLI. Economia política da água no Brasil. **Economia Brasileira em Debate: Subsídios ao Desenvolvimento**. 2018. Pages 277-294. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/15-21286>. Acesso em: 23 dez 2020.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2019/20)**. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 15 dez. 2020.

EXAME. **Falta de saneamento básico reflete desigualdades do Brasil e afeta saúde**. 2020.

Disponível em: <https://exame.com/brasil/falta-de-saneamento-basico-reflete-desigualdades-do-brasil-e-afeta-saude/>. Acesso em: 23 dez. 2020.

FUNIBLOGS (org.). **Pressão Internacional para a preservação ambiental no Brasil.**

2019. Disponível em: <https://blogs.funiber.org/pt/meio-ambiente/2019/07/15/funiber-preservacao-brasil>. Acesso em: 15 jul. 2019.

GERBENS-LEENES, P.W. AND HOEKSTRA, A. Y. (2010) - Burning water: The water footprint of biofuel-based transport, Value of Water Research Report Series n.44, UNESCO-IHE.

GIACOMIN, G. S. e OHNUMA. (2012) - **Análise de Resultados de Pegada Hídrica por Países e Produtos Específicos.** Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 1562-1572.

JORNAL BIOSFERAS. **A Água Virtual no contexto da exportação.** 2020. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/biosferas/Art0067.html>. Acesso em: 23 dez. 2020.

MANUAL de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global. [S. l.: s. n.], 2011.

MARCOS CARDINALLI. Ideia Sustentável. **Sustentabilidade é discutida na Assembleia da ONU para o meio ambiente.** 2019. Disponível em: <https://ideiasustentavel.com.br/assembleia-da-onu-para-o-meio-ambiente/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

MARCOS CARDINALLI. **ONU lança o novo Relatório Mundial sobre água.** 2019. Disponível em: <https://ideiasustentavel.com.br/relatorio-mundial-sobre-agua-2019/>. Acesso em: 22 dez. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Mais de 4,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico.** 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/11/1733352>. Acesso em: 22 dez. 2020.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Água Virtual.** Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/agua-virtual>. Acesso em: 11 set. 2020.

ROCHA, Fernando Vinicius da. Análise de eficiência dos projetos de investimento em infraestrutura multimodal para o transporte de soja no Brasil. 2020. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. doi:10.11606/T.11.2020.tde-14012021-095941. Acesso em: 2021-01-20.

VERIATO, M. K. L.; BARROS, H. M. M.; SOUZA, L. P.; CHICÓ, L. R.; BAROSI, K. X.

L.. Água: escassez, crise e perspectivas para 2050. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 17-22, 3 dez. 2015. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i5.3869>. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/286510581_Agua_Escassez_crise_e_perspectivas_para_2050. Acesso em: 22 dez. 2020.