



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E CIÊNCIAS
ECONÔMICAS (FACE)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (PPGECON)

HERIS COUTINHO VIEIRA

Nexus água-energia-alimento no Brasil: Uma análise
quantitativa dos *trade-offs* e sinergias

GOIÂNIA

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E CIÊNCIAS ECONÔMICAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Heris Coutinho Vieira

3. Título do trabalho

NEXUS ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO NO BRASIL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA DOS
TRADE-OFFS E SINERGIAS

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Heris Coutinho Vieira, Discente**, em 05/03/2025, às 20:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Ferreira Silva, Professora do Magistério Superior**, em 05/03/2025, às 23:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5210172** e o código CRC **1D69EDFE**.

HERIS COUTINHO VIEIRA

**Nexus água-energia-alimento no Brasil: Uma análise
quantitativa dos *trade-offs* e sinergias**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, da Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Ciências Econômicas – FACE, da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de concentração: Economia Aplicada.
Linha de pesquisa: Métodos Quantitativos Aplicados e Mercados.

Orientador(a): Profa. Dra. Adriana
Ferreira Silva

GOIÂNIA
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Vieira, Heris Coutinho

Nexus água-energia-alimento no Brasil: Uma análise quantitativa dos trade-offs e sinergias [manuscrito] / Heris Coutinho Vieira. - 2025. LXV, 65 f.

Orientador: Profa. Dra. Adriana Ferreira Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Ciências Econômicas (FACE), Programa de Pós-Graduação em Economia, Goiânia, 2025.

Bibliografia. Anexos.

Inclui tabelas.

1. Nexus água-energia-alimentos. 2. Sinergias. 3. Trade-offs. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Silva, Adriana Ferreira, orient. II. Título.

CDU 33



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E CIÊNCIAS ECONÔMICAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 01/2025 da sessão de Defesa de Dissertação de Heris Coutinho Vieira, que confere o título de Mestre em Economia, na área de concentração em Economia Aplicada.

Aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco, a partir das quatorze horas e trinta minutos, por videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “NEXUS ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO NO BRASIL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA DOS TRADE-OFFS E SINERGIAS”. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora Adriana Ferreira Silva (PPGECON/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Sérgio Schneider (UFRGS), membro titular externo a Instituição e o Professor Doutor Cleyzer Adrian da Cunha (PPGECON/UFG), membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato aprovado pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Adriana Ferreira Silva, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Ferreira Silva, Professora do Magistério Superior**, em 25/02/2025, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cleyzer Adrian Da Cunha, Professor do Magistério Superior**, em 25/02/2025, às 18:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Schneider, Usuário Externo**, em 05/03/2025, às 19:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5146207** e o código CRC **EA3AE42B**.

Referência: Processo nº 23070.006770/2025-02

SEI nº 5146207

À memória de avô, Dercílio Rodrigues, que desde a infância sempre foi meu grande incentivador e referência de hombridade e caráter.

À memória de minha mãe, Eliza Coutinho, que sem dúvidas, hoje sentiria orgulho de acompanhar a trajetória e conquistas de seu filho.

Dedico esta dissertação ao senhor meu pai, Geraldo Eduardo, que nunca duvidou da minha capacidade e acredita em meus sonhos, mesmo quando eu os duvido.

Agradecimentos

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantas conquistas. Obrigado por me permitir aprender e crescer, tanto com os acertos, mas também pelos erros. Fator esse que me enriquece e aproxima cada vez mais ao senhor. Por Seu infinito amor e misericórdia, eu lhe agradeço hoje e sempre.

Agradeço, ao meu querido pai, Geraldo Eduardo, pela força e palavras durante essa trajetória acadêmica. Seu apoio, amor, companheirismo e bem-estar sempre foram e serão meus objetivos nessa passagem terrestre.

Aos meus avôs, *In Memoriam*, pelos ensinamentos de amor e carinho ao próximo e, principalmente, aos meus.

À minha tia, *In Memoriam*, Zenita Coutinho, ou melhor, Nita, senão irá brigar comigo por chamá-la assim. A agradeço eternamente por me ensinar o significado da palavra amor.

Aos meus amigos Juan Lima e Kaynnar Costa, pelo apoio e parceria nas horas de necessidade e tampouco, nos momentos de desespero momentâneo.

Agradeço, a minha orientadora Adriana Ferreira, pelos ensinamentos, paciência e palavras de encorajamento. Sua ajuda e apoio durante esses anos foram fundamentais para essa conquista e momento tão almejado.

A todos vocês, meu muito obrigado.

RESUMO

Esse estudo discute o tema do Nexus água-energia-alimento (FEW Nexus) no Brasil, em um contexto cuja demanda por recursos naturais está em crescente ascensão. De forma específica, o estudo tem como objetivo analisar as interações entre os eixos da água, energia e alimentos, identificando sinergias e *trade-offs* entre 42 indicadores nacionais. Utilizando o coeficiente de correlação de Spearman, foram exploradas as relações entre os eixos, com o intuito de promover políticas integradas e sustentáveis. Os resultados mostram que as interações são complexas, com predominância de sinergias no eixo de energia (76,36%) e no eixo de alimentos (59,46%), enquanto no eixo da água as sinergias (52,54%) e *trade-offs* (40,68%) estiveram mais equilibrados. No eixo da água, destacou-se a correlação positiva entre o volume de água tratada e a área de lagos e rios, mas também foram observados desafios relacionados à eficiência no uso da água e ao consumo em setores como irrigação e indústria. No eixo de energia, as fontes renováveis, como solar e eólica, mostraram-se fundamentais para reduzir emissões de CO₂ e melhorar a eficiência energética, embora a dependência de combustíveis fósseis ainda represente um desafio. No eixo de alimentos, a produção agrícola correlacionou-se positivamente com o uso eficiente de água e energia, mas *trade-offs* foram observados em relação à desnutrição e obesidade infantil, indicando que o aumento da produção nem sempre garante segurança alimentar para todos. As interações entre os eixos revelaram que a geração de energia renovável pode contribuir para a gestão sustentável da água, enquanto a dependência de combustíveis fósseis impacta negativamente a segurança alimentar. O estudo conclui que a abordagem do FEW Nexus é essencial para a formulação de políticas públicas que promovam sinergias e mitiguem *trade-offs*, visando a segurança hídrica, energética e alimentar no Brasil. Apesar das limitações relacionadas à disponibilidade de dados e à complexidade das interações, entende-se que a análise oferece insights valiosos para a construção de sistemas agroalimentares mais sustentáveis e resilientes.

Palavras-chave: Nexus água-energia-alimentos; Sinergias; *Trade-offs*; Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

This study examines the Water-Energy-Food Nexus (FEW Nexus) in Brazil, focusing on the increasing demand for natural resources and the interactions between water, energy, and food sectors. Specifically, the research aims to analyze the relationships among these sectors by identifying synergies and *trade-offs* between 42 national indicators. Using Spearman's correlation coefficient, the study explores these interactions to promote integrated and sustainable policies. The results reveal complex dynamics, with a predominance of synergies in the energy (76,36%) and food (59,46%) sectors, while the water sector showed a more balanced distribution of synergies (52,54%) and *trade-offs* (40,68%). In the water sector, a positive correlation was observed between treated water volume and the area of lakes and rivers, but challenges related to water use efficiency and consumption in irrigation and industry were also identified. In the energy sector, renewable sources such as solar and wind energy proved essential for reducing CO₂ emissions and improving energy efficiency, although the reliance on fossil fuels remains a significant challenge. In the food sector, agricultural production correlated positively with efficient water and energy use, but *trade-offs* were observed concerning child malnutrition and obesity, indicating that increased production does not always ensure food security for all. Interactions between sectors revealed that renewable energy generation can contribute to sustainable water management, while dependence on fossil fuels negatively impacts food security. The study concludes that the FEW Nexus approach is crucial for designing public policies that enhance synergies and mitigate *trade-offs*, aiming to achieve water, energy, and food security in Brazil. Despite limitations related to data availability and the complexity of interactions, the analysis provides valuable insights for building more sustainable and resilient agri-food systems.

Keywords: Water-Energy-Food Nexus, synergies; trade-offs, sustainable development.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	Referencial Teórico: A Emergência da Abordagem Nexus.....	16
2.2	Origem e Avanços	17
2.3	Referencial Empírico.....	22
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	Dados e fontes.....	26
4	RESULTADOS: INTERAÇÕES DO FEW NEXUS	29
4.1	Análise das Relações Pelos Eixos: Água, Energia e Alimentos	29
4.2	Análise das Interações Entre os Eixos do FEW Nexus	33
4.3	Síntese das Interações Estimadas no Estudo.....	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
6	REFERÊNCIAS.....	47
	ANEXOS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O atual sistema de produção agroalimentar é caracterizado por elevado rendimento da produção agrícola, sendo baseado no uso intensivo de agroquímicos e maquinários. Voltado à maximização do rendimento dos fatores de produção (capital trabalho e terra), a busca pelo aumento da produtividade agrícola passou a ser compreendido como essencial para sustentar o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico desde meados do século XX. Desde então, a métrica do rendimento tornou-se aspecto central da produção agrícola (Pingali, 2012; Depecker; Vatin, 2016; DeFries *et al.*, 2015).

Embora tenha favorecido o aumento da produção e redução dos preços dos alimentos, esse modelo trouxe consigo efeitos adversos não desejáveis. Ao se concentrar no aumento da produtividade, foram desconsiderados aspectos relacionados à sociedade, ao meio ambiente e a economia (Zurek *et al.*, 2022; Cassidy *et al.*, 2013). Sob aspecto ambiental, o uso intensivo de fertilizantes e defensivos levou à contaminação e degradação do solo e dos recursos hídricos. Socioeconomicamente registrou-se deslocamento forçado de médio e pequenos agricultores e aumento da desigualdade no meio rural, culminando na perda da diversidade agrícola de cultivos locais e tradicionais em favor de variedades de alto rendimento (Pingali, 2012; Cassidy *et al.*, 2013).

Diante desses efeitos, modelos agrícolas mais sustentáveis têm sido propostos, visando integrar princípios ecológicos e sociais na produção de alimentos. Sloat *et al.* (2023) destacam que novos sistemas de produção estão cada vez mais focados na preservação dos recursos naturais e no aumento da resiliência dos sistemas agrícolas. Esses avanços buscam mitigar os efeitos adversos do atual modelo agroalimentar e das implicações decorrentes das mudanças climáticas.

Nesse contexto, à medida que esses modelos avançam, novas métricas para avaliar o rendimento agrícola também evoluem, indo além das medidas convencionais que se baseiam na maximização dos fatores de produção. Nicolétis *et al.* (2019) ao refletir sobre o tema destaca a necessidade de avançar em medidas que incluem múltiplos indicadores, como a abordagem integrada da “*landscape scale*”, que contempla os *trade-offs* e sinergias entre a provisão de serviços ecossistêmicos. Com uma ampla discussão de estudos ao redor do mundo, Nicolétis *et al.* (2019), também destaca modelos que tratam da inclusão de serviços ecossistêmicos, como ciclos de energia e materiais, armazenamento de carbono, manutenção da fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes,

que são fundamentais para a produção sustentável e a saúde dos ecossistemas. Também enfatiza a importância da valoração econômica das decisões de uso de terra e água associadas à produção de alimentos que levam em conta diversos serviços ecossistêmicos, incluindo aqueles que normalmente não são negociados no mercado e que geram externalidades não contabilizadas nas medidas de desempenho convencionais.

Em conjunto, estas métricas refletem mudanças em direção a avaliações holísticas e multidimensionais da agricultura, que consideram impactos sociais, econômicos e ecológicos mais amplos, além da produtividade agrícola tradicionalmente medida somente em termos de rendimento por fatores de produção (Nicolétis *et al.*, 2019). Estas alternativas se tornaram ainda proeminentes à medida que se desenvolve métricas de "footprint" (ou pegada de carbono) mostrando que a agricultura é intensa em emissões de CO₂. Já Pretty *et al.* (2005) destaca que a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis não apenas ajuda a reduzir o impacto ambiental da agricultura, mas também promove a resiliência dos sistemas agrícolas diante das mudanças climáticas e das ameaças à segurança alimentar (Nicolétis *et al.*, 2019). Seja para as diferentes alternativas, constata-se que a busca por novos paradigmas no sistema de produção agroalimentar avança para abordagens holísticas que consideram a interdependência entre os sistemas agrícolas, o meio ambiente e a sociedade (GFAR, 2023; Zurek *et al.*, 2022; Cassidy *et al.*, 2013).

Dentro desse contexto, a atual busca por um novo paradigma no sistema de produção agroalimentar tem levado a um interesse renovado na abordagem do FEW Nexus (ou Nexus Água-Energia-Alimentos). Essa abordagem reconhece a interconexão entre água, energia e alimentos, e busca entender e gerenciar tais inter-relações de forma mais eficiente e sustentável, reconhecendo que a disponibilidade e qualidade desses recursos estão intimamente ligadas (Flammini, *et al.*, 2014; Albrecht *et al.*, 2018).

Ao considerar esses três elementos de forma integrada, a abordagem FEW Nexus permite identificar oportunidades para melhorar a eficiência e reduzir os impactos negativos sobre o meio ambiente. Como técnica, essa abordagem tem ganhado espaço nas discussões sobre os sistemas agroalimentares, uma vez que promove uma abordagem holística e integrada para a tomada de decisões e o desenvolvimento de soluções integradas que garantam sistemas agroalimentares capazes de fornecer alimentos suficientes, seguros e nutritivos para todos. Em paralelo, ao considerar os desafios da escassez de recursos, crescimento populacional e mudanças climáticas, a abordagem FEW Nexus colabora para integrar medidas multidimensionais e interdisciplinares de

investigação, colaborando para soluções que aprimorem a segurança hídrica, energética e alimentar por meio de uma abordagem abrangente (Allouche *et al.*, 2019; Flammini, *et al.*, 2014).

Por se tratar de uma abordagem holística e integrada, desafios quanto ao emprego de métricas padronizadas e à coleta de dados abrangentes podem surgir. Nicolétis *et al.* (2019), destacam a importância de ferramentas e metodologias que possam captar a complexidade das inter-relações entre água, energia e alimentos. Nesse contexto, a abordagem do FEW Nexus também implica na necessidade de uma colaboração estreita entre diferentes disciplinas, setores e atores, visando a construção de soluções que considerem as múltiplas dimensões envolvidas.

Entende-se, portanto, que a abordagem do FEW Nexus representa um avanço na busca por sistemas agroalimentares mais sustentáveis e resilientes. Ao reconhecer a interconexão entre água, energia e alimentos, tal abordagem oferece a possibilidade de desenvolver soluções inovadoras e adaptáveis, capazes de enfrentar os desafios complexos que envolvem a produção agrícola e a segurança alimentar.

No Brasil, a abordagem do FEW Nexus ainda tem sido pouco explorada, sendo tal abordagem empregada em contextos específicos, como na gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, na busca por alternativas energéticas sustentáveis para a produção agrícola e na promoção de práticas agroecológicas que visam a segurança alimentar e o manejo adequado dos recursos naturais (Giatti *et al.*, 2016; Silva; Vianna, 2022; Albrecht *et al.*, 2018). Em paralelo, as análises quantitativas sobre a inter-relação entre os eixos do FEW Nexus ainda são limitadas no contexto brasileiro. Conforme destacado por Newell *et al.* (2019), nas pesquisas qualitativas voltadas para a exploração do FEW Nexus, predomina a abordagem das ciências ambientais, enquanto as ciências sociais permanecem negligenciadas.

O presente estudo se insere nesse contexto buscando compreender como a abordagem FEW Nexus pode auxiliar na construção dos sistemas agroalimentares sustentáveis. Para atingir tal objetivo, o estudo é realizado por meio de uma análise quantitativa das sinergias e *trade-offs* presentes entre 42 indicadores nacionais relacionados ao FEW Nexus. De forma específica, tem por objetivos:

- i. Estimar por meio de coeficientes de correlação e diagramas de dispersão, a relação entre os indicadores nacionais relacionados ao FEW Nexus, ou Nexus água-energia-alimento.

- ii. Identificar as sinergias e *trade-offs* existentes entre os indicadores para promover a integração de políticas sustentáveis.
- iii. Avaliar e discutir as interações entre água, energia e alimentos para priorizar políticas de gerenciamento de recursos mais eficazes.

Essas análises buscam contribuir com métricas de avaliação do FEW Nexus, avançando na compreensão das interações e destacando a natureza interconectada entre água, energia e alimento. Entende-se que essa abordagem fornece informações valiosas para orientar políticas públicas voltadas à criação de sistemas sustentáveis de gestão de recursos.

Além desta introdução e contextualização do tema, o presente estudo é composto por mais quatro seções. A próxima seção denota o referencial teórico e escopo conceitual da pesquisa. A terceira estabelece os métodos utilizados. Na quarta seção mostram-se os resultados obtidos na análise. Já a quinta seção apresenta as conjecturas obtidas durante todo o estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O objetivo deste capítulo é apresentar uma revisão da literatura a respeito do Nexus água-energia-alimento (FEW Nexus), assim como as abordagens e aplicações que o tema detém na literatura atual. É feita uma análise tanto dos estudos internacionais como conceitos, origem e a aplicabilidade do FEW Nexus em geral. Enquanto, em estudos empíricos nacionais apresenta-se a aplicação em aspectos regionais e locais.

2.1 Referencial Teórico: A Emergência da Abordagem Nexus

A abordagem FEW Nexus foi proposta pelo Instituto Ambiental de Estocolmo em 2011, no relatório "Water, Energy, and Food Security FEW Nexus: Solutions for the Green Economy." Esta abordagem destaca a importância de considerar as interconexões entre água, energia e alimentos para atender às necessidades sociais, ambientais e econômicas do país. De acordo com (Kaddoura; El Khatib, 2017), a abordagem FEW Nexus tem se destacado por sua capacidade de integrar aspectos sociais, ambientais e econômicos do país, possibilitando a identificação de possíveis compensações. Quando comparada aos modelos convencionais relacionados a indicadores de produtividade por área, a capacidade de integração presentes no FEW Nexus se destaca por sua capacidade de integrar de forma holística os aspectos fundamentais da produção agroalimentar, destacando oportunidades para melhorar a eficiência e reduzir os impactos negativos sobre o meio ambiente.

No que diz respeito à métrica, os estudos que fazem uso abordagem do FEW Nexus tem buscado combinar métodos de avaliação quantitativos e qualitativos, realizando ajustes conforme o foco, disponibilidade de dados e as prioridades da sociedade. Essa flexibilidade apresenta vantagens significativas, pois permite a adaptação da avaliação às especificidades de cada contexto e a consideração de aspectos qualitativos que podem ser difíceis de capturar apenas por meio de métricas quantitativas.

Além disso, a abordagem oferece a vantagem de promover a integração de diferentes disciplinas e setores, incentivando a colaboração entre especialistas em água, energia, alimentos, sustentabilidade e outros campos relevantes. Isso contribui para uma compreensão mais holística dos sistemas agroalimentares e para o desenvolvimento de soluções mais abrangentes e efetivas.

Apesar das vantagens, a abordagem FEW Nexus também apresenta desafios, especialmente no que diz respeito à coleta de dados abrangentes e à análise integrada das inter-relações entre água, energia e alimentos. A integração de diferentes fontes de dados e a consideração de variáveis complexas requerem esforços significativos para garantir a precisão e relevância das análises realizadas dentro desse enfoque. A dificuldade de emprego de métricas padronizadas e à coleta de dados abrangentes para captar a complexidade das inter-relações entre água, energia e alimentos estão entre as principais críticas à abordagem (Liu *et al.*, 2018; Dargin *et al.*, 2019; Endo *et al.*, 2015a, 2015b)

Paralelamente, a abordagem FEW Nexus, proposta originalmente, teve seu foco voltado a contextos globais e, portanto, abrangente. Nesse sentido, sua aplicabilidade em análises mais específicas e de menor dimensão geográfica precisa ser adaptada, destacando que as soluções que podem promover um uso mais eficiente e sustentável dos recursos naturais em diferentes regiões (Zhang *et al.*, 2019). No caso do Brasil, caracterizados por heterogeneidades regionais e sociogeográficas, ainda são necessários estudos e adaptações para compreender a viabilidade e eficácia da abordagem em um contexto tão diversificado quanto o agrícola brasileiro.

Essa seção busca evidenciar de forma breve a emergência do tema, destacando a importância da abordagem FEW Nexus na integração de fatores sociais, econômicos e ambientais de forma a garantir que as estratégias desenvolvidas sejam realmente eficazes e atendam às necessidades específicas locais na implementação da abordagem FEW Nexus. Ao longo desse estudo, maiores discussões sobre as práticas e políticas que podem ser implementadas para otimizar a gestão dos recursos hídricos, energéticos e alimentares serão apresentadas, buscando identificar modelos de sucesso que possam ser replicados em outras áreas do Brasil.

2.2 Origem e Avanços

Conforme a Conferência de Bonn, em 2011, o tema “Nexus água-energia-alimentos e Segurança Alimentar: Soluções para uma Economia Verde”, se tornou um importante fator a ser explorado e debatido entre os países, devido aos riscos futuros para a humanidade. O governo Alemão organizou tal debate juntamente com The World Economic Forum (WEF) para que no Rio+20, na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, em 2012, o assunto fosse mais debatido e compreendido,

como por exemplo, a meta global do clima e a minimização de danos das mudanças ambientais (Justino, 2023).

Como resultado de tal debate corroborou para a criação do programa de recursos Nexus¹ que é o principal centro de conhecimento global para gestão do Nexus água, energia, alimentos e segurança alimentar, além disso, o programa oferece cursos educacionais, livros e publicações, ferramentas e bancos de dados e treinamentos sobre o Nexus.

Atualmente, a ideia principal do conceito de FEW Nexus é entender as relações e colaborações entre diferentes elementos, buscando minimizar as interdependências e compensações entre as cadeias de produção e fornecimento de recursos escassos. Isso é crucial para diminuir a fragilidade e suscetibilidade de grupos populacionais no mundo (Hoff, 2011).

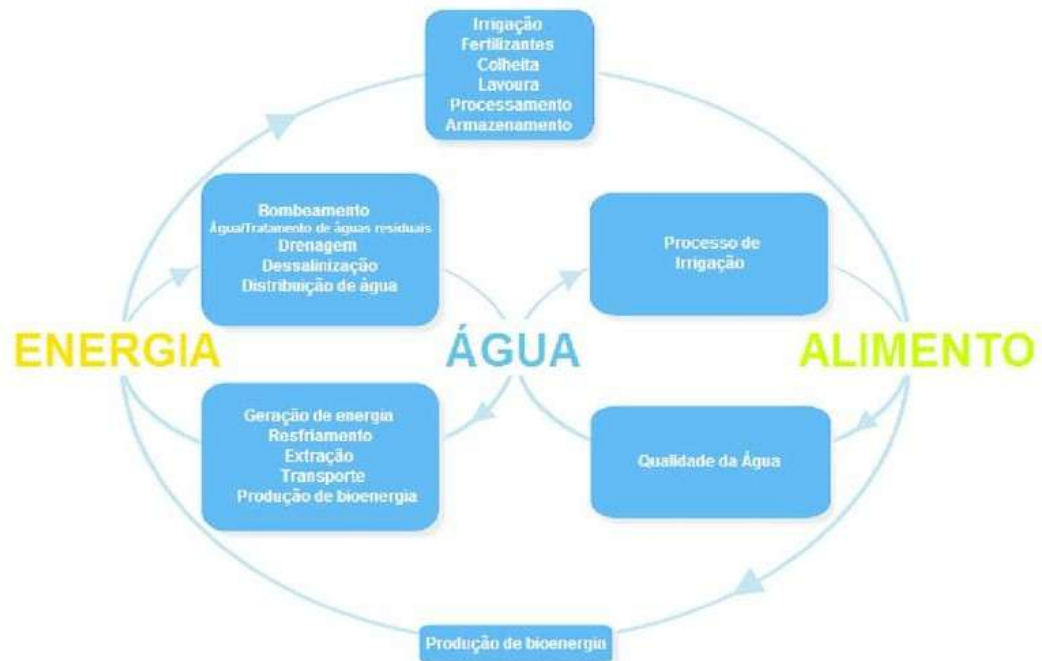
Uma das primeiras apresentações claras do conceito de FEW Nexus surgiu à discussão sobre as previsões dos biocombustíveis como fontes de energia que ajudam a reduzir as emissões de carbono (Valin *et al.*, 2015). Dessa forma, a abordagem Nexus reafirma as inter-relações entre água, energia e alimentos, ao defender a criação de sistemas que potencializem as sinergias e minimizem os conflitos entre as demandas de diferentes setores, além de melhorar a eficiência no seu uso na agricultura (Bazilian *et al.*, 2011). Não obstante, Carmona-Moreno *et al.* (2021) reforça que implementar esse tipo de abordagem integrada, em vez de um pensamento fragmentado e individual por setores, poderia favorecer a elaboração de soluções mais eficazes para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

A Figura 1 sintetiza de forma esquemática o atual conceito do FEW Nexus, destacando as interdependências entre esses sistemas e como eles se influenciam mutuamente. A representação enfatiza as sinergias, como o uso de energias renováveis que reduzem o consumo de recursos hídricos, e os *trade-offs*, como o aumento da irrigação agrícola que pode comprometer a geração de energia hidroelétrica. Tal representação foi desenvolvida com base no relatório da IRENA (2015), e serve como um modelo conceitual para guiar políticas públicas, promovendo o uso eficiente e sustentável dos recursos, minimizando impactos negativos e maximizando benefícios

¹ Documento de referência da Conferência disponível em: http://www.water-energy-food.org/en/bonn_2011_process/show_50_understanding_the_nexus.html

mútuos entre os setores, com o objetivo de garantir a segurança hídrica, energética e alimentar.

Figura 1 – Representação do Nexus água-energia-alimento



Fonte: IRENA (2015).

Conforme explorado também por Biggs *et al.* (2015), o significado de Nexus água-energia-alimentos pode ser definido como um meio de atingir o desenvolvimento sustentável, principalmente, quanto aos meios de subsistência. Cujos objetivos são definir uma estrutura integrada para avaliar e monitorar a segurança do Nexus em níveis institucionais, buscando sempre a equidade e equilíbrio na utilização e demanda desses recursos escassos, como a água e energia.

Putra *et al.* (2020) abordam que o FEW Nexus investiga interconexões entre diferentes setores do Nexus que podem ser geralmente consideradas como sinergias, nos quais os avanços em um setor proporcionam que outro setor também avance e cresça. Já quanto às compensações, o contrário ocorre, os avanços de um setor dificultam que os avanços de outro se desenvolvam.

Para Lui *et al.* (2018) avanços na abordagem FEW Nexus poderia contribuir para que os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU sejam alcançados, afinal, a erradicação da fome, água potável e saneamento, energia limpa e acessível são

objetivos que estão intrinsecamente conectados com o FEW Nexus. Nesse sentido, a necessidade da definição de métricas e compreensão de como as interações entre os setores do FEW Nexus ocorrem, auxiliam no avanço dos estudos e no aprimoramento da segurança do Nexus, assim como, proporciona que os objetivos citados acima, ocorram através das tentativas de maximizar as sinergias e minimizar os compromissos (Stephan *et al.*, 2018).

Não obstante, Srivastava e Mehta (2014) apontam que perspectiva do FEW Nexus estabelece um caminho para um diálogo voltado ao desenvolvimento entre comunidades políticas isoladas, especialmente em nível global, além de permitir a definição de metas globais que orientarão os incentivos em âmbito global. Além disso, o relatório elabora em 2014 pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO, auxiliou na definição do conceito do FEW Nexus e, principalmente, na criação de uma maneira sistemática para que ocorra a avaliação do Nexus de forma participativa perante os tomadores de decisão local.

Nesse sentido, o relatório intitulado *Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Contexto of the Sustainable Energy for All Initiative* apontou um conjunto de informações que resultaram em quatro maneiras de avaliação do Nexus para que as políticas públicas sejam mais assertivas: primeiramente, a avaliação auxilia de forma gradual, robusta e econômica os tomadores de decisão por haver uma estrutura de abordagem Nexus. Segundo, auxilia na avaliação e comparação nas diversas opções de respostas dos questionários dos projetos potenciais, por exemplo. A terceira maneira de ajudar os tomadores de decisão é no apoio na identificação de equipes multidisciplinares para analisar de forma integrada os impactos e avaliações sustentáveis e, por fim, ajudar na implementação de intervenções diretas, além de uma base de planejamento de treinamento na região, estado ou país. (FAO, 2014).

Tais discussões a respeito do conceito e abordagem atual do FEW Nexus partem de interações complexas, o que exige avaliações integradas e colaborativas entre os diversos campos de estudos e setores, promovendo a eficiência no uso de recursos e a sustentabilidade ambiental. O fato é que essa abordagem integrada não apenas facilita a identificação de oportunidades para otimização, mas também fortalece a resiliência das sociedades frente aos desafios socioeconômicos relacionados à tríade água-energia-alimento. Esse estudo se insere nesse contexto, buscando avançar na compreensão das dinâmicas do FEW Nexus, propondo um quadro que permita a análise e implementação de estratégias mais eficazes para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, energéticos e alimentares.

2.3 Referencial Empírico

No presente estudo os indicadores identificados que influenciam o Nexus água-energia-alimento foram selecionados com base nos critérios definidos em estudos já realizados. Como já mencionado, o debate acerca do tema na ONU e nas Conferências ao redor do globo, fortaleceu a compreensão do Nexus na aplicabilidade e para fomentar o desenvolvimento sustentável. Contudo, de acordo como detalhado por Benites-Lazaro *et al.* (2020), essa abordagem FEW Nexus é vista como uma estratégia com potencial para otimizar os compromissos entre os setores de água, energia e alimentos. Ela viabiliza uma integração coordenada, representando um passo crucial para assegurar a estabilidade dos recursos em meio ao cenário global das mudanças climáticas.

A pesquisa desenvolvida por Moioli *et al.* (2018) evidenciou como os efeitos da mudança no uso da terra, provocados pelo cultivo de plantas para biocombustíveis, podem entrar em conflito com a necessidade de terras para a produção de alimentos. Além disso, esses impactos também podem aumentar o consumo de água para promover a expansão das atividades agrícolas, por isso, a estrutura bem definida do FEW Nexus, de forma integrada e robusta, auxilia na eficiência dos recursos, como a bioenergia (Viccaro *et al.*, 2022).

Simultaneamente, no contexto da formulação de políticas públicas, o FEW Nexus é exibido como um modelo de governança, ou melhor, uma governança sustentável. Esse modelo reflete a necessidade de estabelecer um diálogo entre diversos setores e stakeholders, visando identificar soluções para a gestão sustentável dos recursos naturais (Giatti *et al.*, 2020).

No caso do Brasil, destaca-se em especial, os estudos de Giatti *et al.* (2016), Guimarães e Pedrozo (2021), e Silva e Vianna (2022), que analisaram respectivamente, “O Nexus água-energia-alimentos no contexto da Metrópole Paulista”; “Nexus água-energia-alimentos e Floresta: uma integração necessária”; “A região de MATOPIBA (Brasil) e o Nexus água-energia-alimentos”.

No caso de Giatti *et al.* (2016), a análise do ensaio referiu-se aos desafios da aplicação do Nexus ao contexto da Macrometrópole Paulista, cujo um dos problemas abordados do estudo foi o fornecimento de energia elétrica para as indústrias, tendo em vista que o projeto da represa Billings que foi criado justamente para geração de energia para São Paulo não foi suficiente ao longo do tempo. Tampouco, devido o rápido desenvolvimento econômico, os acelerados crescimentos demográficos da região, além de alterações no solo, auxiliaram uma grave escassez hídrica entre os anos de 2014 e 2015.

Ainda no contexto de São Paulo, o estudo acima objetivou fomentar o debate acerca do Nexus para ações sinérgicas quanto ao provimento de energia e o uso dos escassos recursos hídricos que impactam a eficiência energética da região. Outra inferência foi a transferência da atividade agrícola paulista para áreas periféricas e, principalmente, para proximidades das cabeceiras dos rios, o que ocasionou um aumento no custo energético e financeiro da distribuição de alimentos.

Em Guimarães e Pedrozo (2021) a discussão voltou-se a analisar se há possibilidade de integrar a floresta ao Nexus água-energia-alimentos, com vistas a não comprometer as demandas futuras e, como isso, poder contribuir para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O estudo demonstrou que é possível integrar a floresta ao Nexus, além da dependência humana de recursos hídricos, do solo fértil e a proteção das florestas. Sobretudo, conclui-se que o elemento água tem uma sinergia primordial entre os demais elementos do Nexus em relação a floresta.

Já em Silva e Vianna (2022), o estudo de caso concentrou-se em identificar potenciais conflitos no uso da água nos grandes complexos agrícolas e na geração de energia elétrica, haja visto o crescimento de empreendimentos de agricultura irrigada na região do MATOPIBA e a criação de grandes barragens nas principais regiões hidrográficas que fazem parte da fronteira agrícola. De acordo com o estudo, os resultados demonstraram um agravamento do uso racional, eficiente e equilibrado da água na região da fronteira agrícola. Tampouco, ressaltou a sugestão que o protagonismo do setor agropecuário e de produção elétrica nesta região deva ser revisto em virtude da segurança hídrica, alimentar e energética para sociedade inserida nesses estados que pertencem ao MATOPIBA.

Ainda é possível pontuar, o estudo de Feitosa *et al.* (2021) que analisou o Nexus da agricultura familiar, energias renováveis e construção de mercado no Estado do Rio grande do Norte. Como resultados, evidenciou-se a importância que a energia eólica tem para os agricultores da cooperativa no que tange ao desenvolvimento da região rural, contudo, as instalações nas regiões ainda são deficitárias e o uso dessa energia renovável proporcionaria um aumento na produção de alimentos e na construção de mercados.

Semelhante aos trabalhos anteriores, Soares e Silva (2022) conduziram um estudo de caso qualitativo para analisar a abordagem FEW Nexus nas ações das cooperativas que integram a RedeCoop, no Estado do Rio grande do Sul. Os resultados encontrados mostram que a RedeCoop exerce influências diretas e indiretas aos cooperados. Dentre os fatores encontrados, o acesso à energia elétrica em todas as propriedades rurais e o

fomento ao uso de energias renováveis é viável economicamente apenas quando atrelada a produção. A respeito da segurança alimentar, as cooperativas ressaltaram o acesso ao crédito rural para o financiamento da produção agrícola e, quanto a segurança hídrica, não há um controle de quantos produtores tem acesso a água potável e saneamento básico.

Tais estudos demonstram os esforços em compreender as sinergias e *trade-offs* presentes na gestão dos recursos naturais e produtivos, buscando um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental. O fato é que estudos com a abordagem FEW Nexus ainda são restritos na literatura brasileira. Para além da falta de integração entre as políticas públicas que promovam soluções integradas entre os setores, entende-se que a pesquisa interdisciplinar é frequentemente limitada, resultando em uma compreensão fragmentada das interações entre água, energia e alimentos.

Nesse contexto, a necessidade de promover uma abordagem holística se torna evidente, pois somente por meio da colaboração entre os diferentes setores será possível enfrentar as questões complexas relacionadas ao uso sustentável dos recursos naturais.

1 METODOLOGIA

No presente estudo, os indicadores relacionados a Nexus água-energia-alimento foram selecionados com base nos critérios definidos em estudos já realizados. Simpson *et al.* (2020) desenvolveram um indicador composto que mensura o Nexus utilizando um método desenvolvido pela Comissão Europeia. Já Flamini *et al.* (2014) propuseram índices abrangentes para determinar as interações entre os setores do FEW Nexus. Além disso, Bizikova *et al.* (2013) definiram a utilização, o acesso, e disponibilidade dos indicadores centrais do FEW Nexus e categoriza-os ainda mais.

Nesse estudo o foco é identificar matematicamente as sinergias e *trade-offs* entre os eixos do FEW Nexus, seguindo a abordagem metodológica sugerida por Pradhan *et al.* (2017), que analisaram as interações entre os objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), utilizando um conjunto abrangente de indicadores oficiais. Para isso, os dados de 227 países foram avaliados por meio da correlação de Spearman.

Além disso, esta abordagem também foi utilizada por Putra *et al.* (2020), que conduziu uma análise sistemática da segurança do FEW Nexus no sul da Ásia, onde encontraram uma parcela maior de *trade-offs* que sinergias nos eixos de água e energia, além de uma parcela maior de sinergias que *trade-offs* entre os eixos do FEW Nexus. Quanto a pesquisa de An (2022), os resultados mostraram que na Coreia do Sul, as interações que envolvem energia foram mais expressivas, em particular, no tocante as energias renováveis que sinalizaram uma melhoria da estrutura FEW Nexus. Por fim, Hao *et al.* (2022), propôs uma nova estrutura analítica para avaliação da segurança do FEW Nexus em cinco países da Ásia central, além de políticas públicas voltadas para mitigar os efeitos da escassez de recursos, como priorizar a alocação e fornecimentos de alimentos para os países analisados.

No presente estudo, a metodologia adotada seguiu a abordagem proposta por Pradhan *et al.* (2017) para identificar matematicamente as interações entre 42 indicadores de segurança do FEW Nexu, classificando tais interações como sinergias (positivas) e *trade-offs* (negativas). Para isso, foi aplicada a correlação de Spearman, uma técnica estatística não paramétrica que permite avaliar relações monotônicas entre variáveis,

sendo menos sensível a outliers e adequada para detectar tantas sinergias (correlações positivas) quanto *trade-offs* (correlações negativas).

A seleção das variáveis seguiu as experiências anteriores de An (2022) e Hao et al. (2022), mas foram adaptados à realidade brasileira referente aos eixos da água energia e alimentos, de forma a evitar interpretações equivocadas e minimizar o risco de identificar falsas correlações, permitindo uma análise mais precisa das interdependências entre os eixos do FEW Nexus.

Nessa abordagem metodológica, um sinal positivo foi atribuído aos indicadores que melhoraram o cenário agroalimentar do FEW Nexus, neste caso, quando o valor do indicador escolhido aumentar. Enquanto, um sinal negativo foi atribuído aos indicadores que reduziram a segurança da eficiência de um dos setores do FEW Nexus.

O coeficiente de correlação de postos de Spearman, desenvolvido pelo estatístico Charles Spearman, em 1904, é uma medida não paramétrica que avalia a força e a direção da associação monotônica entre duas variáveis. Essa técnica exige que as variáveis X e Y, cuja relação se deseja analisar, sejam mensuradas, no mínimo, em uma escala ordinal, permitindo a ordenação dos dados sem pressupor distribuições específicas. Em situações em que as variáveis quantitativas não seguem uma distribuição conjunta normal bivariada, o coeficiente de Spearman apresenta-se como uma alternativa robusta ao coeficiente de correlação de Pearson, pois não depende da suposição de linearidade e é menos sensível à presença de outliers (Siegel, 1975). No presente estudo, o coeficiente de correlação de Spearman foi calculado usando a seguinte equação:

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n^2-1)} \quad (1)$$

onde a sigla (r_s) é o coeficiente de correlação de classificação de Spearman, (d) é a diferença nas classificações entre os itens e (n) é o número de pares de observações.

O coeficiente de correlação varia de -1 a 1, com um valor de 1 indicando uma forte correlação positiva, -1 indicando uma correlação negativa e 0 indicando nenhuma correlação (Myers *et al.*, 2013). No entanto, ao contrário da análise de correlação de Pearson, a correlação de classificação de Spearman pode identificar as correlações para relações não lineares e pode ser aplicada a dados discretos e ordenados, se os dados puderem ser classificados.

Uma vantagem adicional dos testes não paramétricos de Spearman é a não limitação quanto à avaliação de correlações lineares, já que a relação entre as variáveis é monotônica (Miot, 2018). Logo, significa que deve haver um comportamento gradual e consistente na mesma direção (crescente ou decrescente) ao longo de todo o domínio de dados. Cada teste de correlação de Spearman apresenta um coeficiente individualizado, que demanda uma interpretação própria para cada variável analisada.

Em contrapartida, Miot (2018) destaca que a limitação do uso de correlação de postos de Spearman são de natureza inferencial, ou seja, as análises de especulação baseiam-se na incapacidade de extrapolação das conclusões para outros tópicos de dados ou para paisagens diferentes dos estudados.

Outra limitação do método, conforme Miot (2018), é que as análises de correlação não foram originalmente desenvolvidas para prever valores ou inferir a contribuição de diversas variáveis na explicação de um determinado aspecto. Para esses propósitos, existem técnicas específicas, como a regressão e as análises multivariadas.

1.1 Dados e fontes

As informações e base de dados utilizadas no presente estudo foram obtidas por meio de diversas fontes, com destaque para por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; Ministério das Cidades através da base de dados (SNIS); Organização das Nações Unidas no tocante aos objetivos do desenvolvimento sustentável; Mapbiomas que é um projeto do Observatório do Clima onde produz o mapeamento anual da cobertura e uso do solo (MAPBIOMAS); Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA); Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); Ministério da Saúde por meio do Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional (SISVAN).

Neste sentido, três outros organismos internacionais compõe a Tabela 1, o Banco de Dados Estatísticos Corporativos da Organização para a Alimentação e Agricultura (FAOSTAT), cujo os dados são fornecidos por um conjunto de bancos de dados globais, no qual é mantido e atualizado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, além de informações da Agência Internacional de Energia (IEA) e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Na identificação das variáveis (Tabela 1), é atribuída a inicial *W* para relacionar os indicadores ligados ao eixo da “Água”, a inicial *E* para Energia e *F* para relacionar a Alimentação. Cada um dos três eixos foi composto por 14 indicadores descritos, totalizando 42 indicadores a serem analisados conforme suas correlações e avaliações quanto a sinergia e *trade-offs*.

Não obstante, no anexo deste estudo, encontra-se a Tabela A1, no qual consta a descrição completa das variáveis e indicadores, além dos respectivos valores que foram empregadas no cálculo das correlações de Spearman para cada eixo analisado do FEW Nexus. Além disso, a seleção das variáveis do presente estudo para o Brasil, foi condizente ao estudo realizado pela Daehan An, em 2022, no qual definiu variáveis para avaliar o FEW Nexus para a Coreia do Sul. Todavia, por questões de disponibilidade de dados, algumas variáveis foram alteradas por indicadores similares para a realidade brasileira a fim de auxiliar no desenvolvimento deste estudo.

Por fim, no contexto do teste de hipótese, o nível de significância refere-se à probabilidade de cometer um erro do tipo I, ou seja, rejeitar uma hipótese nula verdadeira. Esse nível é estabelecido previamente à aplicação do teste estatístico e, comumente, adota valores de 1% ou 5% (Reis et al., 1999). Para tanto, nos testes realizados, os valores obtidos acima de 0,005 foram definidos como estatisticamente insignificantes.

Tabela 1 - Seleção de indicadores para investigação do Nexus água-energia-alimento (FEW Nexus) no Brasil

ID	Descrição	Fonte	ID	Descrição	Fonte	ID	Descrição	Fonte
W1	Volume de água produzido	MC ¹	E1	Consumo de gás de cozinha - GLP	IBGE ⁷	F1	Desnutrição infantil	MS ⁹
W2	Volume tratada em ETA	MC	E2	Energia renovável no consumo final de energia	IEA ⁸	F2	Obesidade infantil	MS
W3	Eficiência no uso da água	FAOSTAT ²	E3	Intensidade energética	IEA	F3	Emissões de CO2 no setor da agricultura	IEA
W4	Área de lagos e rios	MAPBIOMAS ⁴	E4	Emissões de CO2 na geração de eletricidade	IEA	F4	Índice de produção alimentar da agricultura	FAOSTAT
W5	Consumo de água na irrigação	ANA ⁵	E5	Uso de energia na agricultura	IEA	F5	Índice de produção alimentar de cereais primários	IBGE
W6	Consumo de água na indústria	ANA	E6	Consumo de eletricidade per capita	IEA	F6	Terra agricultável	MAPBIOMAS
W7	Consumo de água no abastecimento urbano	ANA	E7	Geração de eletricidade por energia solar	IEA	F7	Produção de cereais, leguminosas e oleaginosas	IBGE
W8	Consumo de água no abastecimento rural	ANA	E8	Geração de eletricidade eólica	IEA	F8	Uso de fertilizantes	FAOSTAT
W9	Consumo de água na mineração	ANA	E9	Geração de eletricidade por biocombustíveis	IEA	F9	Importação de produtos agropecuários	MAPA ¹⁰
W10	Consumo de água em termelétricas	ANA	E10	Geração por eletricidade por hidroelétricas	IEA	F10	Terra não agricultável	MAPBIOMAS
W11	População com acesso de água	MC	E11	Geração de eletricidade por carvão	IEA	F11	Índice de Produtividade total de fatores e produtos	IPEA ¹¹
W12	Retiradas de água	OCDE ⁶	E12	Geração de eletricidade por petróleo	IEA	F12	Consumo de carne	OCDE
W13	População com acesso a esgoto	MC	E13	Geração de eletricidade por gás natural	IEA	F13	Fornecimento de comida	IBGE
W14	Volume tratado de esgoto	MC	E14	Importações de energia	IEA	F14	Movimentação ferroviária	ANTF ¹²

Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de An, 2022. Nota: 1) MC, Ministério das Cidades - SNIS; 2) FAOSTAT, Banco de Dados Estatísticos Corporativos da Organização para a Alimentação e Agricultura; 3) WR1, World Resources Institute; 4) MAPBIOMAS, Observatório do Clima; 5) ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico; 6) OCDE, Organização de Cooperação e o Desenvolvimento Econômico; 7) IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 8) IEA, International Energy Agency; 9)MS, Ministério da Saúde; 10) MAPA, Ministério da Agricultura e Pecuária; 11) IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; 12) ANTF, Associação Nacional dos Transportes Ferroviária.

1 RESULTADOS: INTERAÇÕES DO FEW NEXUS

O objetivo desta seção é expor os resultados obtidos a partir da definição da métrica de correlação de Spearman, juntamente com a análise de interrelação das variáveis apresentadas na Tabela 1 dos eixos água, energia e alimentos. Desta forma, no contexto em que a quantidade de estudos relativos ao tema é crescente, em âmbito nacional e internacionalmente, a metodologia adotada colabora para o desenvolvimento de métricas padronizadas e quantitativas para o FEW Nexus.

1.1 Análise das Relações Pelos Eixos: Água, Energia e Alimentos

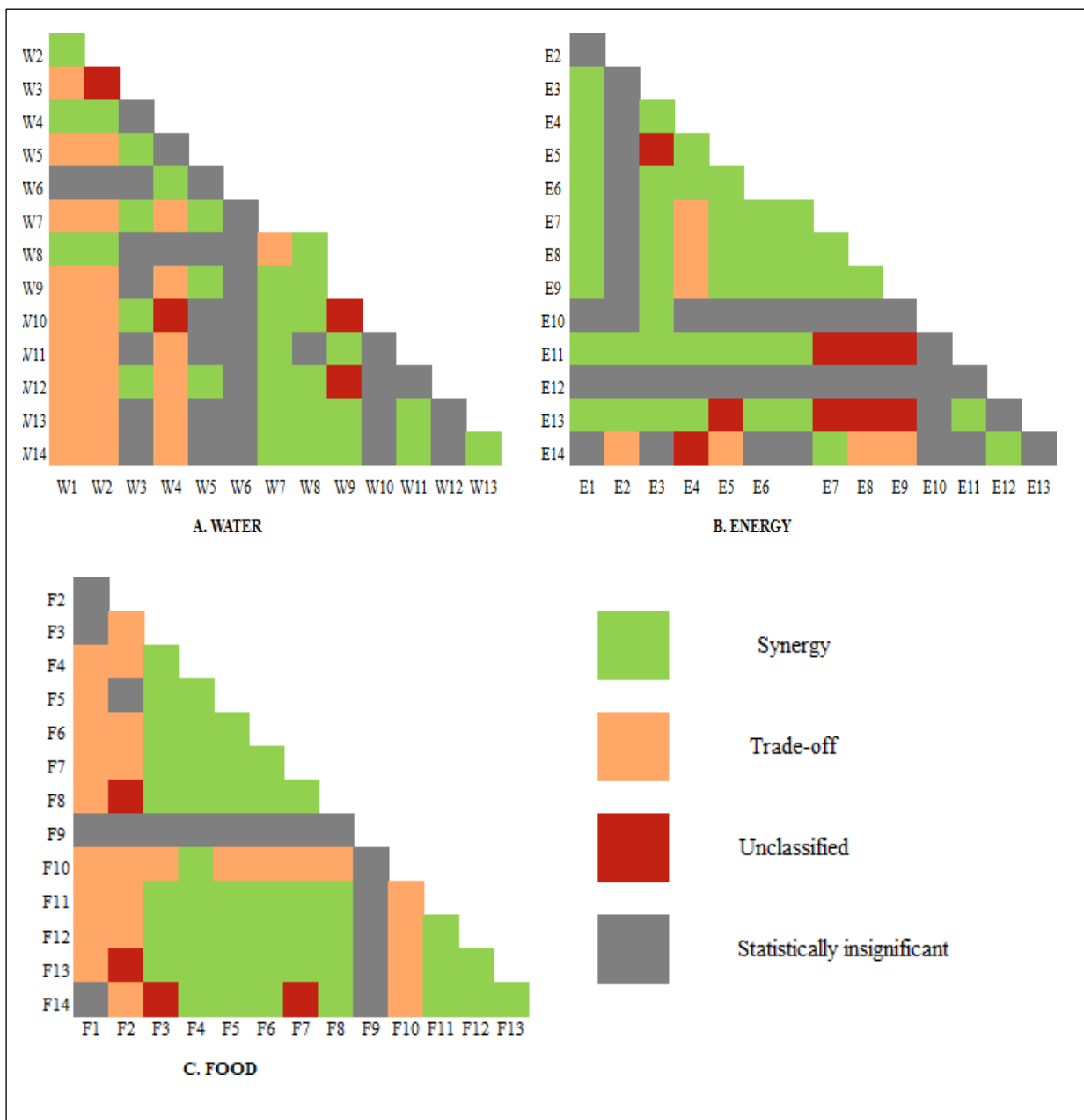
A Figura 2 demonstra os resultados da análise da interação entre os indicadores do FEW Nexus, dentro de cada eixo, utilizando as análises de correlação de postos de Spearman. As cores representam sinergia (verde), *trade-offs* (laranja) e não classificado (vermelho). A cor cinza indica valores estatisticamente insignificantes com p-valor acima de 0,05, que foram, por isso, excluídos da análise.

De maneira geral, os achados aqui apresentados indicam que a melhoria de um indicador em seu respectivo eixo pode melhorar o outro indicador e vice-versa. Como destacado por Waughray (2011) e Lankford *et al.* (2013) à medida que a demanda por água aumenta, o estresse hídrico tende a se agravar, o que pode afetar negativamente a segurança hídrica em nível global. Isso reforça a necessidade de uma abordagem integrada que considere as interdependências entre os eixos do FEW Nexus, a fim de garantir a sustentabilidade a longo prazo dos sistemas agroalimentares.

Uma análise mais detalhada da Figura 2 demonstra que os indicadores volume de água tratada (W2) e a área de lagos e rios (W4), foram positivamente correlacionados com o volume de água produzido (W1). Esse resultado corrobora para que a irrigação seja a maior consumidora de água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos (Dantas *et al.*, 2014). Todavia, o indicador de eficiência do uso da água (W3) correlacionou-se negativamente tanto com o volume de água produzido (W1) quanto de água tratada (W2).

Já o indicador de consumo de água na irrigação (W5), obteve correlação positiva com retiradas de água de bacias hidrográficas (W12). Sendo assim, a disponibilidade de água está diretamente relacionada com o aumento da produtividade nas áreas agrícolas (Falloon; Betts, 2010).

Figura 2: Interações dos indicadores de segurança hídrica, energética e alimentar no Brasil



Dessa forma, Carmo; Dagnino e Johansen (2014), definiram que o Brasil vive uma transição de consumo, devido a melhoria da situação econômica e o aumento no consumo de água, impulsionado tanto pela ampliação do sistema de abastecimento em zonas urbanas quanto pela propensão do aumento da despesa per capita. Tendo em vista isso, o consumo de água no abastecimento rural (W8) foi correlacionado positivamente em relação ao volume de água produzido (W1), diferentemente do consumo de água no abastecimento urbano (W7) que estava relacionado negativamente com (W1).

Por sua vez, entre o consumo de água em termelétricas (W10) e retirada de água (W12) apresentam sinergias com eficiência do uso da água (W3) pela geração de energia renovável. A correlação dos indicadores de população com acesso a água (W11) e população com acesso a esgoto (W13) demonstraram sinergia com consumo de água no abastecimento urbano (W7). No Brasil, em 2022, o acesso e uso da água no abastecimento urbano foi equivalente a 23,9%, enquanto em termelétricas foram de 5% (ANA, 2024). Nesse sentido, ocorre o *trade-off* entre retirada de água (W12) em relação a área de lagos e rios (W4), cujo aumento de um indicador proporciona a redução do outro.

De forma geral, no Eixo da Água, constata-se que as correlações positivas entre os pares de variáveis, que se sobressaem em relação aos *trade-offs* novamente evidenciam sinergias e, portanto, oportunidades de melhorias no uso integrado e eficiente da água, por meio da implementação de práticas que maximizem sua disponibilidade e minimizem perdas e desperdícios (Marques *et al.*, 2020; Huckleberry; Potts, 2018).

No Eixo de energia, os indicadores relacionados às fontes de energia renovável são benéficos para o meio ambiente, pois o uso de combustíveis e as emissões de carbono liberadas na atmosfera são muito menores em comparação com as fontes não renováveis. No Brasil, as fontes de energias renováveis correspondem a mais de 40% do suprimento total de energia primária (Esparta; Lucon; Uhlig, 2004).

Sendo assim, o indicador de consumo de energia renovável (E2) em relação a importação de energia (E14) foi negativa, ou seja, quanto mais energia renovável for utilizada no Brasil, menor será a necessidade de importar energia de países vizinhos. Além disso, os indicadores (E8 e E9) demonstram o *trade-off*, onde a geração de energias eólicas e por biocombustíveis resultaram na diminuição de importação de energia (E14).

Quanto aos indicadores de energias não renováveis, carvão (E11) e gás natural (E13), constatou-se que os mesmos foram positivamente correlacionados com emissões de carbono (E4), onde o aumento da produção dessas energias emite mais carbono no meio ambiente. O consumo de energia não renovável tem efeito positivo no crescimento econômico e nas emissões de CO₂, e efeito negativo comparado ao uso de energia renovável e emissões de carbono (Amarante *et. al.*, 2021). Consoante a isso, no Brasil, houve *trade-off* na correlação entre as energias renováveis, solar (E7), eólica (E8) e biocombustíveis (E9) em relação ao indicador de emissões de CO₂ (E4).

Todavia, é consenso que a produção de energia renovável é uma das principais alternativas para a redução na geração de energias poluidoras, como carvão e petróleo. As energias renováveis são aliadas da eficiência energética, assim, as energias solares,

eólica, biocombustíveis e hidroelétricas (E7-E8-E9-E10) que se correlacionaram positivamente com a intensidade energética (E3). No Brasil, a predominância das energias renováveis na matriz energética corresponde a 43% de participação. Além disso, a energia eólica e a biomassa já desempenham um papel importante como fontes renováveis, somando aproximadamente 15% da participação na matriz (Santos, 2020).

Em contrapartida, a produção de eletricidade a partir do petróleo (E12) apresentou correlação sinérgica com o indicador de importação de energia (E14), ao contrário de outros indicadores de energias não renováveis, como carvão e gás natural. Portanto, os resultados dessas interações para o Brasil foram consistentes com os encontrados em pesquisas anteriores, que indicaram que as energias renováveis têm o potencial de melhorar a segurança energética, ao passo que a queima de combustíveis fósseis impacta negativamente o meio ambiente (Gökgöz; Güvercin, 2018; An, 2022).

Em relação aos indicadores do eixo de Alimento, o aumento da movimentação de linha ferroviária (F14) e o índice de produtividade total de fatores (F11) foram positivamente correlacionados. Entretanto, foi identificada uma correlação negativa entre terras não agricultáveis (F10) e a movimentação ferroviária (F14). Nessa conjuntura, Armendariz *et al.* (2015) salienta que uma rede estruturada de abastecimento de alimentos corrobora para a redução de preços desses alimentos proporcionando às pessoas uma forma de satisfazer as necessidades alimentares.

Observou-se *trade-offs* entre produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (F7) e índice de produção de cereais primários (F5) em relação a desnutrição infantil (F1). A produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (F7) em proporção a obesidade infantil foi correlacionada de forma negativa, pois a redução desses grãos intensifica o consumo de produtos não saudáveis por crianças. A má-alimentação tem impacto significativo no crescimento da prevalência da obesidade e diabetes no Brasil (Coutinho; Gentil; Toral, 2008).

As terras agricultáveis (F6) e o índice de produção alimentar da agricultura (F4) no Brasil possuem sinergia. Haja visto que os agricultores familiares representam 77% de quase 5 milhões de propriedades rurais no Brasil e produzem a maior parte de alimentos consumidos diariamente (World Bank, 2024).

Conforme o World Bank (2024), os agricultores familiares brasileiros são responsáveis pela produção de 87% do cultivo de mandioca, 70% do feijão, 34% do arroz e 21% da produção de trigo. Assim, um maior apoio à agricultura familiar brasileira é fundamental para sustentar a segurança alimentar e nutricional do Brasil, nos quais a

diminuição de cargas tributárias, incentivos fiscais e a logística de transporte são fatores que poderiam resolver parte do problema da fome.

Consoante com o estudo de Sandström *et al.* (2018), o baixo incentivo nacional de um país acarreta a diminuição da produção interna de alimentos, que por sua vez, pode proporcionar o aumento de importações de alimentos equivalentes. Todavia, o estudo demonstrou que os indicadores que detêm índices de produção de alimentos, (F4-F5-F7-F11) estavam positivamente correlacionados com o fornecimento de alimentos (F13), ou seja, quanto mais produção alimentar houver nacionalmente, maior será a disponibilidade de alimento no Brasil.

O uso de fertilizantes (F8) em relação a terra agricultável (F6) foram positivamente correlacionados, no qual demonstra-se que em terras férteis para a agricultura, a utilização de produtos químicos auxilia na grande produção de alimentos. O volume de importações de fertilizantes no Brasil equivale a 76% da demanda nacional, e aproximadamente 8% do consumo global (COMEXSTAT, 2021) Em contrapartida, em terras não agricultáveis (F10) foi negativamente correlacionado com o uso de fertilizantes (F8).

As interações analisadas demonstram que sinergias predominam em grande parte dos eixos, reforçando a necessidade de estratégias que ampliem a cooperação entre setores e minimizem os impactos negativos dos *trade-offs* identificados. Ao mesmo tempo, a interdependência entre os indicadores revela a importância de políticas públicas que promovam eficiência no uso dos recursos naturais e incentivem tecnologias sustentáveis, garantindo maior resiliência dos sistemas agroalimentares diante das crescentes pressões ambientais e socioeconômicas. Assim, ao reconhecer e potencializar essas interações, torna-se possível avançar na construção de um modelo de desenvolvimento sustentável, capaz de equilibrar demanda e preservação dos recursos essenciais para a segurança hídrica, energética e alimentar do país. Diante dos resultados acima, entende-se que uma abordagem integrada permite a identificação de oportunidades de melhorias na gestão dos recursos hídricos, energéticos e alimentares no Brasil.

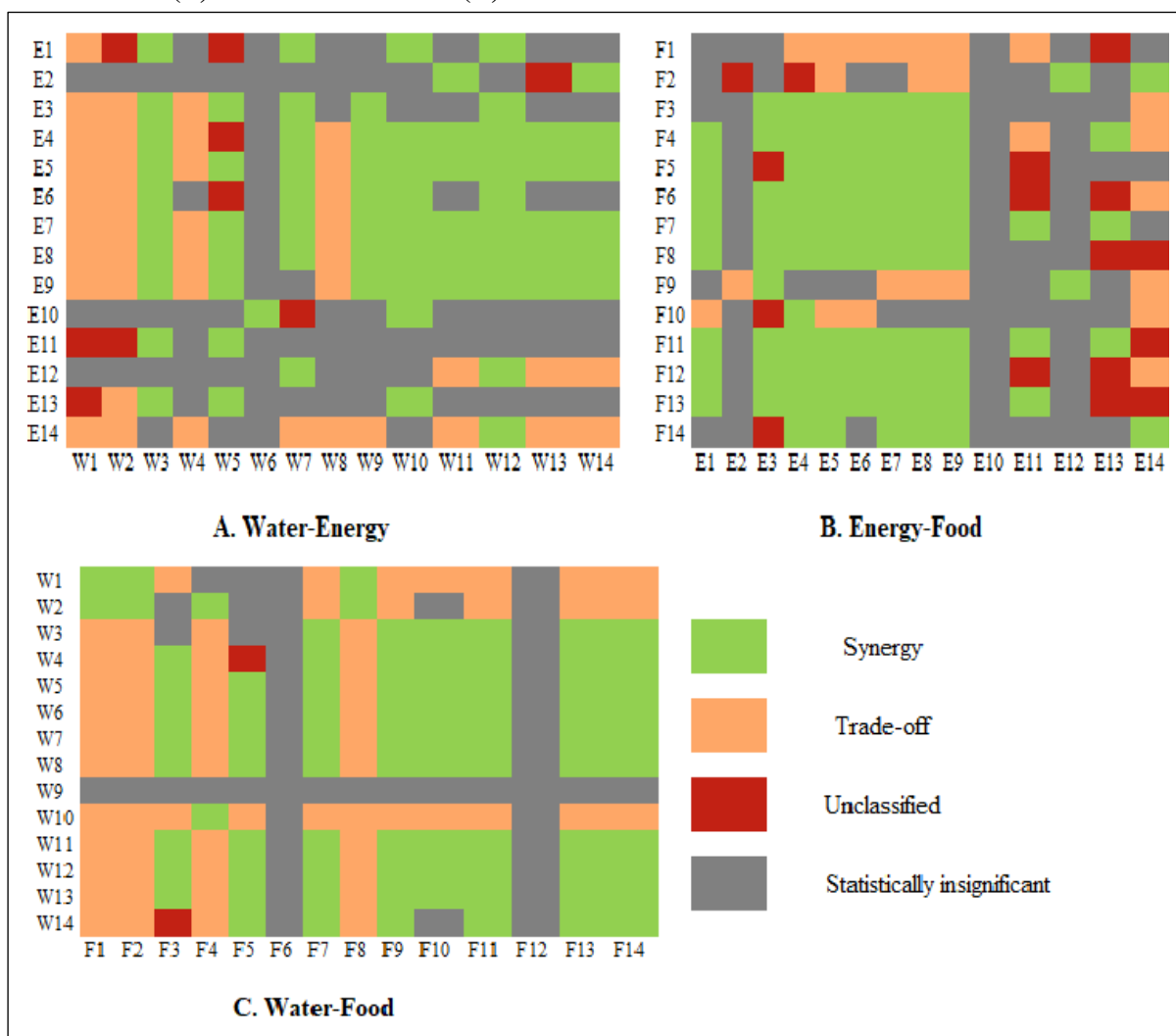
1.2 Análise das Interações Entre os Eixos do FEW Nexus

Nesta seção, são analisadas as interações entre os eixos Água, Energia e Alimentos, de forma a compreender como os indicadores associados a cada um desses eixos se relacionam. A análise busca identificar a natureza dessas interações, seja em

sinergias, *trade-offs* ou neutralidade. Essa abordagem permite avaliar a interdependência entre os sistemas, fornecendo melhor compreensão para o aprimoramento de políticas públicas, a gestão eficiente dos recursos naturais e o desenvolvimento de estratégias sustentáveis voltadas à segurança hídrica, energética e alimentar.

A análise das interações entre os indicadores do FEW Nexus (Figura 3), revelou padrões distintos de sinergia e *trade-offs* entre os diferentes eixos. No Eixo Água e Energia, observou-se que 58,47% das correlações foram classificadas como sinergias, evidenciando uma relação positiva entre os recursos hídricos e a geração de energia. Por outro lado, 33,90% das interações apresentaram *trade-offs*, sinalizando potenciais desafios na compatibilização do uso da água para geração energética e outras demandas. Um percentual de 7,63% dos indicadores não pôde ser classificado, sugerindo relações estatisticamente não significativas ou neutras.

Figura 3: Interações entre os indicadores de segurança hídrica-energética (A), energética-alimentar (B) e hídrica-alimentar (C)



Como já descrito nos indicadores do Eixo Água e Energia, demonstraram correlações, em sua maioria, positivas, ou seja, de sinergias. Neste estudo para o Brasil, os indicadores de geração de energia solar (E7), eólica (E8) e biocombustíveis (E9) mostraram positivamente correlacionadas com o indicador de eficiência no uso da água (W3). Esse achado sugere que a expansão das fontes renováveis de energia está associada a um uso mais racional e eficiente dos recursos hídricos, reduzindo a pressão sobre a disponibilidade de água para outros fins essenciais.

Além disso, intensidade energética (E3) resultou também em sinergia com o indicador eficiência energética (W3), reforçando a ideia de que avanços tecnológicos e práticas sustentáveis na geração de energia podem contribuir para uma melhor gestão hídrica.

Não obstante, as inovações tecnológicas aplicadas sobre a gestão e captação da água são extremamente variadas. Essas tecnologias têm o potencial de aprimorar os métodos e processos já estabelecidos, tornando-os mais eficazes e de menor custo. Em contrapartida, mudanças tecnológicas podem modificar drasticamente a maneira como a água é empregada, tanto para geração de energia quanto para o uso na agricultura (WWAP, 2016).

Essa interdependência destaca a importância de políticas públicas e incentivos para fomentar o desenvolvimento de tecnologias de energia limpa e otimização do consumo de água, garantindo maior segurança energética e hídrica no Brasil. De acordo com Almeida (2024), o Brasil necessita de energia renovável e de fácil acesso para atingir o desenvolvimento econômico, sem danos ao meio ambiente e com a finalidade de coordenar um desenvolvimento sustentável. E um meio de alcançar esse objetivo é aumentar a procura pela eficiência energética e na criação de tecnologias ecológicas e sustentáveis.

Todavia, o indicador de volume de água produzido (W1) foi negativamente correlacionado com intensidade energética (E3), sugerindo que a disponibilidade hídrica está diretamente relacionada à eficiência do setor energético. Esse resultado indica que períodos de escassez de chuvas levam a uma redução no volume de água disponível, impactando negativamente a produção e o uso de energia. Entende-se que esse efeito pode ser particularmente preocupante para a geração hidrelétrica, que depende diretamente dos reservatórios de água para manter sua capacidade operacional. Com a diminuição do volume hídrico, a produção de energia pode ser comprometida, forçando o aumento do uso de fontes alternativas, muitas vezes menos eficientes e com maior custo ambiental,

como termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Além disso, a correlação negativa sugere que a instabilidade na oferta de água pode gerar impactos sistêmicos, afetando não apenas a geração de eletricidade, mas também a eficiência energética de processos industriais e agrícolas, que dependem da disponibilidade de água para resfriamento, irrigação e outros usos essenciais.

Em contrapartida, a geração de energia hidroelétrica (E10) teve correlação positiva com o consumo de água na indústria (W6), indicando que a demanda por eletricidade gerada a partir de recursos hídricos está associada ao setor industrial. O Brasil tem um grande potencial para a produção de energia hidrelétrica e tecnologia avançada à disposição, elementos que fazem dessa energia uma alternativa vantajosa para a economia do país (OCDE, 2015).

Tal resultado reforça a interdependência entre a disponibilidade hídrica e o desempenho do setor energético e industrial brasileiro, destacando a necessidade de estratégias para otimizar o uso da água nesses segmentos. Já o consumo de água nas usinas termelétricas (W10) em relação a geração de energia hidroelétrica (E10) foi também positivo, sugerindo que, mesmo em um cenário onde a hidroeletricidade predomina, a necessidade de termelétricas como fonte complementar se mantém significativa. Isso pode indicar que períodos de baixa disponibilidade hídrica para hidrelétricas exigem maior acionamento das termelétricas, o que eleva o consumo de água e aumenta a pressão sobre os recursos naturais. Esse resultado ressalta a importância da diversificação da matriz energética brasileira para reduzir a dependência das fontes mais intensivas no uso da água.

Os indicadores de energias renováveis, energia solar (E7), eólica (E8) e biocombustíveis (E9) mostraram-se negativamente correlacionados com o indicador relacionado ao consumo de água em abastecimento rural (W8). Tal resultado pode sugerir que a ampliação dessas fontes energéticas pode estar associada a uma menor pressão sobre os recursos hídricos no meio rural, favorecendo a disponibilidade de água para outros usos essenciais, como a irrigação agrícola e o consumo humano.

Em contrapartida, os indicadores (E7) e (E8) demonstram sinergia com o consumo de água no abastecimento urbano (W7), evidenciando uma sinergia entre essas fontes renováveis e a gestão hídrica em áreas urbanizadas. Esse achado pode estar relacionado ao fato de que a geração de eletricidade em cidades demanda infraestruturas e sistemas que dependem da água para funcionamento eficiente, como redes de resfriamento e abastecimento energético para estações de tratamento de água e esgoto.

No que diz respeito às interações dos indicadores dos Eixo Energia e Alimento, o indicador de desnutrição infantil (F1) apresentou *trade-off* com o indicador de uso de energia na agricultura (E5) e consumo de eletricidade per capita (E6). Compreende-se que as famílias vulneráveis economicamente são afetadas tanto pela disponibilidade de energia para o cultivo e/ou armazenagem de alimentos, o que corrobora para desnutrição e baixo peso das crianças, quanto para a dificuldade de consumo de energia elétrica per capita. Outro fator relevante é a capacidade econômica das famílias de baixo poder aquisitivo arcar com os custos de energia elétrica. Em situações de vulnerabilidade socioeconômica, as famílias acabam por priorizar os gastos essenciais, reduzindo o consumo energético doméstico e, conseqüentemente, sua capacidade de preparo e conservação de alimentos. Esse cenário pode resultar em dietas nutricionalmente inadequadas, reforçando o ciclo de insegurança alimentar e contribuindo para a persistência da desnutrição infantil.

Os indicadores relacionados com a produtividade alimentar na agricultura (F4), produção alimentar de cereais primários (F5) e produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (F7) demonstraram correlações positivas com energias renováveis: energia solar (E7), eólica (E8) e biocombustíveis (E9). De acordo com Breyer e Gerlach (2013), a crescente escassez de combustíveis fósseis e a necessidade urgente de mitigar os impactos das mudanças climáticas impõem desafios à sociedade, exigindo uma transição para modelos de produção agrícola e geração de energia mais sustentáveis. Nesse contexto, a utilização de tecnologias baseadas em energias renováveis desempenha um papel fundamental, possibilitando redução da dependência de fontes poluentes, aumento da eficiência energética na agricultura e fortalecimento da resiliência dos sistemas agroalimentares frente às adversidades climáticas.

Todavia, o indicador de energia não renovável, geração de eletricidade por carvão (F11), correlacionou-se negativamente com produtividade alimentar na agricultura (F4), sugerindo que a dependência de combustíveis fósseis pode impactar negativamente a eficiência produtiva. Desse modo, o índice de produtividade total de fatores (F11) e produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (F7) mostraram-se correlacionados positivamente com energias não renováveis, carvão (E11) e gás natural (E13). Tal resultado ressalta a necessidade de reduzir a dependência de fontes fósseis na agricultura, promovendo a transição para energias renováveis, como biocombustíveis, solar e eólica,

para mitigar impactos ambientais e garantir maior eficiência e sustentabilidade na produção.

Consoante com o uso de energias renováveis e não renováveis, a abordagem de Freitas e Dathein (2013), ressalta que se observou no Brasil que a crescente adoção de fontes renováveis na matriz energética contribuiu para o avanço de melhores indicadores de desenvolvimento, o que se reflete nas melhorias no nível de sustentabilidade à medida que essas energias aumentam.

Além disso, o índice de produção alimentar na agricultura (F4) e terra agricultável (F6) mostraram *trade-offs* com as importações de energia (E14), contudo, o indicador de importações de produtos agropecuários (F9) apresentou sinergia com a geração de energia por petróleo (E12), refletindo a dependência do setor de importação em relação ao uso de combustíveis fósseis, como diesel e querosene, para transporte e distribuição de produtos agropecuários. Novamente, esses resultados reforçam a importância da transição para alternativas energéticas mais sustentáveis, visando reduzir a vulnerabilidade do setor agrícola à oscilação dos preços dos combustíveis fósseis e minimizar impactos ambientais.

Nesse contexto, as correlações evidenciaram a vulnerabilidade do Brasil quanto às oscilações nos preços do petróleo, dado o impacto direto das importações agropecuárias na demanda por combustíveis fósseis. Essa dependência energética pode influenciar custos de produção, transporte e distribuição de alimentos, tornando o setor agropecuário mais exposto a variações do mercado internacional e possíveis crises no fornecimento de energia. Sendo assim, consoante com Esmaeili e Shokoohi (2011), que apontaram que as variações no preço do petróleo no mercado internacional impactam de maneira específica os custos dos alimentos no mercado interno. Logo, a dependência de importações de alimentos proporciona insegurança alimentar em famílias vulneráveis por conta da oscilação de preços.

Por outro lado, no Eixo Água e Alimento, o índice de produção alimentar da agricultura (F4) mostrou-se positivamente correlacionado com o indicador consumo de água nas usinas termelétricas (W10), indicando que o aumento da produção agrícola pode estar associado a uma maior demanda energética, intensificando, portanto, o uso de recursos hídricos para geração de eletricidade. Enquanto, a área de lagos e rios (W4) apontou correlação negativa com (F4), demonstrando a relação entre a expansão da produção agrícola à redução das reservas hídricas superficiais, possivelmente devido ao aumento do consumo de água para irrigação e outros processos agroindustriais.

Contudo, os indicadores área de lagos e rios (W4) e de retiradas de água de bacias hidrográficas (W12) foram positivamente correlacionados com o índice de produtividade total de fatores, pois a agricultura exige o uso de grande quantidade de água no solo, sobretudo, é vulnerável a baixa disposição de chuvas (FAO, 2017). Neste mesmo argumento, o índice de produção alimentar de cereais primários (F5) juntamente com a produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (F7) mostraram correlação positiva em relação ao consumo de água na irrigação e consumo de água no abastecimento rural onde a agricultura é intensa.

Os indicadores relacionados ao abastecimento de água nas zonas urbanas e rurais (W7) e (W8), respectivamente, apresentaram sinergias com os indicadores de produção alimentar (F5) e (F7). Tal resultado iguala-se ao encontrado por Bhagwat (2019) onde a água tem papel fundamental na segurança, preparação e processamento de alimentos. Não obstante, a água é utilizada diariamente na produção alimentar e, principalmente, usada como ingrediente.

Além disso, o indicador de volume de água produzido (W1) foi negativamente relacionado com importações de produtos agropecuários (F9). Isso indica que a redução na produção ou no acesso à água disponível impacta diretamente o mercado nacional de alimentos, levando ao aumento dos preços. Como consequência, o Brasil poderia passar a depender cada vez mais de importações de alimentos a preços mais acessíveis do mercado externo, aumentando sua exposição às flutuações do comércio internacional. Esse cenário também influencia a adaptação alimentar da população mais vulnerável, que pode ser forçada a modificar seus padrões de consumo devido à variação na oferta e nos custos dos alimentos essenciais (Johansson, 2000; Machado *et al.*, 2022).

Diante do contexto apresentado, o consumo de água na irrigação (W5) e a retirada de água das bacias hidrográficas (W12) apresenta uma correlação positiva com o fornecimento de comida (F12). Ao mesmo tempo, dado um aumento em (W5) observa-se que a desnutrição infantil (F1) diminui apresentando uma correlação de *trade-off*. Não obstante, o aumento no consumo de água na irrigação (W5) para produção de alimentos, nota-se uma correlação negativa com o indicador de obesidade infantil (F2), possivelmente devido ao aumento do consumo de alimentos frescos em detrimento de ultra processados. Por fim, a irrigação tem um impacto direto na produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (F7), reforçando sua importância para a produtividade agrícola e a segurança alimentar.

Nessa conjuntura, o estudo de Oliveira *et. al.*, (2022) analisou o efeito direto que a oferta de alimentos da agricultura familiar para alimentação escolar possui sobre o desenvolvimento da estatura de crianças de até cinco anos. O estudo identificou que a oferta de alimentos para as crianças no período escolar no Brasil, favorece para a diminuição do déficit de estatura e nutrição dessas crianças. Portanto, a disponibilidade de água favorece os agricultores familiares para produzir alimentos, que por sua vez, auxilia na mitigação da desnutrição infantil e no aumento da oferta de alimentos.

Sobretudo, os indicadores relacionados ao índice de produtividade total de fatores e produtos (F11) apresenta uma correlação positiva com o consumo de água na indústria (W6) que justifica também o aumento na movimentação ferroviária (F14), evidenciando a relação entre a produção agrícola e a necessidade de infraestrutura logística eficiente para o transporte de alimentos no território nacional.

De acordo com Montoya e Finamore (2021), as taxas de uso e de retorno da água ao meio ambiente mostram que, para cada hm³/ano de água utilizada na agricultura, 70,45% são incorporados à produção e 29,55% retornam ao meio ambiente. Já na agroindústria, a taxa de uso é de 54,58%, enquanto a taxa de retorno é de 45,42%. Esse padrão também foi identificado no presente estudo, onde os indicadores de consumo de água na irrigação (W5), consumo de água na indústria (W6) e retirada de água das bacias hidrográficas (W12) mostraram-se diretamente relacionados à produção de cereais e legumes (F5) e (F7), reforçando a forte dependência do setor agrícola em relação aos recursos hídricos.

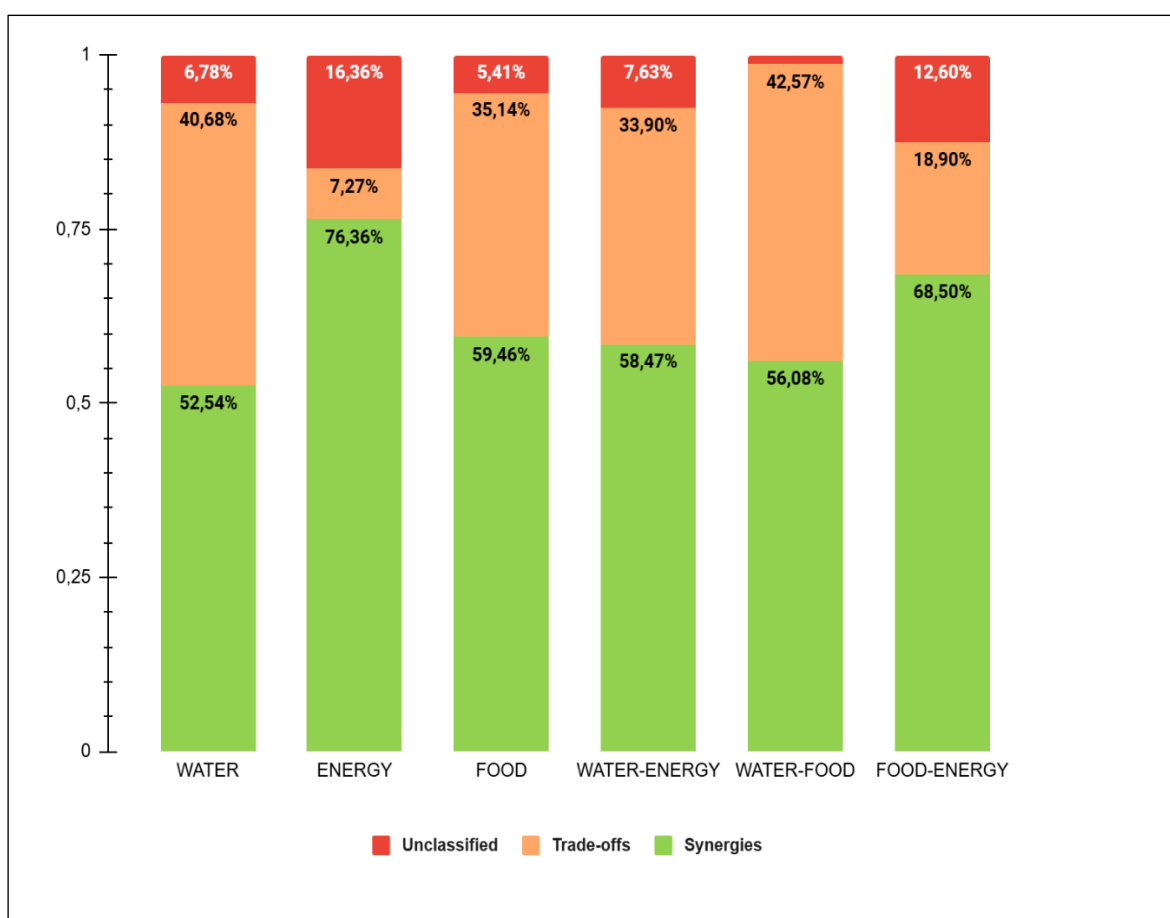
Os resultados discutidos nessa seção demonstram que as interações entre os indicadores dos eixos Água, Energia e Alimento são predominantemente sinérgicas, indicando oportunidades para políticas integradas que otimizem o uso sustentável dos recursos naturais. No entanto, os *trade-offs* identificados ressaltam a necessidade de estratégias que mitiguem impactos negativos, como a competição pelo uso da água entre os setores agrícola e energético.

A correlação positiva entre fontes renováveis de energia e eficiência hídrica evidencia o potencial da transição energética para reduzir pressões sobre os recursos naturais, enquanto a dependência de combustíveis fósseis segue representando desafios para a produtividade agrícola e a segurança alimentar. Dessa forma, a abordagem FEW Nexus se mostra uma importante ferramenta para o embasamento de políticas públicas e investimentos em tecnologias sustentáveis, promovendo maior resiliência dos sistemas agroalimentares e energéticos no contexto socioeconômico brasileiro.

1.3 Síntese das Interações Estimadas no Estudo

A Figura 4 mostra que a proporção de sinergias entre os indicadores do eixo da água foi de 52,54%, enquanto de *trade-offs* foram cerca de 40,68%, e a não classificação apresentou um percentual de 6,78%. Esses percentuais indicam que a maior parte das interações analisadas no eixo da água favorece sinergias, sugerindo uma relação positiva entre os indicadores do FEW Nexus, e, portanto, a gestão integrada dos recursos hídricos.

Figura 4: Interações entre os indicadores do FEW Nexus indicando as proporções de sinergias, *trade-offs* e itens não classificados conforme as Figuras 2 e 3



Quanto ao eixo de energia e alimentação, as proporções de sinergias foram (76,36-59,46%), respectivamente, em frente aos resultados à *trade-offs* equivalentes a (7,27-35,14%), e a não classificação apresentou um percentual com cerca de (16,36-5,41%) respectivamente de acordo com a Figura 4. Tais resultados demonstram que as interações entre os indicadores de energia e alimentação são predominantemente benéficas, ressaltando a importância de políticas integradas que promovam a sustentabilidade em todos os setores do FEW Nexus.

Esse resultado também chama atenção pois as sinergias observadas podem levar a uma maior eficiência no uso dos recursos de forma integrada, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e mitigando os impactos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente.

No Eixo Água e Alimento, as sinergias corresponderam a 56,08%, demonstrando que a disponibilidade e o uso da água estão fortemente interligados à segurança alimentar e à produção agrícola. A interligação entre água e alimentos é fundamental para a sustentação da produção alimentar (Cantelle; Castro Lima; Borges, 2018). No entanto, 42,57% das interações foram classificadas como *trade-offs*, apontando conflitos potenciais entre a utilização da água para fins produtivos e sua conservação para outros usos essenciais.

Por fim, no Eixo Alimento e Energia, os resultados indicaram uma predominância ainda mais expressiva das sinergias (68,50%), evidenciando a complementaridade entre o setor energético e a produção de alimentos, especialmente no contexto do uso de bioenergia e tecnologias sustentáveis aplicadas à agricultura. Os *trade-offs* (18,90%) foram relativamente baixos em comparação com os outros eixos, sugerindo que os impactos negativos são menos expressivos. Já 12,60% das interações não foram classificadas, o que pode indicar relações mais complexas ou menos exploradas na literatura.

A Tabela 2 apresenta uma síntese numérica das interações entre os eixos água, energia e alimentos (FEW Nexus) no contexto brasileiro, detalhando a quantidade de interações identificadas e classificando-as em sinergias, *trade-offs*, interações não classificadas e interações não significativas.

Tabela 2 - Síntese do número de interações estimadas

Interações	Eixos	Sinergias	<i>Trade-offs</i>	Não classificado	Total de interações	Não significativo	Total
Dentro de cada Eixo	W	31	24	4	59	32	91
	E	42	4	9	55	36	91
	F	44	26	4	74	17	91
Entre os diferentes Eixos	W-E	69	40	9	118	78	196
	W-F	83	63	2	148	48	196
	F-E	87	24	16	127	69	196
Total		356	181	44	581	280	861

Fonte: Resultados do trabalho.

De acordo com os resultados, dentro de cada eixo, o eixo alimentos (F) apresenta o maior número de interações totais, com 74 interações, seguido pelo eixo água (W), com 59, e pelo eixo energia (E), com 55. Já nas interações entre os eixos, a relação água-alimentos (W-F) registra o maior número de interações, totalizando 148, enquanto as interações água-energia (W-E) e alimentos-energia (F-E) apresentam 118 e 127 interações, respectivamente. No geral, foram identificadas 581 interações significativas, sendo 356 sinergias, 181 trade-offs e 44 interações não classificadas. Além disso, 280 interações foram consideradas não significativas, totalizando 861 interações analisadas.

Essa síntese numérica complementa a análise visual da Figura 4, fornecendo uma base quantitativa para compreender as dinâmicas do FEW Nexus no Brasil. Os resultados oferecem insights valiosos para apoiar a priorização de políticas e estratégias voltadas à gestão sustentável dos recursos água, energia e alimentos, destacando a importância de abordagens integradas para lidar com as complexidades dessas interações.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como principal objetivo analisar as interações água, energia e alimentos no Brasil, utilizando a abordagem do FEW Nexus (Nexus Água-Energia-Alimento), de forma a identificar sinergias e *trade-offs*. A metodologia empregada partiu do cálculo do coeficiente de correlação de Spearman, entre 42 indicadores nacionais relacionados ao FEW Nexus de forma a ampliar a compreensão detalhada das interconexões entre os três eixos.

Os resultados evidenciaram que as interações entre os setores são complexas e multifacetadas, com predominância de sinergias em alguns casos e *trade-offs* em outros, o que reforça a necessidade de uma abordagem holística e integrada para a gestão desses recursos. No eixo da água, observou-se que 52,54% das interações entre os indicadores foram classificadas como sinergias, enquanto 40,68% foram *trade-offs*. Isso indica que, embora haja uma relação positiva predominante entre os indicadores de água, ainda existem desafios significativos relacionados à gestão integrada dos recursos hídricos, especialmente em contextos de escassez e competição por uso.

No eixo de energia, os resultados revelaram que 76,36% das interações foram sinérgicas, destacando a importância das fontes renováveis de energia, como solar, eólica e biocombustíveis, para a redução das emissões de CO₂ e a melhoria da eficiência energética. A correlação positiva entre a geração de energia renovável e a eficiência no uso da água sugere que a expansão das fontes renováveis pode contribuir para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos. No entanto, *trade-offs* foram identificados em relação à dependência de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, que impactam negativamente a segurança energética e ambiental.

No eixo de alimentos, 59,46% das interações foram de sinergias, com destaque para a correlação positiva entre a produção agrícola e o uso eficiente de água e energia. A correlação positiva entre o consumo de água na irrigação e a produção de cereais, leguminosas e oleaginosas sugere que a disponibilidade de água é fundamental para a segurança alimentar. No entanto, *trade-offs* foram observados em relação à desnutrição e obesidade infantil, indicando que o aumento da produção de alimentos nem sempre se traduz em melhoria da segurança alimentar e nutricional para população. Esses resultados destacam a importância de políticas que promovam não apenas o aumento da produção agrícola, mas também a distribuição equitativa dos alimentos e o acesso a dietas nutritivas e saudáveis.

Entre os eixos as interpelações também revelaram padrões distintos de sinergias e *trade-offs*. No caso das interações entre os eixos da água e energia, 58,47% das correlações foram sinergias, destacando a importância da geração de energia renovável para a gestão sustentável dos recursos hídricos. No entanto, 33,90% das interações foram *trade-offs*, principalmente relacionados ao uso de água em termelétricas e à dependência de hidrelétricas, que podem ser afetadas por períodos de escassez hídrica.

No caso das interações entre os eixos da água e alimentos, as sinergias predominaram (56,08%), com destaque para a correlação positiva entre o consumo de água na irrigação e a produção agrícola. No entanto, 42,57% das interações foram *trade-offs*, indicando conflitos potenciais entre o uso da água para fins agrícolas e a conservação dos recursos hídricos para outros usos essenciais. Tal cenário revela a importância de políticas que promovam o uso eficiente da água na agricultura, como a adoção de técnicas de irrigação mais eficientes e a gestão integrada dos recursos hídricos.

Em se tratando das interações entre energia e alimentos, as sinergias foram ainda mais expressivas (68,50%), com destaque para a correlação positiva entre a produção de alimentos e o uso de energias renováveis. No entanto, *trade-offs* foram observados em relação à dependência de combustíveis fósseis para o transporte e distribuição de alimentos, o que pode aumentar a vulnerabilidade do setor agrícola às flutuações dos preços internacionais de energia. Por exemplo, a correlação negativa entre a importação de produtos agropecuários e a geração de energia a partir de petróleo sugere que a dependência de combustíveis fósseis pode aumentar os custos de produção e distribuição de alimentos, impactando negativamente a segurança alimentar.

O estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. Em primeiro lugar, a disponibilidade de dados consistentes e atualizados para todos os indicadores foi uma limitação, uma vez que diferentes períodos foram empregados a depender do acesso das informações. Em segundo lugar, as interações entre os eixos da água, energia e alimentos são altamente complexas e dinâmicas, variando significativamente em diferentes contextos regionais e temporais, o que a análise quantitativa, embora útil, não captura em sua totalidade. Por fim, o uso do coeficiente de correlação de Spearman, embora robusto para identificar relações monotônicas, não permite inferir causalidade entre as variáveis, e a presença de *outliers* ou relações não lineares pode afetar os resultados.

Entende-se que apesar das limitações apontadas, a abordagem do FEW Nexus constitui uma ferramenta valiosa na obtenção insights para a construção de sistemas agroalimentares mais resilientes e sustentáveis. Ademais, a análise quantitativa realizada

oferece uma base sólida para futuras pesquisas e formulação de políticas mais eficazes no contexto brasileiro. Por fim, considerando que o presente estudo focou em uma análise nacional, sugere-se que pesquisas futuras explorem análises mais detalhadas e novas técnicas em nível estadual ou municipal para capturar melhor as especificidades.

Recomenda-se, como avanço do presente estudo, a análise de uma cadeia produtiva ou um município sob a ótica da Produtividade Total dos Fatores (PTF) e do nexo água-energia-alimentos que pode transformar completamente a forma como julgamos questões como pagamento por serviços ambientais e a formulação de políticas públicas. Portanto, essa abordagem permite avaliar de maneira mais integrada como diferentes setores interagem, contribuindo para a qualidade da água e a prestação de serviços ecossistêmicos, tornando as decisões mais eficazes e sustentáveis

3 REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, Tamee R.; CROOTOF, Arica; SCOTT, Christopher A. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 4, p. 043002, 2018.
- ALLOUCHE, Jeremy; MIDDLETON, Carl; GYAWALI, Dipak. **The water–food–energy nexus: power, politics, and justice**. Routledge, 2019. Chapter 4 - The Knowledge Nexus and Transdisciplinarity. p. 55-79. Doi: <https://doi.org/10.4337/9781839100550.00009>. Acesso em 21 mai. 2024.
- ALMEIDA, Leonardo Gonçalves de et al. Energia renovável no Brasil: Energia eólica como fonte de energia limpa. **Revista Científica Doctum Multidisciplinar**, v. 2, n. 13, 2024.
- ALROY, John. Efeitos da perturbação do habitat na biodiversidade da floresta tropical. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 23, pág. 6056-6061, 2017.
- AMARANTE, José Carlos Araujo et al. A relação entre crescimento econômico, consumo de energias renovável e não renovável e emissões de CO₂: evidências empíricas para o Brasil. **Greenhouse Gases: Science and Technology**, 2021.
- AN, Daehan (2022). Interactions in water-energy-food security nexus: A case study of South Korea. **Frontiers in Water**. 4. 943053. [10.3389/frwa.2022.943053](https://doi.org/10.3389/frwa.2022.943053).
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura de Recursos Hídricos**. Brasília-DF. Disponível em <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em 15 mai. 2024.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – Brasília-DF, 2024**. Disponível em <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- ARIAS, Mauricio E. et al. Paying the forest for electricity: a modelling framework to market forest conservation as payment for ecosystem services benefiting hydropower generation. **Environmental Conservation**, v. 38, n. 4, p. 473-484, 2011.
- ARMENDARIZ, V; ARMENIA, S.and ATZORI, A. S. (2015) “Understanding the dynamics of food supply and distribution systems (FSDS),” in **Proceedings of the 33rd International Conference of the System Dynamics Society** (Cambridge, MA).
- ARRIAGADA, Rodrigo et al. Analysing the impacts of PES programmes beyond economic rationale: Perceptions of ecosystem services provision associated to the Mexican case. **Ecosystem Services**, v. 29, p. 116-127, 2018.

ANTF. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. **O setor ferroviário de carga brasileiro**. Disponível em <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=BRAZIL&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em 1 jul. 2024.

BARDAZZI, Elisa; BOSELLO, Francesco. Critical Reflections on Water-Energy-Food Nexus in Computable General Equilibrium Models: A Systematic Literature Review. **Environmental Modelling & Software**, p. 105201, 2021.

BAZILIAN, Morgan et al. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. **Energy policy**, v. 39, n. 12, p. 7896-7906, 2011.

BELLFIELD, Helen. Water, energy and food security nexus in Latin America and the Caribbean. **Global Canopy Programme**, 2015.

BENITES-LAZARO, L.L., GIATTI, L.L., Sousa Junior, W.C., Giarolla, A., 2020. **Land-water-food nexus of biofuels: Discourse and policy debates in Brazil**. *Environ. Dev.* 33, 100491. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.100491>. Acesso em 3 de novembro. 2023.

BERSON, D.; GAIN, A.K. and ROUILLARD, J.J. 2015. Water governance in a comparative perspective: From IWRM to a 'nexus' approach? **Water Alternatives** 8(1): 756-773.

BHAGWAT, Vinod R. Safety of water used in food production. In: **Food safety and human health**. Academic Press, 2019. p. 219-247.

BIGGS, E. *et al.* Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy** 54: 389-397, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299366116_Sustainable_development_and_the_water-energy-food_nexus_a_perspective_on_livelihoods. Acesso em 01 de dezembro. 2024.

BIZIKOVA, L., Roy, D., SWANSON, D., VENEMA, H. D., MCCANDLESS, M. (2013). **The Water-Energy-Food Security Nexus: Towards a Practical Planning and Decision-Support Framework for Landscape Investment and Risk Management**. Winnipeg: **International Institute for Sustainable Development**.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional-SISVAN, 2024. **Relatório de Acesso Público**. [S.l]: Ministério da Saúde. Disponível em <https://sisaps.saude.gov.br/sisvan/relatoriopublico/index>. Acesso em 01 mai. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **SNIS – Série Histórica**. [S.l]: Ministério das Cidades. Disponível em <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em 1 mai 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SNIS 2024. **Diagnósticos Anteriores dos Serviços de Água e Esgoto**. [S.l.]: Ministério das Cidades. Disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/diagnosticos-antieriores-do-snis/agua-e-esotos-1>. Acesso em 16 jun. 2024

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SNIS 2024. **Painel de esgotamento sanitário**. [S.l.]: Ministério das Cidades. Disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em 01 jul. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Fortalecimento comunitário em unidade de conservação: desafios, avanços e lições aprendidas no Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA)**. [recurso eletrônico]. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade, Programa Áreas Protegidas da Amazônia. – Brasília, DF: MMA, 2018.

BREYER, Christian et al. Fuel-parity: new very large and sustainable market segments for PV systems. In: **2010 IEEE International Energy Conference**. IEEE, 2010. p. 406-411.

BREYER, Christian; GERLACH, Alexander. Visão geral global sobre paridade de rede. **Progresso em energia fotovoltaica: Pesquisa e Aplicações**, v. 21, n. 1, p. 121-136, 2013.

CADORE, Jéssica Stefanello; TOCHETTO, Márcio. Recursos Hídricos: Panorama Geral do Setor e Perspectivas ao Atendimento da Agenda 2030. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 3, 2021.

CARMONA-MORENO, Cesar et al. Implementing the water–energy–food–ecosystems nexus and achieving the sustainable development goals. 2021. (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO); European Commission, Joint Research Centre, **Institute on Sustainable Resources, Water and Marine Resources Unit**; IWA Publishing)

CAMPBELL, Bruce et al. (Ed.). **Transforming food systems under climate change through innovation**. Cambridge University Press, 2023.

CANTELE, Tatiana Dias; DE CASTRO LIMA, Eudes; BORGES, Luís Antônio Coimbra. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, 2018.

CARMO, Roberto Luiz do; DAGNINO, Ricardo de Sampaio; JOHANSEN, Igor Cavallini. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 31, p. 169-190, 2014.

CASSIDY, Emily S. et al. Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. **Environmental research letters**, v. 8, n. 3, p. 034015, 2013.

CHANG, Y. et al. Quantifying the water-energy-food nexus: situação atual e tendências. **Energias** 9 (2), 65. 2016.

CHAZDON, Robin L. et al. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. **Ambio**, v. 45, n. 5, p. 538-550, 2016.

COMEXSTAT – Estatísticas de Comércio Exterior do Brasil. (2021). Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home> Acesso em: fev. 2022.

CONOVER, W. J. (1999). **Practical Non-parametric Statistics**. New York, NY: John Wiley & Sons.

CONSTANT, Natasha Louise; TAYLOR, Peter John. Restoring the forest revives our culture: Ecosystem services and values for ecological restoration across the rural-urban nexus in South Africa. **Forest Policy and Economics**, v. 118, p. 102222, 2020.

COUTINHO, Janine Giuberti; GENTIL, Patrícia Chaves; TORAL, Natacha. A desnutrição e obesidade no Brasil: o enfrentamento com base na agenda única da nutrição. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 24, p. s332-s340, 2008.

DANTAS, Iasmine Louise de Almeida et al. Viabilidade do uso de água residuária tratada na irrigação da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 109-117, 2014.

DARGIN, Jennifer; DAHER, Bassel; MOHTAR, Rabi H. Complexity versus simplicity in water energy food nexus (WEF) assessment tools. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 1566-1575, 2019.

DEFRIES, Ruth et al. Synergies and trade-offs for sustainable agriculture: Nutritional yields and climate-resilience for cereal crops in Central India. **Global Food Security**, v. 11, p. 44-53, 2016.

DEFRIES, Ruth; NAGENDRA, Harini. Ecosystem management as a wicked problem. **Science**, v. 356, n. 6335, p. 265-270, 2017.

DEPECKER, T., and F. VATIN. 2016. "Taking Stock and Yielding a Return: Agricultural Accounting, Agronomy and Chemical Statics in the Early-Nineteenth Century." **Accounting History Review**. 2016, v. 26, edição 2, 107–129.

DIAS, R. et al. Utilização de ferramentas livres para gestão do nexus água e energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Vol. 30:109-126, 2014.

DÍAZ, Sandra et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. **Science**, v. 366, n. 6471, 2019.

ELLISON, D.; MORRIS, C. E.; LOCATELLI, B.; et al. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. **Global Environmental Change**, v. 43, p. 51-61, 2017.

ENDO, Aiko; BURNETT, Kimberly; ORENCIO, Pedcris; KUMAZAW, Terukazu; WADA, Christopher; ISHII, Akira; TSURITA, Izumi; RANIGUCHI, Makoto. (2015). Methods of the Water-Energy-Food Nexus. **Water**. 7. 10.3390/w7105806.

ENDO, Aiko; TSURITA, Izumi; BURNETT, Kimberly; ORENCIO, Pedcris. (2015). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. **Journal of Hydrology: Regional Studies**. 11. 10.1016/j.ejrh.2015.11.010.

ESMAEILI, Abdoukarim; SHOKOOHI, Zainab. Assessing the effect of oil price on world food prices: Application of principal component analysis. **Energy Policy**, v. 39, n. 2, p. 1022-1025, 2011.

ESPARTA, A. Ricardo J.; LUCON, Oswaldo S.; UHLIG, Alexandre. Energia renovável no Brasil. In: **X Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro**. 2004.

FALLOON, Pete; BETTS, Richard. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—the importance of an integrated approach. **Science of the total environment**, v. 408, n. 23, p. 5667-5687, 2010.

FAO (2017). **The future of food and agriculture: trends and challenges**. *Ann. Rep.* 296, 1–180. Available online at: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.

FAO. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Global Forest Resources Assessment 2015: **How are the World's Forests Changing?** 2015

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Balance 2010. Disponível em <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>. Acesso em 2 mai. 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. Brasília, 2017.

FAO. **Walking the nexus talk: assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative**. 2014.

FEITOSA, Elis Regina Monte et al. Nexus: Agricultura familiar, energias renováveis e construção de mercados nos territórios rurais do Rio Grande do Norte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 3, p. e238969, 2021.

FERROUKHI, R. et al. Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus. **IRENA**. 2015.

FLAMMINI, Alessandro et al. Walking the nexus talk: assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. **Environment and Natural Resources Management. Working Paper (FAO) eng no. 58**, 2014.]

FREITAS, G. S., & DATHEIN, R. (2013). As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Nexos Econômicos**, 7(1), 71–94. <https://doi.org/10.9771/1516-9022rene.v7i1.8359>

GFAR - GLOBAL ALLIANCE FOR THE FUTURE OF FOOD. Toward Fossil Fuel-free Food: Why Collaboration Between Food & Energy Systems Players Is Key.n.p.: **Global Alliance for the Future of Food**, 2023. Disponível em: <https://futureoffood.org/insights/toward-fossil-fuel-free-food/>. Acesso em 7 mai. 2024.

GIATTI, Leandro L. **O nexus água-energia-alimentos e o desenvolvimento sustentável**. São Paulo, 19 jul. 2021. Disponível em: <https://pp.nexusjornal.com.br/bibliografia-basica/2021/07/19/O-nexus-%C3%A1gua-energia-alimentos-e-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 15 dezembro. 2023.

GIATTI, Leandro Luiz; BENITES, Lazaro; LUZ, Lira. **O nexus água-energia-alimentos: desafios da integração de políticas**. *Diálogos Socioambientais, [S. l.]*, v. 3, n. 09, p. 16–18, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/article/view/402>. Acesso em: 10 dezembro. 2023

GIATTI, Leandro; JACOBI, Pedro Roberto; FAVARO, Ana; EMPINOTTI, Vanessa. (2016). O nexo água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estudos Avançados**. 30. 43-61. 10.1590/s0103-40142016.30880005.

GOKGOZ, F. and GUVERCIN, M. T. (2018). Energy security and renewable energy efficiency in EU. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 96, 226–239. doi: 10.1016/j.rser.2018.07.046

GOMBEER, Sophie et al. Exploring the bushmeat market in Brussels, Belgium: a clandestine luxury business. **Biodiversity and Conservation**, v. 30, n. 1, p. 55-66, 2021.

GUIMARAES, Marcelo Macedo; PEDROZO, Eugenio Avila. NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTOS E FLORESTA: INTEGRAÇÃO NECESSÁRIA. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 13, n. 4, p. 195-211, 2021

HANSEL, Cláudia Maria; RUSCHEINSKY, Aloísio. **Riscos socioambientais e precaução: direitos humanos face a face do consumo**. Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade [recurso eletrônico] Marcia Maria Dosciatti de Oliveira et al (org.). Caxias do Sul, RS: Educs, 2017.

HAO, L., WANG, P., YU, J.; RUAN, H. (2022). An integrative analytical framework of water-energy-food security for sustainable development at the country scale: A case study of five Central Asian countries. **J. Hydrol.** 607:127530. doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.127530.

HIGH LEVEL PANEL OF EXPERTS. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. **A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security**, 2019.

HOFF, H. (2011). Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. **Stockholm Environment Institute**, Stockholm. Disponível em: <https://www.water-energy-food.org/resources/bonn2011-nexus-conference-background-paper-understanding-the-nexus-by-sei>. Acesso em 11 mai. 2024.

HOFF, H., 2011. Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 **Nexus Conference: Stock**. Environ. Inst. 1–52. Acesso em 03 mai. 2024

HUCKLEBERR, J. K., & POTTS, M. D. (2018). Constraints to implementing the food-energy-water nexus concept: Governance in the Lower Colorado River Basin. In **Environmental Science & Policy** (Vol. 92, p. 289). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.027>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5911#resultado>. Acesso em: 9 mai. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. SIDRA 2024. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7060>. Acesso em: 7 mai. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Texto para Discussão, 2022. **Produtividade Total dos Fatores na Agricultura – Brasil e Países Selecionados**. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11199/1/td_2764.pdf. Acesso em 13 jun. 2024.

INSTITUTO MAURO BORGES DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **Sobre Goiás – visão geral**. Disponível em: https://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=145. Acesso em 01 abr. 2024

INTERNACIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - IISD. **Programa água, energia & plataforma de recursos de segurança alimentar**. Disponível em: < <https://sdg.iisd.org/events/bonn-2011-conference/> > Acesso em 15 de abr. 2024

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Navegador de dados estatísticos de energia**. Disponível em <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=BRAZIL&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em 28 jun. 2024.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Renewable energy in the water, energy and food nexus**. IRENA, 2015. p. 128

JOHANSSON, R. (2000). *Pricing Irrigation Water: A Survey*. Policy Research Working Paper No. 2449. Washington, DC: The World Bank.

JUSTINO, Guilherme. **Conferência de Bonn sobre Mudanças Climáticas quer preparar terreno para avanços na COP28**. São Paulo: Um só Planeta - Clima, 5 de junho. 2023. Disponível em: < <https://umsoplaneta.globo.com/clima/noticia/2023/06/05/conferencia-de-bonn-sobre-mudancas-climaticas-quer-preparar-terreno-para-avancos-na-cop28.ghtml> > Acesso em: 1 de abr. 2024.

KADDOURA, Saeed; EL KHATIB, Sameh. Review of water-energy-food Nexus tools to improve the Nexus modelling approach for integrated policy making. *Environmental Science & Policy*, v. 77, p. 114-121, 2017.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. *Revista OESP Construção*, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.

- LANKFORD, B., BAKKER, K., ZEITOUN, M.; CONWAY, D. (2013). *Water Security: Principles, Perspectives and Practices*. New York, NY: **Earthscan; Routledge**. doi: 10.4324/9780203113202
- LECK, H. et al. Tracing the Water–Energy–Food Nexus: Description, Theory and Practice. **Geography Compass**, 9/8, p. 445–460, 2015.
- LIU, J., Hull, V., Godfray, H. C. J., Tilman, D., Gleick, P., Hoff, H., *et al.* (2018). Nexus approaches to global sustainable development. **Nature Sustainability** 1, 466–476. doi: 10.1038/s41893-018-0135-8
- MACHADO, Matheus Vieira et al. Segurança alimentar e liberalização comercial do mercado de alimentos: uma revisão sistemática. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 3, p. e256624, 2022.
- MACHEL, J. et al. The water energy food nexus – challenges and emerging solutions. **Environmental Science Water Research & Technology** 1: 15-16, 2015.
- MAPBIOMAS. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima. Disponível em <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>. Acesso em 4 mai. 2024.
- MARIANI, L. et al. Análise de oportunidades e desafios para o Nexus Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio ambiente** 37: 9-30, 2016.
- MARIANI, Leidiane et al. Análise de oportunidades e desafios para o Nexus Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 37, n. 5, p. 9-30, 2016.
- MARQUES, D. V., BARCELOS, R. L., & MAGNAGO, R. F. (2020). Alternativas para demanda de água e energia elétrica para o município de Governador Celso Ramos. In *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* (Vol. 9, p. 70). Universidade do Sul de Santa Catarina. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e0202070-90>
- MEADU V; SPILLANE C; CHALLINOR AJ; MCKEOWN PC. CAMPBELL, Bruce et al. (Ed.). **Transforming food systems under climate change through innovation**. Cambridge University Press, 2023: 1-10.
- MELO, F. P. L., ARROYO-RODRÍGUEZ, V., FAHRIG, L., MARTÍNEZ-RAMOS, M. & TABARELLI, M. **On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes**. *Trends Ecol. Evol.* 28, 462–468 (2013).
- MIOT, Hélio Amante. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 17, n. 4, p. 275-279, 2018.
- MOIOLI, Emanuele et al. Analysis of the current world biofuel production under a water–food–energy nexus perspective. **Advances in water resources**, v. 121, p. 22-31, 2018.
- MOHTAR, R. H.; DAHER, B. Water, energy, and food: The ultimate nexus. *Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering*. **CRC Press, Taylor and Francis Group**, 2012.

MOHTAR, Rabi H. **Opportunities in the Water-Energy-Food Nexus Approach: Innovatively driving economic development, social wellbeing, and environmental sustainability.** 2021.

MONTOYA, Marco Antônio; FINAMORE, Eduardo Belisário. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: Uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. **Revista Brasileira de Economia**, v. 74, p. 441-464, 2021.

MYERS, J. L., WELL, A. D.; LORCH JR, R. F. (2013). **Research Design and Statistical Analysis**, 3rd Edn. New York, NY: Routledge. doi: 10.4324/9780203726631

NAÇÕES UNIDAS. Desenvolvimento da agricultura, segurança alimentar e nutrição, Relatório do Secretário Geral, Item 25. **71ª Sessão da Assembleia Geral da UN**, Nova York. 2016.

NEWELL, Joshua P.; GOLDSTEIN, Benjamin; FOSTER, Alec. A 40-year review of food–energy–water nexus literature and its application to the urban scale. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, p. 073003, 2019.

NICOLÉTIS, Évariste et al. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. 2019. Disponível em <https://agritrop.cirad.fr/604473/1/604473.pdf>.

OLIVEIRA, Emerson Roberto de. **Percepção e aprendizado de jovens sobre o nexus água-energia-alimentos: Estudo de caso em Caraguatatuba-SP.** Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá – SP. 2018.

OLIVEIRA, Genykléa Silva de, LYRA, Clelia de Oliveira, OLIVEIRA, Angelo Giuseppe Roncalli da Costa, e FERREIRA, Maria Angela Fernandes. Redução Do Déficit De Estatura E a Compra De Alimentos Da Agricultura Familiar Para Alimentação Escolar No Brasil. *Revista Brasileira de Estudos de população*, v. 39, p. e0189, 2022.

OMER, A. et al. Water scarcity in the YellowRiver Basin under future climate change and human activities. **Science of the Total Environment**, v. 749, p. 1-13, 2020.

ONU. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento sustentável no Brasil.** Nações Unidas Brasil. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> > Acesso em 10 dezembro. 2023.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OECD/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO.OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2015. PARIS: OECD, 2015. 148 p.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Disponível em <https://www.oecd.org/en/data/indicators/meat-consumption.html#indicator-chart>. Acesso em 13 mai. 2024

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Disponível em <https://www.oecd.org/en/data/indicators/water-withdrawals.html#indicator-chart>. Acesso em 12 mai. 2024

OZTURK, Ilhan. Sustainability in the food-energy-water nexus: Evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) countries. **Energy**, v. 93, p. 999-1010, 2015.

PÄRN, J., VERHOEVEN, J.T.A., BUTTERBACH-BAHL, K. ET AL. Nitrogen-rich organic soils under warm well-drained conditions are global nitrous oxide emission hotspots. *Nat Commun* 9, 1135 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03540-1>

PEREIRA, Laura et al. Transformative spaces in the making: key lessons from nine cases in the Global South. **Sustainability Science**, v. 15, p. 161-178, 2020.

PINGALI, Prabhu L. Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. **The Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 31, p. 1-7, ano. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>.

PRADHAN, Prajal; COSTA, Luís; RYBSKI, Diego; LUCHT, Wolfgang; KROPP, Jürgen. (2017). A Systematic Study of Sustainable Development Goal (SDG) Interactions. *Earth's Future*. 5. [10.1002/2017ef000632](https://doi.org/10.1002/2017ef000632).

PREISS, Potira Viegas; SCHNEIDER, Sergio. Sistemas alimentares no século XXI: debates contemporâneos. 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/211399/001115756.pdf>. Acesso em 3 jul. 2024.

PRETTY, Jules N. et al. Farm costs and food miles: An assessment of the full cost of the UK weekly food basket. **Food policy**, v. 30, n. 1, p. 1-19, 2005.

PUTRA, M. P. I. F., PRADHAN, P., and Kropp, J. P. (2020). **A systematic analysis of water-energy-food security nexus: a South Asian case study**. *Sci. Total Environ.* 728:138451. doi: [10.1016/j.scitotenv.2020.138451](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138451)

REIS, Elizabeth et al. Estatística aplicada. **Lisboa: Edições Sílabo**, p. 21-26, 1999.

RINGLER, Claudia; BHADURI, Anik; LAWFORD, Richard. The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, n. 6, p. 617-624, 2013

ROCKSTRÖM, Johan et al. Planet-proofing the global food system. **Nature food**, v. 1, n. 1, p. 3-5, 2020.

RODRIGUES, C. J. M. **O Nexus água-energia-alimento aplicados ao contexto da Amazônia Paraense**. 2017. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2017.

SANDSTROM, V., LEHIKONEN, E.; PELTONEN-SAINIO, P. (2018). Replacing imports of crop based commodities by domestic production in Finland: potential to reduce virtual water imports. **Front. Sustain. Food Syst.** 2:67. doi: [10.3389/fsufs.2018.00067](https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00067)

SANTOS, Edson Pereira dos. **Mercado no Brasil para uso de energias renováveis e ações de eficiência energética**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-02102020-154629/>. Acesso em: 10 Jun. 2024

SOARES, H. M., SILVA, T. N. (2023). Few Nexus (nexo alimento-energia-água) na agricultura familiar: um estudo de caso na RedeCoop/RS. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 61(4), e263869. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.263869>

SCOTT, Christopher A.; KURIAN, Mathew; WESCOAT, James L. The water-energy-food nexus: Enhancing adaptive capacity to complex global challenges. In: **Governing the nexus**. Springer, Cham, 2015. p. 15-38.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil; 1975.

SILVA, Luiz Everson da Silva; ALBUQUERQUE, Ulysses Paulino de; AMARAL, Wanderlei do. Uso sustentável da biodiversidade e conservação de recursos naturais. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**. Guaju, Matinhos, v.3, n.1, p. 2-10, jan./jun. 2017.

SILVA, Paulo Renato; VIANNA, João Nildo Souza. A Região de MATOPIBA (Brasil) e o Nexus Água-Energia-Alimentos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 59, 2022. DOI: 10.5380/dma.v59i0.78325. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/78325>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SIMPSON, Gareth B.; JEWITT, Graham PW. The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: a review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, p. 8, 2019.

SLOAT, Lindsey; RAY, Deepak; GARCIA, Andrea; CASSIDY, Emily; HANSON, Craig. World Resources Institute Brasil. O mundo está cultivando mais alimentos, mas não para alimentação. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/o-mundo-esta-cultivando-mais-alimentos-mas-nao-para-alimentacao>. Acesso em: 1 jul. 2024.

SOUZA, Cintia Rodrigues de. **Dinâmica de carbono em floresta explorada e em floresta nativa não explorada na Amazônia**. 2012.

SRIVASTAVA, S; MEHTA, L. (2014) Not another Nexus? Critical Thinking on the New Security Convergence in Energy, Food, Climate and Water, **STEPS Working Paper 75, Brighton: STEPS Centre**

STEPHAN, R. M., MOHTAR, R. H., DAHER, B., EMBIDIRUJO, A., HILLERS, A., GANTER, J. C., *et al.* (2018). Water–energy–food nexus: a platform for implementing the Sustainable Development Goals. *Water Int.* 43:472. doi: 10.1080/02508060.2018.1446581

STEPHAN, Raya Marina et al. Water–energy–food nexus: a platform for implementing the Sustainable Development Goals. **Water International**, v. 43, n. 3, p. 472-479, 2018.

TILMAN, David et al. Beneficial biofuels—the food, energy, and environment trilemma. **Science**, v. 325, n. 5938, p. 270-271, 2009. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1177970>.

UNESCO - United Nations World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2014: **Water and Energy**, 2014. v. 1. Paris: UNESCO, 2014.

VAN NOORDWIJK, Meine et al. Restoration of land based on nature centered on people through agroforestry systems: a typology. **Land**, v. 9, n. 8, p. 251, 2020.

VALIN, Hugo et al. The land use change impact of biofuels consumed in the EU: Quantification of area and greenhouse gas impacts. 2015ECOFYS Netherlands B.V., Utrecht, Netherlands. BIENL13120. Disponível em <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/12310/>

VICCARO, Mauro et al. Biofuels or not biofuels? The “Nexus Thinking” in land suitability analysis for energy crops. **Renewable Energy**, v. 187, p. 1050-1064, 2022.

WAUGHRAY, D. (2011). Water Security: The Water-Food-Energy-Climate Nexus. **The World Economic Forum Water Initiative**. Washington, DC: Island Press.

WORLD BANK (2024). World Bank and Federal and State Governments Join Forces to Support Family Farmers in Brazil. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/11/07/brazil-world-bank-federal-state-governments-support-family-farmers>

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - WWAP. The United Nations World Water Development Report 2016: water and jobs. Paris: UNESCO, 2016. 164 p.

XU, X., SHARMA, P., SHU, S. et al. Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. **Nat Food** 2, 724–732, 2021.

ZHANG, P., ZHOU, Y., XIE, Y., WANG, Y., LI, B., LI, B., JIA, Q., YANG, Z., CAI, Y. (2021). Assessment of the water-energy-food nexus under spatial and social complexities: A case study of Guangdong-Hong Kong-Macao. **Journal of environmental management**, 299, 113664. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113664>

ZUREK, Monika; HEBINCK, Aniek; SELOMANE, Odirilwe. Climate change and the urgency to transform food systems. **Science**, v. 376, n. 6600, p. 1416-1421, 2022.

ANEXOS

Tabela A1 – Variáveis e Indicadores empregados no cálculo das correlações de Spearman

Variáveis do Eixo Água							
Descrição	W1 - Volume	W2- Tratada em ETA	W3 - Eficiência	W4 - Área de Rios	W5 -Irrigação	W6 - Indústria	W7 - Abastecimento Urbano
Unidade	M3/ segundo	M3/ segundo	USD/M3	Hectares	M3/segundo	M3/ segundo	M3/ segundo
2008	1.883,137	1.406,511	0,30	368.927	595,43	103,91	88,41
2009	2.253,560	1.692,820	0,28	368.366	505,04	109,44	89,58
2010	1.831,886	1.369,194	0,27	395.347	645,88	110,26	89,57
2011	1.862,165	1.349.450	0,32	408.073	617,78	117,63	90,59
2012	1.847,025	1.336,268	0,34	401.374	783,39	117,24	91,58
2013	1.814,620	1.299,406	0,41	383.879	678,25	115,74	95,12
2014	1.783,340	1.272,637	0,44	369.220	742,77	110,77	96,19
2015	1.726,170	1.230,194	0,44	357.639	777,07	104,95	97,27
2016	1.687,155	1.192,297	0,42	342.179	806,17	101,73	98,23
2017	1.689,019	1.183,769	0,39	335.571	792,13	101,71	99,23
2018	1.577,501	1.122,492	0,40	339.841	728,12	105,12	100,12
2019	1.649.350	1.169,192	0,36	339.791	743,51	108,73	101,14
2020	1.654,698	1.183,956	0,51	356.918	765,50	112,54	102,16
Continua...							

Descrição	W8 Abastecimento Rural	W9 - Mineração	W10 - Termelétrica	W11 - População com acesso a Água	W12 - Retirada de água	W13 - População com acesso a Esgoto	W14 - Volume tratado de Esgoto
Unidade	M3/ segundo	M3/ segundo	M3/ segundo	Habitantes	Milhões em M3/ segundo	Habitantes	1000 M3/ano
2008	29,57	7,50	1,57	146.385,592	53.888,0	74.995,655	2.660,548,00
2009	29,30	6,36	1,29	165.688,582	55.668,2	99.425,658	3.930,433,00
2010	28,68	7,22	1,67	165.688,582	52.335,2	101.636,308	3.930,433,00
2011	28,42	7,77	1,55	165.688,582	58.846,9	101.636,308	3.930,433,00
2012	28,15	8,29	2,00	155.523,810	57.983,4	90.735,564	3.540.786,82
2013	28,63	7,42	2,63	159.964,320	65.003,0	94.335,251	3.579.334,91
2014	28,32	7,73	3,09	163.236,203	62.877,0	98.006,500	3.763.859,68
2015	28,04	8,70	3,18	164.765,593	64.175,8	99.425,658	3.805.021,69
2016	27,78	9,16	2,39	166.611,571	65.054,3	103.846,957	4.055.844,31
2017	27,57	9,62	2,45	167.749,126	66.583,8	105.248,042	4.178.781,32
2018	27,07	10,08	2,89	169.085,425	66.033,4	107.480,164	4.301.585,50
2019	26,88	10,53	3,06	170.804,516	62.877,0	110.300,342	4.516.113,55
2020	26,67	10,92	3,62	175.451,089	62.877,0	114.615,022	4.768.718,27

Variáveis do Eixo Energia							
Descrição	E1 - GLP	E2 - Energia Renovável	E3 - Intensidade	E4 - Emissão de CO2	E5 - Agricultura	E6 - Per capita	E7 - Solar
Unidade	Mil tep	Porcentagem	Megajoule/PIB	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora	Mil tep
2008	7.585	47,03	3,9	132,7	16.600,0	45324	262
2009	7.446	48,92	3,7	133,6	17.695,8	45324	294
2010	7.701	46,81	3,8	147,8	21.460,0	45384	332
2011	8.000	45,25	3,7	152,4	23.267,8	45384	373
2012	8.023	43,48	3,8	158,3	23.785,8	45414	420
2013	8.314	42,32	3,9	163,6	26.580,8	45445	476
2014	8.363	41,71	4,0	170,9	26.790,0	45445	539
2015	8.258	43,62	4,0	168,1	28.241,9	45445	605
2016	8.267	45,46	4,0	167,5	28.735,8	45414	667
2017	8.304	45,32	4,1	170,7	30.413,9	45445	785
2018	8.189	46,94	3,9	174,0	32.524,4	45445	1060
2019	8.135	47,57	3,9	181,4	33.881,4	45445	1385
2020	8.357	50,05	4,0	180,2	32.287,5	45445	1791
							Continua...

Descrição	E8 - Eólica	E9 - Biocombustível	E10 - Hidroelétrica	E11 - Carvão	E12 - Petróleo	E13 - Gás Natural	E14 - Importação
Unidade	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora	Gigawatt-hora
2008	837,0	19.817,0	369.556,0	12.076,0	17.554,0	28.778,0	182.444,4
2009	1.238,0	22.602,0	390.988,0	9.782,0	14.639,0	13.332,0	106.444,4
2010	2.177,0	31.463,0	403.289,0	11.338,0	16.065,0	36.475,0	168.722,2
2011	2.705,0	32.434,0	428.333,0	12.379,0	14.596,0	25.095,0	193.111,1
2012	5.050,0	35.705,0	415.342,0	14.039,0	19.184,0	46.760,0	227.305,6
2013	6.579,0	40.841,0	390.992,0	21.436,0	26.193,0	69.002,0	308.777,8
2014	12.211,0	47.079,0	373.439,0	26.362,0	37.563,0	83.816,0	287.750,0
2015	21.626,0	49.533,0	359.743,0	26.888,0	30.896,0	82.600,0	171.972,2
2016	33.488,0	51.335,0	380.911,0	25.289,0	16.399,0	60.561,0	52.638,9
2017	42.373,0	52.912,0	370.906,0	22.422,0	16.956,0	70.518,0	24.250,0
2018	48.475,0	54.382,0	388.971,0	20.427,0	13.690,0	59.263,0	-13.583,3
2019	55.985,0	54.920,0	397.877,0	21.309,0	11.806,0	65.570,0	-76.722,2
2020	57.050,0	58.741,0	396.381,0	17.539,0	12.232,0	59.480,0	-210.472,2

Variáveis do Eixo Alimentos							
Descrição	F1 - Desnutrição	F2 - Obesidade	F3 - Emissões de CO2	F4 - Índice do Agro	F5 - Índice Cereais	F6 - Agricultável	F7 - Produções de Cereais
Unidade	Porcentagem	Porcentagem	Mt/C02	Porcentagem	Porcentagem	Porcentagem	Toneladas
2008	3,08	9,49	17,9	85,64	84,4	66,98	145.252,872
2009	3,04	9,24	17,4	84,21	76,68	67,07	134.125,685
2010	3,13	9,22	18,2	88,96	79,47	67,17	148.854,106
2011	2,98	9,27	16,8	93,15	83,58	67,24	159.450,570
2012	2,98	8,96	17,5	92,18	92,86	67,44	163.673,175
2013	2,91	9,61	17,5	97,55	103,41	67,63	186.951,434
2014	2,86	9,87	18,2	99,19	104,32	67,79	193.483,938
2015	2,85	7,89	18,3	101,75	87,17	67,92	210.402,012
2016	2,89	8,82	17,9	99,06	119,36	68,02	183.906,314
2017	3,15	7,21	19,2	106,81	105,50	68,11	242.000,265
2018	2,73	6,74	18,8	107,7	120,68	68,14	226.183,249
2019	2,69	7,34	19,1	110,08	125,45	68,29	240.742,227
2020	2,88	7,33	19,4	112,89	113,77	68,42	251.992,899
							Continua...

Descrição	F8 - Fertilizantes	F9 - Importação	F10 - Não Agricultável	F11 - PTF	F12 - Consumo de Carne	F13 – Fornecimento	F14 – Movimentação
Unidade	Toneladas/ano	Peso (kg)	Porcentagem	Porcentagem	Toneladas	Toneladas	Toneladas
2008	22.429.000	5.863,171	33,02	309,11	16.827,9	27.981,9	489,0
2009	22.400.000	2.535,229	32,93	307,60	16.412,0	29.332,0	489,0
2010	24.516.186	2.581,206	32,83	319,10	18.799,8	31.612,8	434,8
2011	28.326.255	3.455,177	32,76	340,83	19.349,4	32.401,4	454,0
2012	29.255.775	3.041,204	32,56	343,92	19.450,6	33.280,6	452,9
2013	30.700.397	2.907,942	32,37	366,50	19.926,3	33.352,3	450,5
2014	32.209.066	15.759,826	32,71	368,63	19.889,9	34.027,9	464,7
2015	30.201.998	2.789,122	32,08	374,24	20.007,4	33.364,4	491,2
2016	34.083.415	3.666,576	31,98	368,66	20.016,0	36.072,0	503,4
2017	34.438.840	3.079,084	31,89	395,18	20.431,7	35.115,7	538,3
2018	35.506.300	2.423,067	31,86	398,42	20.520,5	36.424,5	569,4
2019	36.238.381	1.703,354	31,71	397,10	20.735,0	35.091,0	494,5
2020	40.564.138	2.283,196	31,58	378,25	20.743,9	37.189,0	489,0