

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

1. INTRODUÇÃO

Os rios, além de estarem 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). Com o atual ritmo de exploração dos recursos naturais, a busca por processos sustentáveis e da boa gestão dos recursos hídricos, que são escassos, é tema de que envolvem organizações, empresas, governos e principalmente a Organização das Nações Unidas (ONU). A utilização dos recursos hídricos de maneira sustentável, especialmente na agroindústria, é um desafio com discussões crescentes, 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 demanda a utilização de uma porção hídrica, que está direta ou indiretamente envolvida com as cadeias de produção e, 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 distribuição de um bem ou serviço final. Dessa forma, a PH é uma forma de mensurar e compreender os impactos ambientais causados desde a matéria-prima até os produtos finais de uma cadeia produtiva (Giacomin e Ohmuna, 2012).

Tendo em vista a importância da preservação dos recursos hídricos e da formulação de indicadores que possam nortear políticas públicas, no campo da sustentabilidade, este trabalho irá analisar a magnitude da PH do transporte rodoviário da soja, tendo como base o estudo realizado por Gerbens-Leenes e Hoekstra (2010), para os Estados Unidos.

Com isso, este trabalho tem como objetivos: (I) realizar o cálculo da PH do transporte rodoviário da soja (em m³) em cada estado e município do território nacional, detalhando os fluxos e as instalações logísticas (portos, hidrovias ou terminais de transbordo) associadas à movimentação da leguminosa; (II) discutir os resultados obtidos, destacando os efeitos que impactam a magnitude da PH e suas relações com as características da logística brasileira e (III) calcular a AV advinda da produção da soja no país, com base na umidade dos grãos da oleaginosa.

Além desta introdução, este trabalho é composto pelo referencial teórico, que consolidará informações relevantes sobre a agrologística no Brasil e sobre a importância da preservação dos recursos hídricos. A terceira seção apresenta a metodologia utilizada para as análises do artigo, seguida da discussão dos resultados e das considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

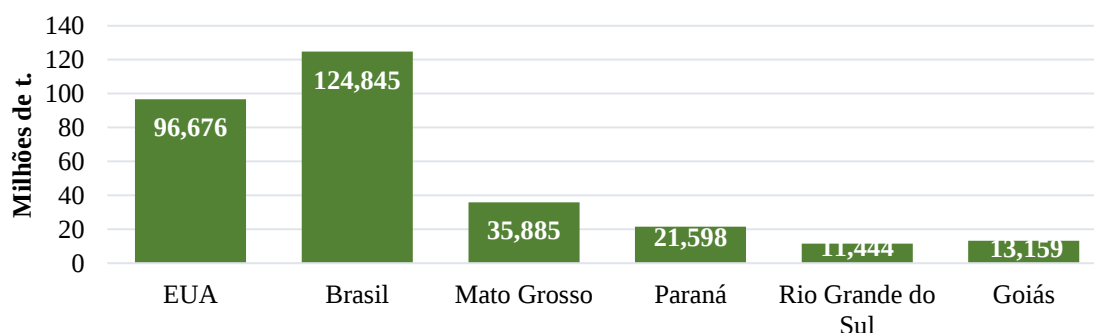
2.1. Produção agrícola e a soja no Brasil

O Brasil é um dos principais *players* do agronegócio, conjunto de atividades que envolve o segmento de insumos, produção agrícola, agroindústria e serviços ligados ao campo. Em 2019, a renda do setor foi de R\$ 1,55 trilhão, representando 21,4% do Produto Interno Bruto (PIB). Esse grande desempenho tem o ramo agrícola como principal componente, responsável por 68% da renda setorial. Em 2019, valor bruto da produção (VBP) da agropecuária do Brasil totalizou R\$ 651,5 bilhões, de acordo com a Confederação Agrícola e Pecuária do Brasil (CNA,

2020), tendo como grande protagonista a soja, principal produto agrícola nacional, que representa 12% da pauta de exportações (Secretaria de Comércio Exterior, 2020) e um VBP de R\$ 175,63 bilhões.

A produção nacional do grão, que é base para a produção de produtos alimentícios, óleos e proteínas (FAO, 2018), atingiu 124,845 milhões de toneladas na safra 2019/20, tornando o Brasil o maior produtor mundial do vegetal, com área plantada total e produtividade maior do que os Estados Unidos (segundo no ranking), de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2020). No âmbito interno, conforme ilustra a Figura 1, o estado do Mato Grosso é principal produtor, detém a maior área plantada e gera cerca de 27% da produção brasileira; nesse sentido, a região Centro-Oeste é detentora de aproximadamente metade do montante gerado nacionalmente, conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018).

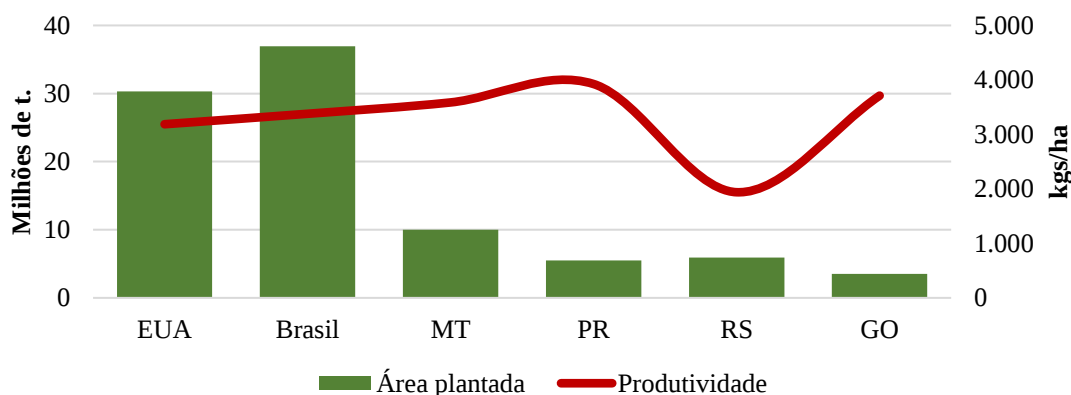
Figura 1. Produção de Soja – Safra 2019/20 (em milhões de toneladas).



Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Embrapa.

Os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás são, além do Mato Grosso, os demais líderes na produção nacional, com o Paraná figurando como maior destaque em termos de produtividade, como explicitado na Figura 2. superando o Mato Grosso por conta do emprego da tecnologia, com uso de plantas geneticamente modificadas, e de boas práticas agrícolas. Sobre a produção do grão, vale destacar, ainda, que o fator climático desempenha fator fundamental.

Figura 2. Produção e produtividade de soja nos principais estados produtores.



Fonte: Elaborado pelos autores, com dados da Embrapa.

O rendimento da soja é diretamente afetado por fatores climáticos, como temperatura, déficit e excesso hídrico (Schoffel *et al.*, 2001), e o volume de água consumido pelo grão é dependente do estado de desenvolvimento do vegetal e das condições ambientais,

principalmente na fase de enchimento de grãos (Embrapa, 2013). Na colheita, outro ponto importante a se considerar é a sua umidade: os grãos precisam ser colhidos com teor de umidade de 13% a 15%, para que não estejam expostas a danos mecânicos e/ou danos latentes (Cortez *et al.*, 2019).

No comércio internacional, as movimentações da soja brasileira têm grande relevância e os mercados asiáticos e europeus são os principais compradores. Em 2020, a China importou 60 milhões de toneladas da soja brasileira, volume 29% maior do que no mesmo período do ano anterior (Secex, 2020). Fora da Ásia, os principais compradores da soja brasileira são a Espanha, a Holanda e Rússia. O Brasil é o principal exportador de soja, com 47,05% do total, a frente dos Estados Unidos (33,62%) e Argentina (6,05%).

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, conforme será abordado adiante, assumem valores expressivos, tendo em vista que o país é um dos líderes na produção e exportação de grãos, possui dimensões continentais e apresenta grande dependência do modal rodoviário, que é ineficiente com relação à magnitude da PH a ele associada.

De acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2019), o transporte de cargas no Brasil é concentrado no modal rodoviário, principal componente da matriz com 61,1%. O modal ferroviário, principal alternativa, responde por 21% e as hidrovias representam 14%.

Gerbens-Leenes e Hoekstra (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. Dessa forma, os fretes realizados por caminhões geram expressiva PH, principalmente em comparação com o modal ferroviário, que se apresenta como o menor demandante de energia e modal mais eficiente com relação à PH relacionada ao transporte de cargas.

2.2. Recursos hídricos

A água é essencial para todas as atividades exercidas pelo homem, sendo necessária para a higiene, saúde, produção de alimentos, processos industriais; é importante para a manutenção da vida (Branco *et al.*, 1991). Ainda que o Brasil detenha 19% da água do planeta, sua distribuição não é igualitária e uniforme. Bordalo (2017) ilustra como exemplo dessa má distribuição, o caso da região Norte, onde, apesar da presença de duas grandes bacias hidrográficas (Rios Amazonas e Tocantins–Araguaia), apenas 54,6% da população é atendida pela rede de água, menor percentual dentre todas as regiões brasileiras, incluindo na região Nordeste, que apresenta menores reservas frente o clima semiárido.

Em linhas gerais, embora o país possua algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo, além dos já citados, destaque ainda para os rios Pará e São Francisco, além da reserva hídrica do Aquífero Guarani, que faz parte do território do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (ANA, 2014), apresenta escassez do recurso principalmente em partes do Norte-Nordeste, graças a um cenário de má distribuição de água, marcada pela poluição de rios e pela desigualdade ambiental (Borelli, 2017).

De acordo com dados da Unesco (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*), expostos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019), o Brasil exporta aproximadamente 112 trilhões de litros de água doce por ano, e dentre os principais produtos há soja, açúcar, café e carne bovina. Com isso, o Brasil ocupa a 4ª posição entre os maiores exportadores de água virtual, atrás apenas dos Estados Unidos (314 trilhões de litros/ano), China (143 trilhões de litros/ano) e Índia (125 trilhões de litros/ano).

Ainda, conforme a publicação, a água já é alvo de conflitos em diversas localidades no mundo e escassez do recurso, sendo que os principais fatores que afetam a disponibilidade de

água são o crescimento populacional, a poluição, o desmatamento, a mudança do curso natural dos rios, o desperdício e as mudanças climáticas.

Os principais direcionadores para o aumento da demanda da água doce no mundo são, além dos supracitados, o desenvolvimento industrial e a alteração do padrão de vida em alguns países, destacadamente os emergentes economicamente, como aponta Gude (2017). O autor reflete ainda, que a solução para esse problema parte da mitigação da demanda e aumento da oferta, essa última por meio de métodos para recuperação, reuso e reciclagem da água, passos essenciais para melhoria na distribuição desse recurso.

Além dos impactos diretos, a escassez de água afetará a produção de alimentos. Fitton *et al.* (2019) estimam, por meio de modelos climáticos globais (GCM), que até 11% das áreas agricultáveis devem ser impactadas pela falta de água, uma vez que essa afetará a produtividade da produção, frente um cenário normal (até 1990), no ritmo das mudanças climáticas. Os resultados evidenciam que os danos devem ser mais intensos na Europa, onde 20% da produção agrícola e 16% das pastagens são vulneráveis, na China (20% das terras), África e Oriente Médio (30% das áreas). O estudo aponta ainda que no Brasil, apenas 1% das áreas são consideradas vulneráveis, frente ao mapa da produção, que já exclui regiões com escassez.

Os impactos da falta da água certamente não atingirão apenas a produção de alimentos e a indústria, mas terá grande impacto à população urbana das grandes cidades. He *et al.* (2021) estimam, que em 2050, 2,3 bilhões de pessoas, metade da população urbana global, deverão sofrer com escassez elevada de água, expressivo aumento frente os 933 milhões de pessoas nessa condição, em 2016. Esse impacto, para os autores, deverá atingir 284 grandes cidades, com mais de um milhão de habitantes, principalmente na Índia.

. Esses fatores impulsionam 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 e para mudanças no abastecimento da água. Em relação a esse último ponto, no país, segundo o Instituto Trata Brasil, 39,2% da água captada, em 2019, foi desperdiçada na distribuição, evidenciando outro grande problema no acesso aos recursos hídricos.

Quanto à sustentabilidade, um ponto de extrema relevância, diz respeito ao estabelecimento da Agenda 2030 da ONU, que propôs 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) aos Estados membros, dos quais o Brasil é um dos integrantes. Essas definições, que têm como alvo o ano de 2030, englobam ações objetivando a mitigação da degradação dos recursos naturais e o desenvolvimento de políticas sustentáveis no âmbito econômico e ambiental. Dentre eles, o ODS 12 possui elementos que têm relação direta com a proposta deste trabalho, que traz análises quantitativas e qualitativas a respeito da degradação dos recursos hídricos no transporte da soja por rodovias, através da mensuração da pegada hídrica (PH) e da água virtual (AV), uma vez que se busca melhoria na promoção da eficiência do uso de recursos energéticos e naturais, da infraestrutura sustentável, do acesso a serviços básicos. Além disso, há uma melhoria nos processos que utilizam os recursos naturais, como a água, sendo que a negligência ou imprudência no uso pode ser passível de responsabilização.

Dessa forma, parte significativa dos ODS têm relação (direta ou indireta) com os conceitos de PH e AV, ao definirem os recursos hídricos como base para a efetivação do crescimento econômico, da própria sustentabilidade ambiental e da erradicação da pobreza. Órgãos da ONU como a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) indicam o caráter essencial da relação entre a agricultura e o consumo dos recursos hídricos disponíveis, considerando que o setor representa em média 70% do consumo mundial de água (FAO, 2018).

3. METODOLOGIA

Para o atingimento dos objetivos principais desse trabalho, de mensuração e análise da pegada hídrica no transporte de soja para os estados e municípios do Brasil, será utilizada a metodologia desenvolvida por Arjen Hoekstra, apresentada 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, contabilizando o uso direto e indireto das porções hídricas pelos produtores e consumidores, Hoekstra *et al.* (2011) 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, e 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 às 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 esco). 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 é a avaliação da PH do transporte rodoviário da soja, partindo de dados referentes a estudos semelhantes, realizados nos Estados Unidos. Assim, para a realização das análises, foi utilizado o fator estimado por Gerbens-Leenes e Hoekstra (2010) de que de 261 litros de água estão associados ao transporte de uma tonelada de grãos de soja por quilômetro percorrido via rodovias

Para a mensuração da PH, portanto, foi necessária a utilização de dados referentes à produção, oriundos da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2021), e fluxos de transporte da soja por unidade estadual e municipal do Brasil, para a análise considerando as origens dos fluxos para o ano de 2017. 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, de acordo com Bleninger e Kotsuka (2015), considerando as quantidades transportadas, pôde ser estimada através da Equação 1.

$$PHt (m^3) = Pegada\ Hídrica \left(\frac{m^3}{t \times km} \right) \times Distância\ rodoviária\ (Km) \times Quantidade\ (t) \quad (1)$$

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 (2006), de que a umidade dos grãos se limita a 14% de seu volume. Logo, a AV referente à soja produzida nos estados nacionais pôde ser estimada conforme a Equação 2.

$$AV (t) = Volume\ de\ soja\ produzido\ (t) \times 14\% \quad (2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos cálculos realizados, a Tabela 1 sintetiza os valores da Pegada Hídrica total do transporte rodoviário da soja (PHt) e da Água Virtual da produção (AV).

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

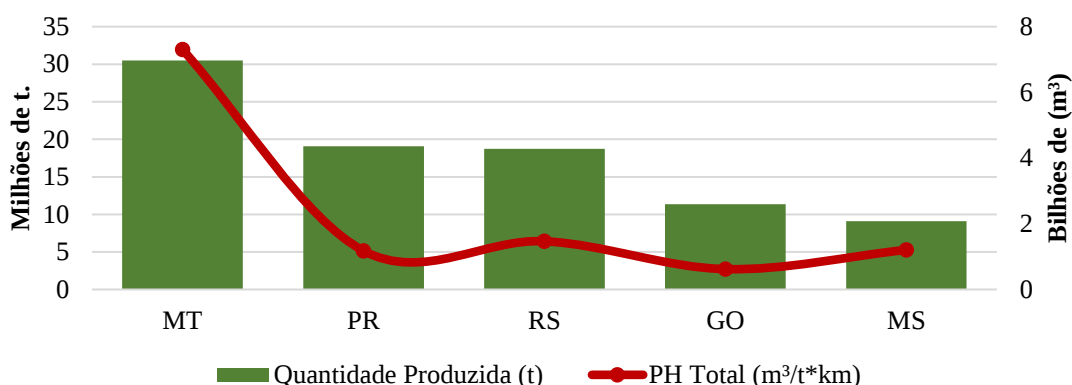
Estado	Quantidade Produzida (t)	PH (m³)	AV na produção (t.)
Brasil	114.599.168,00	14.958.854.295,04	16.043.883,52
MT	30.479.870,00	7.301.423.274,29	4.267.181,80
PR	19.073.706,00	1.177.017.109,60	2.670.318,84
RS	18.744.186,00	1.468.298.855,79	2.624.186,04
GO	11.372.539,00	620.486.347,25	1.592.155,46
MS	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.

Como esperado, há uma relação diretamente proporcional entre o volume de soja produzido por estado e o componente hídrico virtual na leguminosa, sendo que os estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, são os mais representativos no âmbito da AV. Todavia, a respeito da PHt, conforme será abordado adiante, há dependência da distância e também do volume transportado, de modo que os fluxos rodoviários mais ineficientes, nesse sentido, são os que apresentam elevada distância até os destinos finais e/ou volumes de cargas elevados.

Assim, 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, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Produção de Soja e Pegada Hídrica Total do Transporte da Soja nos Maiores Produtores Estaduais



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

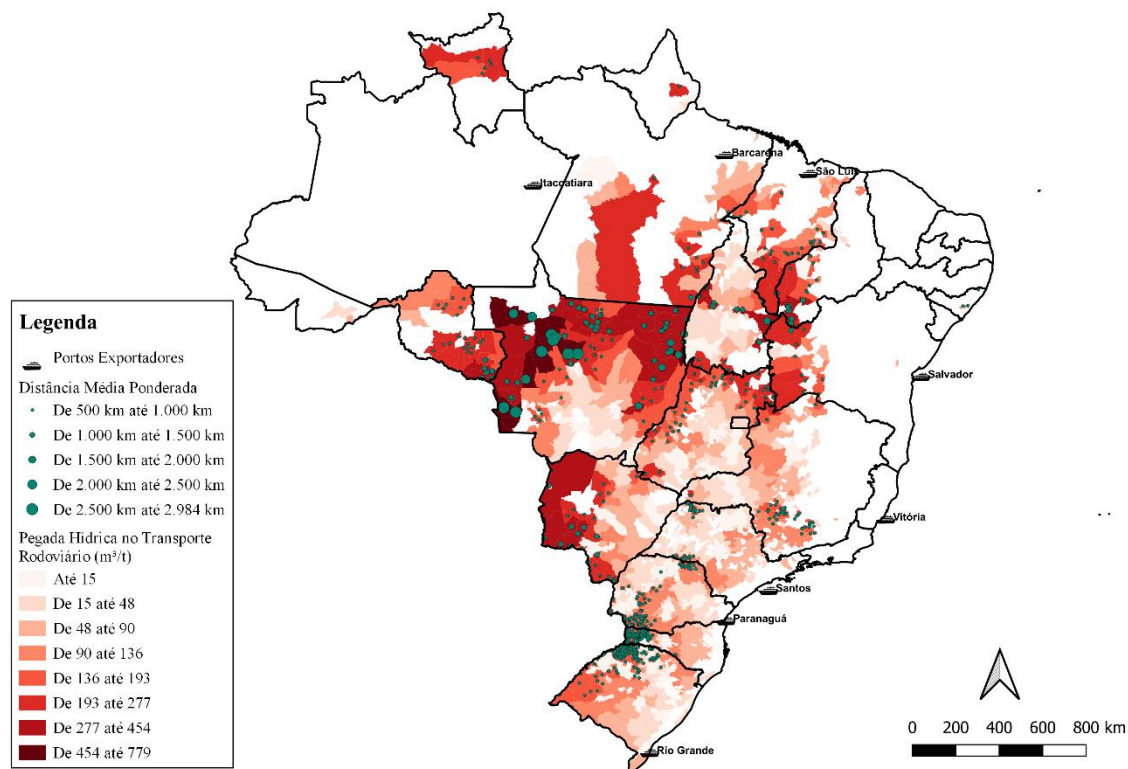
Analisando os resultados obtidos, conclui-se que as regiões Sul e Centro-Oeste, com destaque para o estado do Mato Grosso, apresentam a maior PHt gerada, o que se deve às elevadas produções internas e fluxos rodoviários percorridos. Dentre os cinco principais estados na produção, o Goiás é o mais eficiente no âmbito da PHt e, além disso, nota-se que estados como o Paraná apresentam expressiva competitividade, tanto na PHt gerada e como na quantidade de soja produzida.

A disparidade na relação entre a PHt e a quantidade de soja produzida por estado fica evidente pela magnitude dos resultados obtidos em cada análise, mostrando que não necessariamente o maior produtor terá a maior PHt, de modo que características como a distância rodoviária percorrida em cada movimentação é outro fator determinante. Enquanto MT, PR, RS, GO, e MS lideram a produção, a PHt apresenta outra disposição: MT, RS, MS, PR e GO, respectivamente.

Ao analisarmos a PH do transporte da soja no modal rodoviário, os fluxos de escoamento com origens na porção central do Mato Grosso e da região Centro-Oeste como um todo apresentaram PH expressiva, assim como em rotas partindo de municípios na região de encontro dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (região do MATOPIBA).

A Figura 4 ilustra ainda, que o estado do Mato Grosso é o que apresenta as maiores distâncias médias, indicando assim, problemas relacionados a logística e pelas características do Brasil, com a grande dimensão e distância dos portos exportadores.

Figura 4. Pegada hídrica (por tonelada de grão produzida) e distância média, por município.



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

4.1. 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, os cinco primeiros colocados com relação à produção de soja.

Tabela 2. Distância Ponderada, Quantidade Produzida e Pegada Hídrica Total do Transporte Rodoviário da Soja (PHt), nos Maiores Estados e Municípios, com Relação à Produção.

Estado	Municípios	Distância Ponderada (km)	Quantidade Produzida (t.)	PH (m³)
MT	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	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	Tupanciretã	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	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	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.

Sobre a produção mato-grossense, os municípios de Sorriso, Nova Mutum e Nova Urubiratã são os três primeiros colocados; ainda assim, conforme será discutido adiante, essas cidades não representam os maiores valores de PHt do país, pois além da questão da produção, a distância rodoviária percorrida no escoamento da soja também é determinante sobre a PHt. 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 que apresentaram maior distância nos fluxos de escoamento observados.

Na parte das movimentações, pelos resultados de Rocha (2020) que são base para esse trabalho, a soja de Sorriso foi exportada pelo porto de Rio Grande (RS) e pelo terminal de transbordo de Itaituba (PA), sendo que o grão também foi transportado no mercado interno para Lucas do Rio Verde (MT) e para rotas no próprio município. Em Nova Mutum (MT), o terminal de transbordo de Rondonópolis (MT) foi o destino para exportação e, no mercado interno, as rotas seguiram dentro de Nova Mutum (MT) e para Cuiabá (MT). A soja com origem em Nova Ubiratã tem destino ao mercado externo por meio do terminal de transbordo de Rondonópolis (MT).

No Paraná, os principais produtores foram Tibagi, Cascavel e Castro e, sobre os fluxos realizados, houve movimentação de soja partindo de Tibagi para o porto Paranaguá (PR) e para Ponta Grossa (PR). Em Cascavel, houve recebimento do grão 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, e Jesuítas, sendo que Cascavel também recebeu soja para seus terminais de transbordo, a partir de Boa Vista da Aparecida, Capanema, Catanduvas, Corbélia, Lindoeste, Nova Prata do Iguaçu, Realeza, Santa Lúcia e Três Barras do Paraná, além de fluxos no próprio município. Em Castro, o transporte da soja teve Ponta Grossa (PR) e o porto de Eugênio de Castro (RS) como destinos; nesse caso, mesmo que a quantidade produzida tenha sido menor do que em Cascavel (segundo maior produtor do Paraná), sua PHt é praticamente duas vezes maior, devido à maior distância ponderada.

Para o estado do Rio Grande do Sul, Tupanciretã, Cachoeira do Sul e Júlio de Castilhos são os maiores na produção. Em Tupanciretã, a soja foi recebida de pelo terminal de transbordo da cidade, a partir de Capão do Cipó (RS) e Progresso (RS), e houve escoamento dos grãos para o porto de Rio Grande (RS). Em Cachoeira do Sul, foram realizados fluxos no interior do próprio município e para o porto de Rio Grande (RS); nessas movimentações, constatou-se uma distância ponderada relativamente baixa, o que resulta em geração de menor PHt (assim como em Cascavel e Rio Verde). Em Júlio de Castilhos, ocorreu escoamento do grão para o porto de Rio Grande (RS) e recebimento 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 e Silveira Martins.

No Goiás, as cidades de Rio Verde, Jataí e Cristalina são os maiores destaques na produção. Em Rio verde, houve entrada de soja a partir dos municípios goianos de Acreúna, Amorinópolis, Iporá, Montividiu, Santa Helena do Goiás, Santo Antônio da Barra, e movimentações dentro do município em si; mesmo que tenha apresentado a maior produção do estado, possui PHt relativamente baixa, em comparação com Jataí e Cristalina, por conta da baixa distância ponderada. Em Jataí, o escoamento da soja ocorreu para o terminal de transbordo de São Simão e para rotas internas e, para o município de Cristalina, as rotas foram para o 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 foi transportada 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, por fim, 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).

4.2. Detalhamento dos fluxos de transporte realizados e análise da PHt por município

Os resultados obtidos evidenciam que há uma correlação diretamente proporcional entre a quantidade produzida de soja em toneladas e a distância rodoviária percorrida na geração da PHt. A Tabela 3, apresenta os dados referentes aos municípios com maior produção.

Tabela 3. 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 (m³).

Município	Estado	Quantidade Produzida (t.)	PH total do transporte rodoviário de soja (m³)	Distância (km)
Sorriso	MT	2.157.600,00	500.873.820,43	889,44
São Desiderio	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

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

Assim, constata-se que cidades como Sorriso (MT) e São Desidério (BA), os dois maiores produtores, detém PHt expressiva, ainda que a distância percorrida nos fluxos tenha sido relativamente menor; nos outros casos, como Sapezal (MT), Brasnorte (MT) e Ipiranga do Norte (MT), que são os três maiores geradores de PHt por município, observa-se que tanto as distâncias como os volumes produzidos foram expressivos.

De forma geral, pode-se identificar que há dois fatores que impactam as dimensões da pegada hídrica: Um efeito escala, referente a quantidade produzida e um efeito relacionado ao esforço logístico para a movimentação, representado pelas maiores distâncias. No ano em análise, a PHt nacional foi 14,95 bilhões de m³. Desse total, o estado do Mato Grosso, que representou 26,5% da produção da oleaginosa, foi responsável por 48,8% da PHt.

Em compensação, os estados do Paraná, segundo maior produtor, com 19 milhões de toneladas (16,64%) e do Rio Grande do Sul com 18,74 milhões de toneladas produzidas (16,35%), apresentaram respectivamente apenas 7,8% e 9,8% da PHt. Esses resultados evidenciam assim o impacto ambiental decorrente dos problemas logísticos. Uma vez que, o principal estado produtor está localizado distante dos principais portos de escoamento, localizados no Centro-Sul e dos principais mercados consumidores do país, considerando a produção de frangos e suínos, marcante na região Sul e grande demandante de soja para alimentação animal, e a maior população dos estados do Sul e do Sudeste, é evidente que a combinação dos dois fatores mencionados potencializam os danos ambientais.

Essas justificativas são corroboradas pelos resultados dos estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, por exemplo, que constam com uma vantajosa estrutura de escoamento próxima das cidades de origem nos estados, respectivamente os complexos portuários de Paranaguá (PR) e Rio Grande (RS). A Tabela 4 apresenta os resultados para os municípios com maior PHt.

Tabela 4. Análise dos 10 municípios com maior pegada hídrica total do transporte rodoviário de soja (m³) no Brasil, indicando a quantidade produzida de soja em toneladas.

Município	Estado	PH total do transporte rodoviário de soja (m ³)	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 Desiderio	BA	266.219.480,57	1.395.693,00	730,82

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

Com relação aos fluxos da soja no município de Sapezal (MT), município que apresentou a maior PHt, houve movimentações para exportação através do porto de Rio Grande (RS) e do terminal de transbordo de Porto Velho (RO), e carregamentos para Itacoatiara (AM). Em Brasnorte (MT) e Ipiranga do Norte (MT) a soja foi encaminhada para exportação pelo porto de Rio Grande (RS). O município de Querência (MT) movimentou para o mercado externo por meio do porto de Santos (SP) e dentro do mercado interno, em Bebedouro (SP) e

Orlândia (SP), enquanto o município de Porto dos Gaúchos (MT) houve exportação através do porto de Rio Grande (RS).

A partir de Formosa do Rio Preto (BA), o grão foi exportado pelos portos de São Luís (MA) e Salvador (BA) e, em Canarana (MT), o grão foi para exportação pelo porto de Santos (SP) e pelo terminal de transbordo de Araguari (MG). Em Maracaju (MS), a soja foi movimentada 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).

O município de Campo Novo do Parecis (MT), teve como destinos o porto de Rio Grande (RS) e o mercado interno, dentro do próprio município. Em Rio Verde houve escoamento dentro do próprio município, e rotas no mercado interno, para Acreúna (GO), Amorinópolis (GO), Iporá (GO), Montividiu (GO), Santa Helena de Goiás (GO) e Santo Antônio da Barra (GO). Por fim, a partir de Diamantino (MT), a soja foi movimentada para o Cuiabá (MT).

Com base nos resultados das tabelas 5 e 6, o município de Picada Café (RS) ocupa a 1ª posição em relação ao estado com menor quantidade produzida e menor valor em PHt. Esse fator é decorrente do baixo volume produzido e da baixa distância observada, em comparação com os outros municípios; quanto aos fluxos, Picada Café movimentou para Canoas (RS), no mercado interno. Viçosa (MG), 2º menor gerador de PHt, teve carregamentos para o mercado externo via terminal de transbordo em Santa Luzia (MG) e, a partir de Tramandaí (RS), 3º menor gerador de PHt, a soja foi entregue para Santa Rosa (RS).

Em Santa Maria do Herval (RS), o grão foi destinado ao mercado interno para Canoas (RS) e, em Três Coroas (RS), a soja teve como destino o porto de Imbituba (SC). Partindo de Montes Claros (MG), o grão foi para o mercado externo pelo terminal de transbordo em Pirapora (MG) e, em Curvelo (MG), houve exportação da soja pelo terminal de transbordo em Santa Luzia (MG). A cidade de Igrejinha (RS), 8ª colocada entre os municípios de com menor PHt, teve movimentações para o mercado interno em Guarani das Missões (RS) e Lacerdópolis (SC), os destinos também foram para o mercado interno: para Joaçaba (SC).

O município de Nova Roma do Sul (RS), 10º colocado quanto à PHt, teve Veranópolis (RS) como destino, no mercado interno e, dentre os municípios apresentados entre os menos produtores, ainda se encontram Fortaleza de Minas (MG), Lindóia (SP) e Lontras (SC); em Fortaleza de Minas o destino do grão foi o porto de Santos (SP), assim como no caso de Lindóia (SP). Por fim, Lontras (SC) destinou o produto para o mercado interno, para São Francisco do Sul (SC).

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

Município	Estado	Quantidade Produzida (t.)	PH total do transporte rodoviário de soja (m^3)	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).

Município	Estado	PH total do transporte rodoviário de soja (m^3)	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.

5. 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.

No âmbito municipal, o município mato-grossense de Sapezal foi o principal gerador de PH no transporte rodoviário da soja, por conta das elevadas quantidades de soja transportadas, somadas às grandes distâncias rodoviárias percorridas nas movimentações do grão; nesse sentido, Mato Grosso foi o estado que liderou a geração de PH no transporte por parte dos municípios, sendo que o estado apresentou-se como maior produtor de soja e maior gerador de pegada hídrica nos fluxos rodoviários analisados, assim como principal agente com relação à

água virtual da soja produzida no contexto nacional. Os estados da região Centro-Oeste e Sul, nesse sentido, também apresentaram resultados importantes, com destaque para o Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul, segundo e terceiro estados com maiores valores de PHt.

Tendo em vista os resultados encontrados e a predominância do modal rodoviário, que é um dos mais ineficientes 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, principalmente nas regiões nas quais a PH do transporte apresentou valores expressivos, como no Mato Grosso. 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 se tornou 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, gerando assim demanda para novos estudos com essa temática e com abordagens e objetivos diferentes, como por exemplo, identificar a importância de novos projetos de infraestrutura de transporte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 2030. Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável. 2020. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/6/>. Acesso em: 23 dez. 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2014/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2014.

ANA - 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-trilhaes-de-litros-de.2019-03-15.0186272020>. Acesso em: 4 jan. 2021.

BLINGER, T; KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e pegada hídrica: Estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. Recursos Hídricos. v. 36, n.1, p. 1-24, 2015.

BORDALO, C. A. O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), v. 21, n. 1, p. 120-137, 2017.

BORELLI, E. Economia política da água no Brasil. In: KON, A; BORELLI, E. (Org). Economia Brasileira em Debate: Subsídios ao Desenvolvimento. São Paulo: Blucher Open Access, 2017.

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

CENTRO REGIONAL DE INFORMAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Água. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acesso em: 6 jul. 2021.

CNA – Confederação Nacional da Agricultura. Panorama do Agro. Disponível em: < <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro> > Acesso em: 18 dez. 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 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_22d5c2503c386873a45685445c6685. Acesso em: 13 jan. 2021.

CORTEZ, B. P.; SPÍNOLA, D. A.; NEIVA, K. D. S.; SOUZA, M. D. S. L. Aplicação do Controle Estatístico de Processo: análise de parâmetros de umidade em grãos de soja em fábrica de alimentos. e-Revista Facitec, v. 10, n. 2, 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja em números (safra 2019/20). Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 15 dez. 2020.

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. FAO e CNA lançam estudo sobre agricultura irrigada brasileira. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1107498/>. Acesso em: 6 jul. 2021.

FITTON, N.; ALEXANDER, P.; ARNELL, N.; BAJZELJ, B.; CALVIN, K.; DOELMAN, J.; GERBER, J.S.; HAVLIK, P.; HASEGAWA, T.; HERRERO, M.; KRISZTIN, T.; VAN MEIJL, H.; POWELL, T.; SANDS, R.; STEHFEST, E.; WEST, P.C.; SMITH, P. The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity. *Global Environmental Change*, v. 58, p. 101944, 2019.

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

GIACOMIN, G.S.; OHNUMA, A. A. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, n. 8, p. 1562-1572, 2012.

GUDE, V. G. Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 16, n. 4, p. 591-609, 2017.

HE, C.; LIU, Z.; WU, J.; PAN, X.; FANG, Z.; LI, J.; BRYAN, B. A. Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2021.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. Manual de avaliação da pegada hídrica: estabelecendo o padrão global. São Paulo: Instituto de Conservação Ambiental, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal. Disponível em < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> > Acesso em: 28. abr. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Perdas de água potável (2021, ano base 2019): Desafios para a disponibilidade hídrica e ao avanço da eficiência do saneamento básico. Disponível em < <https://www.tratabrasil.org.br/estudos/perdas-de-agua> > Acesso em: 12 ago. 2021.

ONU - 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.

ROCHA, F. V. 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. Acesso em: 2021-01-20.

ROESLER, M.R.B. O Direito ao Meio Ambiente e a Água Saudável: avanços e desafios à governança compartilhada. *Sociedade em Debate*, v. 18, n. 1, p. 105-128, 2012.

SCHÖFFEL, E. R.; SACCOL, A. V.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural*, v. 31, p. 7-12, 2001.

SECEX – Secretaria de Comércio Exterior. Exportações. Disponível em < <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home> > Acesso em : 26. abr. 2021.

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, v. 10, n. 5, p. 17-22, 2015.