

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PROPOSTA DE MODELO QUANTITATIVO E
INTEGRADO DE AVALIAÇÃO DO NEXO ENTRE
ALIMENTO, ENERGIA E ÁGUA EM MUNICÍPIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

ARNO PEDRO CLASEN

SÃO PAULO

2021

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PROPOSTA DE MODELO QUANTITATIVO E
INTEGRADO DE AVALIAÇÃO DO NEXO ENTRE
ALIMENTO, ENERGIA E ÁGUA EM MUNICÍPIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho

Área de concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção

Linha de pesquisa: Avanços em Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial

Projeto de Pesquisa: Ecologia industrial: Aplicação de conceitos visando à sustentabilidade.

ARNO PEDRO CLASEN

SÃO PAULO

2021

Ficha catalográfica

Clasen, Arno Pedro.

Proposta de modelo quantitativo e integrado de avaliação do nexo entre alimento, energia e água em municípios / Arno Pedro Clasen. - 2021.

161 f. : il. color. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2021.

Área de concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho.

1. Aquecimento global. 2. Cidades resilientes. 3. Contabilidade de fluxos materiais. 4. Energia incorporada. 5. FEW nexus. 6. Santos. I. Agostinho, Feni Dalano Roosevelt (orientador). II. Título.

ARNO PEDRO CLASEN

**PROPOSTA DE MODELO QUANTITATIVO E INTEGRADO
DE AVALIAÇÃO DO NEXO ENTRE ALIMENTO,
ENERGIA E ÁGUA EM MUNICÍPIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Data da Aprovação: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

_____/_____/_____
Prof. Orientador Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho
Universidade Paulista - UNIP

_____/_____/_____
Prof. Dra. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida
Universidade Paulista - UNIP

_____/_____/_____
Prof. Dr. Luca Coscieme
Hot or Cool Institute gGmbH

*Aos meus pais, pela excelente
educação que me deram e por me
incentivarem a buscar novos
conhecimentos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho, pela paciência, competência, envolvimento no desenvolvimento deste projeto e que me apresentou à pesquisa científica, acrescentando-me melhores e profundos conhecimentos.

Aos meus pais, Arno Clasen e Sandra Regina Berns, que sempre me orientaram na busca por sabedoria e conhecimento e se doaram para que esse sonho fosse possível. À minha irmã, Bárbara, pelo incentivo, compreensão e apoio incontestável ao longo dessa realização.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação, Drs. Biagio Giannetti, Cecília Almeida e Fábio Sevegnani, pelo compartilhamento de conhecimento e contribuição ativa ao longo de todo o curso.

Aos Professores membros da banca examinadora, Drs. Feni Dalano Roosevelt Agostinho, Cecília Almeida e Luca Coscieme, pelas preciosas sugestões para enriquecer este trabalho.

Ao Engenheiro e Professor Márcio Lara, pelo carinho e interesse pela minha evolução pessoal e profissional, e no suporte e reconhecimento da importância do projeto para o município de Santos e outros municípios.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Paulista de Santos, que fizeram parte do meu desenvolvimento como profissional, através de ensinamentos e conselhos ao longo desses anos.

Aos discentes do grupo de pesquisa, que se tornaram amigos, pelas contribuições e pelos momentos de descontração no laboratório. Em especial, Márcio Costa, Serafim e Tamara, pela amizade.

À querida Emanoella, pelo companheirismo e carinho.

Aos amigos, Danilo e Gabriel, pelas boas risadas e amizade.

Ao Erasmus+ programme, que permitiu realizar parte deste projeto na “Gheorghe Asachi” Technical University de Iasi (Romênia) em cooperação com a Universidade Paulista, São Paulo.

À bolsa de estudos concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

RESUMO

Embora reconhecendo a importância do alimento, energia e água (FEW) na sustentação da vida e o bem-estar humano, pouco se entende do nexo existente entre eles, pois encontra-se na literatura científica avaliações não integradas, complexas e em escalas maiores como países, dificultando a tomada de decisões em escalas municipais. Este trabalho propõe um modelo para avaliar quantitativamente e de forma integrada o FEW nexus de municípios. Os fluxos FEW são quantificados e avaliados comparativamente para verificar qual possui maior ou menor influência, direta e indiretamente, sobre a demanda de fluxos FEW do município. Sob uma perspectiva tridimensional das relações entre os elementos FEW, o modelo CUBO é proposto para quantificar essa relação de forma integrada. O município de Santos é considerado como estudo de caso principal, e oito outros municípios brasileiros também são considerados para permitir uma avaliação comparativa. Os resultados mostram que o município de Santos utilizou em 2018 a quantidade de $2,51E+07$ m³H₂O_{eq.}, $1,20E+10$ MJ_{fossil-eq.}, e $6,87E+08$ kgCO_{2-eq.}, em que o alimento é o fluxo que mais influenciou na demanda de água e nas emissões de CO₂, e o fluxo energia mais influenciou na demanda de energia fóssil. De forma integrada, o FEW nexus para Santos localiza-se na região do CUBO denominada como de segurança, tem condição estável e vetor FEW com comprimento de 0,80, obtendo o melhor desempenho entre os nove municípios avaliados. Para melhorar o desempenho do FEW nexus de Santos sugerem-se políticas públicas focadas à produção local/regional de alimentos, reutilização de resíduos orgânicos, substituição da proteína de carne vermelha por proteína de peixe, viabilização da geração de energia através das marés, utilização de placas fotovoltaicas em obras civis, e captação da água da chuva para fins não potáveis. A avaliação da simplicidade-complexidade do modelo CUBO alcançou a pontuação 7, indicando baixa complexidade, além disso, o modelo CUBO apresenta critérios claros e fortes para o entendimento do FEW nexus em municípios. Espera-se que o modelo CUBO possa ser utilizado em futuros estudos como uma alternativa para subsidiar políticas públicas em busca de municípios resilientes.

Palavras-chave: Aquecimento global, Cidades resilientes, Contabilidade de fluxos materiais, Energia incorporada, FEW nexus, Santos.

ABSTRACT

While recognizing the importance of food, energy, and water (FEW) in sustaining human life and well-being, little is understood on the nexus between them, as there are in the scientific literature non-integrated, complex, and larger scales evaluations such as countries, which makes it difficult to make decisions in municipal scales. This work proposes a model to evaluate quantitatively and in an integrated way the FEW nexus of municipalities. First, FEW flows are quantified and comparatively evaluated to verify which has the greater or lesser influence, directly and indirectly, on the demand for municipality's FEW flows. From a three-dimensional perspective of the relationships between the FEW elements, the CUBO model is proposed to quantify this relationship in an integrated manner. The municipality of Santos is considered as the main case study, and eight other Brazilian municipalities are also considered to allow a comparative assessment. The results show that the municipality of Santos used in 2018 the amount of $2.51E+07 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}$, $1.20E+10 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}$, and $6.87E+08 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}$, where food is the flow that most influenced water demand and CO_2 emissions, and energy flow most influenced fossil energy demand. In an integrated way, the FEW nexus for Santos is located in the region of the CUBO called security, has stable condition and FEW vector length of 0.80, obtaining the best performance among the nine municipalities evaluated. To improve the performance of the FEW nexus of Santos it is suggested public policies focused on local/regional food production, reuse of organic waste, substitution of red meat protein by fish protein, making it possible to generate energy through tides, use of photovoltaic panels in civil works, and capture rainwater for non-potable purposes. The simplicity-complexity assessment of the CUBO model reached the score 7, in addition, the CUBO model presents clear and scientifically strong criteria for understanding the FEW nexus in municipalities. It is expected that the CUBO model can be used in future studies as an alternative to support public policies in search of resilient municipalities.

Keywords: Global Warming, Resilient Cities, Material Flow Accounting, Embodied Energy, FEW Nexus, Santos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura conceitual que combina o FEW nexus com o ELS proposto por Biggs et al. (2015).	23
Figura 2: Estrutura de fatores representativos no FEW nexus.	30
Figura 3: Modelo conceitual do nexo entre os fluxos de alimento, energia e água, e seus respectivos indicadores a serem considerados neste trabalho para avaliar municípios.	45
Figura 4: Modelo proposto para avaliação do FEW nexus de municípios.	49
Figura 5: Modelo de um "boxplot" e suas regiões.	53
Figura 6: "Boxplot" aplicado para este trabalho e seus "outliers".	54
Figura 7: Passos para avaliação das ferramentas propostas.	56
Figura 8: Localização do Município de Santos (SP), incluindo a área continental e a ilha.	60
Figura 9: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Santos em 2018. Dados da Tabela 3 normalizados de acordo com a Equação 1.	63
Figura 10: FEW nexus para o município de Santos em 2018.	66
Figura 11: Projeções ortogonais do CUBO. (a) vista lateral direita (F-E); (b) vista frontal (E-W); e, (c) vista superior (F-W).	67
Figura 12: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Águas de São Pedro. Dados da Tabela 5 normalizados de acordo com a Equação 1.	74
Figura 13: FEW nexus para o município de Águas de São Pedro em 2018.	76
Figura 14: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Barra do Turvo. Dados da Tabela 7 normalizados de acordo com a Equação 1.	78
Figura 15: FEW nexus para o município de Barra do Turvo em 2018.	79

Figura 16: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Cubatão. Dados da Tabela 9 normalizados de acordo com a Equação 1.	81
Figura 17: FEW nexus para o município de Cubatão em 2018.	83
Figura 18: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Diadema. Dados da Tabela 11 normalizados de acordo com a Equação 1.	85
Figura 19: FEW nexus para o município de Diadema em 2018.	86
Figura 20: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Nova Campina. Dados da Tabela 13 normalizados de acordo com a Equação 1.	88
Figura 21: FEW nexus para o município de Nova Campina em 2018.	89
Figura 22: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Ribeirão Branco. Dados da Tabela 15 normalizados de acordo com a Equação 1.	91
Figura 23: FEW nexus para o município de Ribeirão Branco em 2018.	93
Figura 24: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para São Caetano do Sul. Dados da Tabela 17 normalizados de acordo com a Equação 1.	95
Figura 25: FEW nexus para o município de São Caetano do Sul em 2018.	96
Figura 26: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para São Paulo. Dados da Tabela 19 normalizados de acordo com a Equação 1.	98
Figura 27: FEW nexus para o município de São Paulo em 2018.	100
Figura 28: Resultado para o FEW nexus dos 9 municípios estudados.	108
Figura 29: Projeções ortogonais do CUBO para as 9 cidades estudadas. (a) vista lateral direita (F-E); (b) vista frontal (E-W); e, (c) vista superior (F-W).	109
Figura 30: Estrutura holística para políticas públicas no estudo do nexu.	118
Figura 31: Estrutura de integração vertical para políticas públicas no estudo do nexu.	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Artigos utilizados na revisão de literatura divididos por seções.....	21
Tabela 2: Limites estabelecidos para o modelo CUBO.	55
Tabela 3: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Santos em 2018.	62
Tabela 4: Critérios propostos para a definição das regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW em municípios.	65
Tabela 5: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Águas de São Pedro.	73
Tabela 6: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de Águas de São Pedro.	75
Tabela 7: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Barra do Turvo.	77
Tabela 8: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de Barra do Turvo.	78
Tabela 9: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Cubatão.....	80
Tabela 10: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de Cubatão.....	82
Tabela 11: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Diadema.....	84
Tabela 12: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de Diadema.	85
Tabela 13: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Nova Campina.	87
Tabela 14: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de Nova Campina.	89
Tabela 15: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Ribeirão Branco.	90
Tabela 16: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de Ribeirão Branco.....	92
Tabela 17: Quantificação dos fluxos FEW para o município de São Caetano do Sul.	94

Tabela 18: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de São Caetano do Sul.	96
Tabela 19: Quantificação dos fluxos FEW para o município de São Paulo.....	97
Tabela 20: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW no município de São Paulo.....	99
Tabela 21. Índice de Complexidade.	102
Tabela 22: Hierarquia e classificação dos municípios.....	116

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Sustentabilidade e objetivos do desenvolvimento sustentável (ODSs)	21
3.2 Princípios do conceito FEW nexus	25
3.3 Métodos e ferramentas para quantificar o FEW nexus	27
3.4 Modelando o nexu	31
3.5 Avaliações e estudos de caso	36
4. PROPOSTA DE MODELO QUANTITATIVO E INTEGRADO PARA AVALIAR O NEXO ENTRE ALIMENTO, ENERGIA E ÁGUA EM MUNICÍPIOS	45
4.1 Modelando os recursos FEW	45
4.2 Proposta de avaliação quantitativa e integrada do FEW nexus: CUBO	47
4.2.1 Critérios propostos para definir as regiões de desempenho do nexu entre os fluxos FEW: CUBO	50
4.3 Passos para aplicação do modelo quantitativo e integrado do FEW nexus	55
4.4 Forma de análise dos resultados: CUBO	57
4.4.1 Classificação da região no CUBO	57
4.4.2 Análise do fator limitante	58
4.4.3 Quantificação do comprimento do vetor FEW	59
5. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	60
5.1 Aplicação do modelo no município de Santos	60
5.1.1 Fonte de dados	60
5.1.2 Desempenho dos fluxos FEW para o Município de Santos	61
5.1.3 Aplicação do modelo de análise integrada do FEW nexus em Santos	64
5.1.4 Sugestões para políticas públicas no município de Santos	67
5.2 Utilização do modelo proposto em outros municípios	72
6. DISCUSSÕES	101
6.1 Análise da simplicidade-complexidade do modelo CUBO proposto	101
6.2 Discussão sobre o estudo de caso	107
6.2.1 Hierarquia dos Municípios	107
6.2.2 Importância para políticas públicas	117
7. CONCLUSÕES	121
7.1 Modelo de avaliação: CUBO	121
7.2 Estudos de caso	121

8. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	123
REFERÊNCIAS.....	124
Anexo 1. Aquisição alimentar domiciliar per capita anual, por Grandes Regiões, segundo os grupos de produtos - Brasil - período 2017-2018.....	132
Anexo 2. Rubrica do índice de complexidade.....	133
Apêndice A. Coeficientes de Consumo direto e indireto de Água (em m ³ H ₂ O _{eq.}), de Energia Incorporada (em MJ _{eq.}) e Potencial de Aquecimento Global (em kgCO _{2-eq.}). 135	135
Apêndice B: Critérios estabelecidos para definir os limites inferior e superior, mínimo e máximo: Alimento.	140
Apêndice C: Critérios estabelecidos para definir os limites inferior e superior, mínimo e máximo: Água.	144
Apêndice D: Critérios estabelecidos para definir os limites inferior e superior, mínimo e máximo: Energia.	149
Apêndice E: “Boxplot” alimento (em Kcal/pessoa.dia).....	157
Apêndice F: “Boxplot” água (em L/pessoa.dia)	158
Apêndice G: “Boxplot” energia (em kWh/pessoa.dia)	159
Apêndice H. Possibilidades de classificação do FEW nexus.....	160
Apêndice I. Consumo de alimento, energia e água para os municípios estudados.	161

1. INTRODUÇÃO

As preocupações sobre os impactos das atividades antrópicas no meio ambiente vêm crescendo nas últimas décadas, sendo consideradas de mesma importância quando comparadas às questões econômicas. Especial atenção tem sido dada às mudanças climáticas e aos recursos que estão sendo utilizados a taxas superiores à sua capacidade natural de regeneração. Hall e Day Jr. (2009) citam o termo “pico de tudo”, incluindo-se água, solo, biodiversidade e uma série de outros recursos naturais não contabilizados pela teoria econômica convencional, mas que estão sendo reduzidos devido à crescente demanda de recursos energéticos e de materiais pela sociedade.

Mesmo reconhecendo a importância do “pico de tudo” sobre a sustentabilidade da sociedade mundial, a população continua crescendo paralelamente à redução da disponibilidade de recursos naturais. De acordo com World Oil Outlook (2018), a demanda por energia primária crescerá em 33% para o período entre 2015-2040. Até 2050, a demanda por energia (total) quase dobrará, e a demanda por água e alimentos deverá aumentar em mais de 50% (FERROUKHI et al., 2015). Segundo dados da UNESCO (2015), a demanda global de água deverá aumentar em 55% até 2050, devido, principalmente, às crescentes demandas de manufatura, geração de eletricidade e uso doméstico. Entre 60%-80% do uso global de água antropogênica é dedicado à irrigação para a produção de alimentos (GERBENS-LEENES, 2009). Esses números indicam que quanto maior o crescimento populacional, maior será a demanda por recursos, e essa tendência se manterá a curto e médio prazos.

De acordo com Ferraço e Moraes (2018), apesar da abundância em recursos hídricos, o Brasil ainda não apresenta uma gestão de recursos de modo sustentável, evidenciado durante as crises hídricas nas regiões Sudeste e Centro-oeste de alguns anos atrás. Todo processo que envolva recursos hídricos, sendo captação, transporte, distribuição, coleta de águas residuais, tratamento para descarte e reutilização de água, depende de energia (MENG et al., 2019); de forma análoga, em um cenário de elevada demanda de energia para as próximas décadas, resultará em um considerável aumento no consumo de água, seja nos processos de extração e processamento de combustíveis, ou mesmo na geração de eletricidade (TIDWELL e MORELAND, 2016). Além disso, energia e água são insumos cruciais para a produção, processamento, transporte e preparação de alimentos (FERROUKHI et al.,

2015). Essa relação de dependência evidencia a existência de umnexo, uma relação de interdependência entre alimento, energia e água (do inglês *“food, energy and water”*, cuja sigla é “FEW”).

O FEW nexus foi identificado em 2008, durante uma reunião anual do World Economic Forum (WEF; WORLD ECONOMIC FORUM, 2011) e, em 2011, foi identificado como um risco global (VAN DER ELST e DAVE, 2011). Ainda em 2011, na Conferência de Bonn, na Alemanha, sobre o tema “Soluções para Economia Verde” recomendou-se que a seguridade entre os três recursos do FEW fosse considerada de maneira integrada e a garantia dessa interdependência fosse identificada e considerada em tomadas de decisão (HOFF, 2011). Em 2014, durante a conferência “Sustentabilidade do FEW nexus” (GWSP, 2014), políticos e a comunidade acadêmica enfatizaram sobre a necessidade de desenvolver estratégias que mostrem uma abordagem compreensiva do FEW nexus.

O entendimento da complexa e dinâmica inter-relação FEW oferece a oportunidade de prever potenciais trocas e sinergias entre esses recursos e oferecer respostas viáveis que atendam ao interesse dos diferentes setores envolvidos (LEAL et al., 2018). Para a Organização das Nações Unidas (ONU) para alimentação e agricultura (DUBOIS et al., 2014), a abordagem para estudar o FEW nexus considera igualmente as diferentes dimensões dos três fatores e reconhece a interdependência do uso desses recursos para o desenvolvimento sustentável. Os objetivos da avaliação do FEW nexus postulam metas relacionadas com os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS; AGENDA 2030, 2019) incluindo, além de outras, (i) acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhoria na nutrição e promover a agricultura sustentável (ODS2); (ii) assegurar disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos (ODS6); e (iii) garantir o acesso à energia, confiável, sustentável e moderna para todos (ODS7) (RINGLER et al., 2016).

Muitos trabalhos que avaliaram o FEW nexus estão disponíveis na literatura científica e, de forma geral, podem ser classificados em: (i) revisão de literatura; (ii) princípios e conceitos; (iii) relação com sustentabilidade e os ODSs; (iv) métodos e ferramentas; (v) modelando e avaliando o nexo; e, (vi) nexo no governo. Porém, a grande maioria discute sobre definições e conceitos, existindo um vácuo sobre aspectos quantitativos. Por exemplo, os poucos estudos que objetivam quantificar o FEW nexus focam em regiões específicas e/ou em diferentes escalas de avaliação,

além de não integrarem os três recursos FEW nas discussões. Entre outros, Al-Ansari et al. (2015) estudaram o setor de produção de alimentos no Catar, mostrando que com a implantação de sistema fotovoltaico poderia reduzir o potencial de aquecimento global em 30% e ter um retorno do investimento após três anos. Frankowska et al. (2019) avaliaram os impactos ambientais dos oito vegetais mais consumidos no Reino Unido, enfatizando que a demanda por energia primária variou de 12 a 36 MJ/kg e 40% dos vegetais importados são provenientes de países com problemas de água, resultando em uma pegada hídrica várias vezes maior do que nos vegetais cultivados no Reino Unido. Schlör et al. (2018) calcularam o índice de resiliência de 69 cidades no mundo, onde Copenhague apresentou o melhor desempenho com 0,948 - São Paulo obteve o índice de 0,706. Outros trabalhos podem ser citados: Mercure et al., 2019; Mahlkecht e González-Bravo, 2018; Miller-Robbie et al., 2017; Ringler et al., 2016; Owen et al., 2018; Mohtar e Daher, 2012, Allouche et al., 2014, Flammini et al., 2014, cada um considerando diferentes escalas de avaliação, em que os elementos do FEW são avaliados separadamente, e focando em aspectos conceituais e/ou qualitativos do FEW, mas nenhum apresenta ou é baseado em uma avaliação quantitativa e integrada.

Em relação à escala, os centros urbanizados merecem atenção especial, pois abrigam 55% da população mundial (DESA, 2018; com potencial de atingir 68% em 2050) e é um consumidor líquido de energia e materiais, além de gerar grande quantidade de resíduos. Jenerette e Larsen (2006) estimam que os centros urbanizados do mundo demandam de 27 a 621 vezes sua área física para conseguir fornecer/captar sua necessidade de água de forma sustentável. Assim, centros urbanizados mostram-se como importantes sistemas a serem considerados nas avaliações do FEW nexus.

Avaliando o FEW nexus no município de Munique, Gondhalekar e Ramsauer (2017) consideraram aspectos conceituais em suas discussões para mostrar a importância das inter-relações entre alimento, energia e água para o desenvolvimento sustentável do município. Alguns trabalhos consideraram regiões do Brasil para avaliar o FEW nexus, por exemplo, no contexto da Amazônia Paraense, Rodrigues et al. (2017) discutem as relações entre os municípios Paraenses, utilizando indicadores econômicos e sociais (IDH e PIB). Em outro trabalho, Giatti et al. (2016) avaliaram o FEW nexus da Metrópole Paulista a partir de uma abordagem teórica, com o objetivo

de motivar o debate do nexo e estimular pesquisas e intervenções. Mesmo que estudos do FEW nexus em municípios estão ganhando cada vez mais importância, não foi encontrado na literatura científica um procedimento (métricas, indicadores e análise) padrão sugerido para ser utilizado em estudos do FEW nexus em municípios. Da mesma forma, Rising (2020) explica que há inconsistência em todos os modelos propostos e é preciso estabelecer critérios e seguir etapas antes da tomada de decisão para evitar erros. De acordo com Artioli et al. (2017), os municípios são uma parte inextricável das interdependências do nexo, mas permanecem à margem da pesquisa e da política. Nesse contexto, tem havido um apelo para urbanizar a pesquisa do nexo (ARTIOLI et al., 2017). Devido à importância de se avaliar o FEW nexus de centros urbanizados, simultaneamente à ausência de publicações e procedimentos padronizados existentes na literatura científica, entende-se como importante estudar o FEW nexus de municípios, explicitando criteriosamente os modelos e indicadores utilizados.

Dentre os mais de 5500 municípios do Brasil, Santos, localizado no litoral do estado de São Paulo merece atenção especial, pois trata-se de um município fortemente urbanizado, abrangendo o maior Porto da América Latina, possui extensas camadas de Pré-sal o que o torna potencial produtor de petróleo, e elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (0,840; IBGE, 2018). Altamente dependente de recursos FEW externos e essenciais para o seu desenvolvimento, Santos está em fase de expansão em sua infraestrutura e população, tornando-o um excelente estudo de caso sobre o nexo de seu FEW para subsidiar seu planejamento estratégico (plano diretor).

Este trabalho propõe um modelo de avaliação quantitativa e integrada do FEW nexus e o aplica em detalhes considerando o município de Santos como estudo de caso para 2018. Outros municípios também são considerados como estudos de caso para obter uma amostra maior e verificar potencialidades da aplicação do modelo de avaliação proposto. Espera-se que o diagnóstico a ser obtido possa ser útil para subsidiar, de forma científica, decisões mais robustas sobre o planejamento de municípios em busca de sua resiliência ao longo dos anos, como preconizado pelos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODSs) da Agenda 2030. Espera-se também que a abordagem metodológica utilizada neste trabalho possa ser

considerada como referência e oportunamente aplicada em outros municípios e regiões.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Propor e aplicar um modelo de avaliação quantitativa e integrada do FEW nexus em municípios.

2.2 Objetivos Específicos

- a) A partir de uma extensa revisão da literatura, propor um método de avaliação quantitativa e integrada do FEW nexus de municípios;
- b) Avaliar a usabilidade do modelo proposto através de sua complexidade;
- c) Aplicar o modelo proposto no município de Santos de forma mais detalhada, e em outros municípios para avaliar as potencialidades de aplicação do modelo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A estrutura desta Revisão foi escolhida com base na leitura de artigos sobre o FEW nexus, entendendo que a sua maioria focam em setores específicos bem diferenciados entre si, que são estabelecidos como subtítulos desta seção de revisão. A Tabela 1 mostra a divisão dos artigos citados em cada seção.

Tabela 1: Artigos utilizados na revisão de literatura divididos por seções.

Estrutura da Revisão de Literatura	Artigos
Sustentabilidade e ODSs	Mohtar, 2016; Stephan et al., 2018; Biggs et al., 2015; Yi et al., 2020; Yuan et al., 2020.
Princípios do conceito FEW Nexus	Arthur et al., 2019; Hoff, 2011; Moumouni et al., 2014; Sanders e Webber, 2012; Flammini et al., 2014; Albrecht et al., 2018; Liu et al., 2017; Zhang et al., 2018; Leck et al., 2015; Bizikova et al. (2013).
Métodos e Ferramentas para quantificar o FEW nexus	Ermolieva et al., 2015; Kraucunas et al., 2015; Giampietro et al., 2009; Howells et al., 2013; Daher e Mohtar, 2015; Karnib, 2017; Allwood et al., 2012; Li et al., 2019; Dargin et al., 2019;
Modelando o nexo	Endo et al., 2015; Choi e Pak, 2006; Mannan et al., 2018; Ghodsvali et al., 2019; Bergendahl et al., 2018; Voelker et al., 2019; Rising, 2020; Abulibdeh & Zaidan, 2020.
Avaliações e estudos de caso	Li e Ma, 2020; Kibler et al., 2018; Bergendahl et al., 2018; Putra et al., 2020; Mahlknecht e González-Bravo, 2018; Dalla Fontana & Boas, 2019; Opejin et al., 2020; Djehdian et al., 2019; Mahjabin et al., 2020.

3.1 Sustentabilidade e objetivos do desenvolvimento sustentável (ODSs)

Sabe-se que a importância de avaliar o nexo existente entre alimento, energia e água se dá pela preocupação dos elevados consumos desses recursos pela população. À medida que o crescimento populacional em nível mundial está em ascensão, a quantidade de alimento, energia e água demandados são proporcionais e requerem esforços a curto, médio e longo prazo. A ONU (Agenda 2030, 2019) por meio dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ODSs) para 2030, estabelece que os recursos FEW são essenciais para garantir a qualidade de vida das pessoas. Dessa forma, o ODS2 (fome zero e agricultura sustentável), ODS6 (água potável e saneamento) e ODS7 (energia acessível) estão diretamente relacionados ao FEW nexus. Embora esses 3 objetivos, entre os 17, estejam diretamente conectados aos recursos alimento, energia e água, para Mohtar (2016) o progresso de outras 12 metas estão diretamente relacionadas ao uso desses recursos, por exemplo, ODS1 (erradicação da pobreza), ODS3 (saúde e bem-estar) e ODS11 (cidades e comunidades sustentáveis). O emprego do FEW nexus pode facilitar o processo de

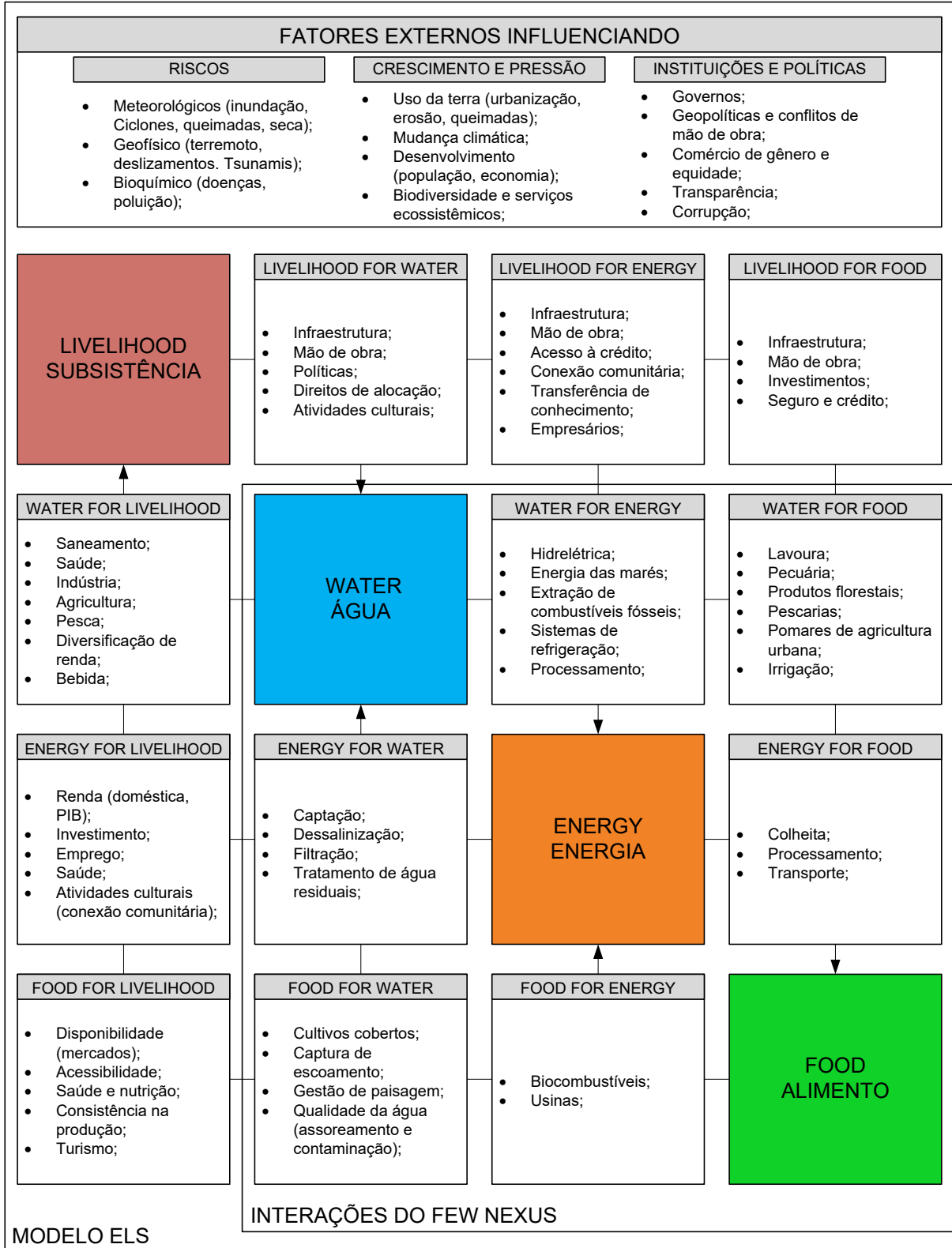
obtenção ou alcance dos ODSs. Além disso, entre as 17 metas para 2030 não há nenhum objetivo ou indicador que relacione onexo entre alimento, energia e água, por outro lado, o FEW nexus oferece uma abordagem para alcançar a seguridade dos 3 elementos, ajudando a garantir as necessidades humanas básicas (STEPHAN et al., 2018).

Ainda relacionando o FEW nexus a uma abordagem de sustentabilidade, Biggs et al. (2015) apresentaram um modelo teórico que pode possibilitar tomadas de decisões mais robustas, assim como Yi et al. (2020) que desenvolveram um índice composto para o FEW nexus, utilizando indicadores setoriais e de ligação tendo como estudo de caso a Província de Jiangsu na China. A estrutura apresentada por Biggs et al. (2015) agrupa o nexo a uma perspectiva sobre meios de subsistência, ou como chamado no estudo, seguridade de subsistência ambiental (do inglês, *Environmental Livelihood Security*; ELS). Essa metodologia busca, por definição, o equilíbrio entre a oferta de recursos naturais e a demanda humana sobre o meio ambiente, a fim de promover a sustentabilidade, contribuindo com o alcance dos ODSs para 2030. Para promover o ELS, através do modelo proposto pelos pesquisadores, fatores internos (interações do FEW e subsistência) e externos (pressão ambiental e impactos na sociedade) devem ser considerados, conforme mostra a Figura 1. Sem especificar, o modelo tem potencial para avaliar a segurança ambiental de uma região, identificar sinergias em busca de decisões integradas e conectar os recursos FEW com a subsistência de um sistema.

O índice desenvolvido por Yi et al. (2020) possibilita caracterizar os resultados baseado nos conceitos de sustentabilidade forte ou fraca realizando uma análise temporal. Para isso, os autores utilizam os métodos de Compensação de Excedente de Sustentabilidade (CES, do inglês SSC, *sustainability surplus compensation*) e Compensação de Excedente de Sustentabilidade Senoidal (CESS, do inglês SSSC, *sine sustainability surplus compensation*). Em seu estudo de caso (Província de Jiangsu na China, entre os anos 2000 e 2016), encontraram limitações, principalmente, na escolha dos indicadores, pois, além de serem específicos, há uma dificuldade na coleta de dados para alimentar essas ferramentas. Os resultados mostraram que a região estudada está caminhando para a insustentabilidade, quando

relacionados aos elevados consumos de água e energia, apresentando uma queda de eficiência ao longo dos anos avaliados.

Figura 1: Estrutura conceitual que combina o FEW nexus com o ELS proposto por Biggs et al. (2015).



Fonte: Adaptado de Biggs et al. (2015).

Da mesma forma que os demais, a relação entre sustentabilidade e o nexo entre alimento, energia e água foi abordada por Yuan et al. (2020), entretanto, estes investigaram a escala urbana, ou seja, as cidades. O trabalho destacou as possíveis soluções que podem ser desenvolvidas para alcançar a sustentabilidade equilibrada do FEW nexus em uma cidade, examinando e comparando criticamente os diferentes indicadores de sustentabilidade urbana e priorizando-os em cidades selecionadas.

O estudo de Yuan et al. (2020) apresenta uma estrutura conceitual para analisar a sustentabilidade urbana no contexto do FEW nexus por meio de um estudo de quatro municípios de Taiwan e da Holanda. A avaliação da sustentabilidade do nexo dos municípios é então apresentada para explorar possíveis soluções para cada município. Em seguida, a ponderação geral dos objetivos e a classificação das soluções das áreas-alvo são avaliadas aplicando o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Posteriormente, conduziram uma pesquisa por meio de questionário para obter julgamentos de uma variedade de especialistas, governos e indivíduos nos quatro municípios. O questionário foi aplicado, via e-mail, para 197 pessoas dos 4 municípios e 68% responderam (133 pessoas). O estudo usa ainda o método AHP para desenvolver um sistema de avaliação de vários níveis e decodificar os fatores que afetariam o status da sustentabilidade de FEW nexus. A partir daí, foram escolhidos 3 indicadores e 9 subindicadores para avaliar sustentabilidade. Os 3 indicadores são (i) sustentabilidade alimentar, (ii) sustentabilidade energética e (iii) sustentabilidade hídrica. Para cada um desses indicadores foi utilizado um critério de atribuições que focam em encontrar subindicadores, a partir de fatores como disponibilidade, acesso e estabilidade. Logo, foi possível estabelecer os 9 subindicadores, chamados de (i) produção de alimento, (ii) subnutrição, (iii) área agricultável, (iv) consumo de energia, (v) acesso à energia, (vi) energia renovável, (vii) consumo de água, (viii) acesso à água e (ix) coleta de esgoto. Esses foram baseados em relatórios governamentais, agências ou organizações, como por exemplo, a ONU, por meio dos ODSs, ou ainda a ISO 37120:2018, *Sustainable development of communities - Indicators for city services and quality of life*.

A combinação de fatores que influenciam na sustentabilidade dos recursos do nexo oferece uma visão abrangente dos desafios amplos e complexos, que os municípios enfrentam devido às limitações de recursos, podendo ajudar a informar

futuras práticas de governança. Por fim, Yuan et al. (2020) encontraram que a energia renovável desempenha um papel essencial nonexo alimento-energia-água. Uma prática que poderia ser adotada é fortalecer a construção de infraestrutura no desenvolvimento abrangente da indústria de energias renováveis e questões devem ser enquadradas em torno de motivadores políticos e abordar a escassez e segurança dos recursos do FEW nexus, em vez de impactos ambientais.

A partir dos estudos que utilizam abordagens de sustentabilidade para caracterizar o FEW nexus, poucos autores relacionam ou utilizam os ODSs como guia conceitual em seus estudos. A ONU, através da Agenda 2030, fornece uma série de indicadores que podem ser considerados no estudo do nexox, assim como fizeram Yuan et al. (2020) em seu estudo, utilizando subindicadores presentes em cada objetivo do desenvolvimento sustentável que está relacionado com o FEW nexus. Mohtar (2016) cita algumas metas, além do ODS2, ODS6 e ODS7, que estão diretamente conectados ao estudo dos recursos FEW e são igualmente importantes como, por exemplo, o ODS11 (cidades e comunidades sustentáveis). Há autores que apresentaram modelos de sustentabilidade diferente do que propõem os ODSs. Finalmente, Biggs et al. (2015) propuseram a abordagem *Environmental Livelihood Security* (ELS) e Yi et al. (2020) usaram os métodos de Compensação de Excedente de Sustentabilidade (CES) e Compensação de Excedente de Sustentabilidade Senoidal (CESS), para verificar as interfaces do FEW nexus.

3.2 Princípios do conceito FEW nexus

O conceito de nexox no gerenciamento dos recursos alimento, energia e água é discutido em conferências, workshops, literatura e fóruns de tomada de decisão (ARTHUR et al., 2019). Esse tema surgiu na comunidade global como alternativa para combater mudanças climáticas e sociais, abrangendo globalização e urbanização (HOFF, 2011). As discussões sobre elevadas demandas pelos recursos FEW para as próximas décadas se dão, segundo Moumouni et al. (2014), pelo rápido crescimento populacional, considerando que o aumento esperado seja de 80 milhões cada ano. Essas preocupações podem ser estudadas a partir do entendimento e do gerenciamento do nexox entre alimento, energia e água. Embora a busca por

ferramentas de avaliação do FEW nexus seja recente, o conceito de nexo parece bastante claro para alguns autores.

Para Sanders e Webber (2012), o nexo pode ser interpretado pelas interações existentes entre diferentes sistemas ou setores dentro do sistema nexos, de forma que a base do FEW nexus é tentar balancear os diferentes usos dos recursos do ecossistema (FLAMMINI et al., 2014). Como consequência, esse equilíbrio e integração dos três setores pode facilitar o planejamento e tomada de decisão. Para Albrecht et al. (2018), o pensamento do nexos não é adequado para todos os contextos e problemas, entretanto, essa abordagem para o FEW nexus contribui para enfrentar os desafios na manutenção dos recursos, fornecendo soluções multissetoriais na forma de políticas integradas, por meio da tomada de decisão coesa pela comunidade.

Os três recursos FEW funcionam como um sistema e são indispensáveis para garantir, de forma direta ou indireta, o bom gerenciamento entre eles. Para Liu et al. (2017), o FEW nexus constitui uma estrutura para analisar as interações dinâmicas entre os sistemas de alimento, energia e água, desenvolvendo estratégias para buscar o desenvolvimento sustentável. Pelas conexões apresentadas por Zhang et al. (2018), por exemplo, água é necessária para os processos de produção de energia e alimento; energia é requerida nos processos de captação, distribuição e tratamento de água e, por outro lado, os alimentos também podem ser usados para gerar energia na forma de biocombustíveis. Percebe-se aqui um evidente nexos entre estes três recursos.

Uma revisão de literatura sobre o nexos entre alimento, energia e água foi realizada por Leck et al. (2015), com o objetivo de fornecer uma fonte de referência sobre os desenvolvimentos do nexos que pertencem a uma agenda emergente. Enquanto o nexos é uma questão em desenvolvimento, os autores entendem que este enfrenta significantes desafios conceituais e práticos. Em sua pesquisa foram abordados os componentes que garantem a seguridade de cada recurso do nexos e são frequentes nesse estudo, também destacados por Bizikova et al. (2013), sendo: (i) a disponibilidade, (ii) acesso, (iii) utilização e (iv) sustento / estabilidade a longo prazo. Ressaltam a participação de fatores externos que interferem diretamente no comportamento do sistema nexos como, por exemplo, a sociedade, economia e meio ambiente, representados pela alta demanda, produção e serviços ecossistêmicos. Além disso, deve ser dada atenção em relação aos três elementos do nexos, pensar

sobre o uso da análise *input-output*, considerar aspectos em constante mudança como a infraestrutura, a saúde e o planejamento urbano, além das implicações no setor político. Ainda, Leck et al. (2015) revelam que a maioria dos trabalhos focam na seguridade e resiliência dos elementos, tentando incorporar o pensamento de interdisciplinaridade e procurando avaliar os *trade-off* existentes para identificar políticas e características que facilitam o planejamento de impactos e suportes a longo prazo.

Dos trabalhos que abordam o tema princípios e conceitos do FEW nexus, foi possível perceber que, embora a abordagem do FEW nexus seja atual, o conceito de nexo está bem claro para os autores. Todos os autores citam as interdependências ou relações que há entre cada recurso que compõe o FEW nexus. Alguns autores focam nas altas demandas de recursos causadas pelo aumento populacional, enquanto outros focam no surgimento do nexo como alternativa para combater as mudanças climáticas e sociais. Por fim, Albrecht et al. (2018) não concordam com o pensamento de nexo para todos os contextos e problemas, mas, acreditam que a abordagem do FEW nexus contribui para fornecer soluções multissetoriais na forma de políticas públicas integradas.

3.3 Métodos e ferramentas para quantificar o FEW nexus

O nexo entre alimento, energia e água é uma abordagem recente, mostrando uma grande variedade de trabalhos buscando métodos e ferramentas, que podem ser utilizadas para, de forma científica, quantificar o FEW nexus. São encontrados, na literatura, modelos computacionais, alguns de acesso livre com face web, uns que necessitam de muitos dados de entrada dificultando a coleta, há também ferramentas, que possibilitam a criação de cenários, mas a grande maioria considera escalas específicas (somente países, somente agricultura, etc.) e/ou fornecem modelos conceituais, que integram outros componentes além de alimento, energia e água.

Um modelo de equilíbrio dinâmico chamado GLOBIOM foi desenvolvido por Ermolieva et al. (2015) e possibilita avaliações na escala global e, além do FEW nexus, é possível incluir ecossistemas, porém, a ferramenta foca apenas no uso e gestão de aspectos geográficos como o uso da terra. Sob uma perspectiva mais abrangente, Kraucunas et al. (2015) estruturam o modelo nomeado PRIMA, que integra aspectos

climáticos, hidrológicos, agrícolas e uso da terra, socioeconômicos e sistemas energéticos em nível regional. Por meio dele, é possível analisar custos relacionados às mudanças climáticas, uso da terra e emissões de gases de efeito estufa.

Diferente dos anteriores, Giampietro et al. (2009) mostram uma ferramenta que avalia além do nexo entre alimento, energia e água. A estrutura proposta, chamada de MuSIASEM, baseia-se em conceitos bioeconômicos e pode ser adaptada a diversos contextos e cenários, para as escalas nacional e subnacional. Essa ferramenta contabiliza fluxos e índices como os indicadores de uso da terra, dinâmica populacional e emissões de gases de efeito estufa (GEE). Outro modelo, CLEWS (*Climate, Land-use, Energy-Water Strategies*), criado por Howells et al. (2013), fornece uma estrutura para abordar os sistemas intersetoriais relacionados aos desafios do nexo. A estrutura se concentra na identificação de *feedbacks* entre esses sistemas e usa as interconexões para determinar como as mudanças em um setor influenciam em outros. Estudos de caso utilizaram o modelo CLEWS para verificar ligações entre a disponibilidade de água, produção de energia hidrelétrica, serviços ecossistêmicos e intensificação agrícola, grande parte deles na África.

Também na busca por um método de avaliação integrada do nexo, Daher e Mohtar (2015) apresentaram um modelo computacional nomeado WEF Nexus Tool 2.0, com acesso aberto via web; esse modelo utiliza a abordagem *“input-output”*. Foi feito para analisar a segurança alimentar na escala nacional associada a diferentes cenários. Os usuários dessa ferramenta entram com as quantidades em massa de cada tipo de alimento, de acordo com o perfil local, condições agrícolas, portfólio de importação-exportação e dos setores hídrico e energético. Como resultado do sistema avaliado aparecem os impactos daquele setor como, por exemplo, os requisitos de água, solo e energia, pegada de carbono, custos financeiros e sustentabilidade do cenário definido pelo usuário em relação à eficiência alimentar. No mesmo sentido, Karnib (2017) utilizou a abordagem *“input-output”* baseada na métrica Lontief para emergir uma estrutura de avaliação quantitativa, empregando apenas os três componentes do nexo. As interações e tecnologias são definidas como entrada, o modelo apresenta como saída os consumos dos recursos do nexo e indicadores de interdependência.

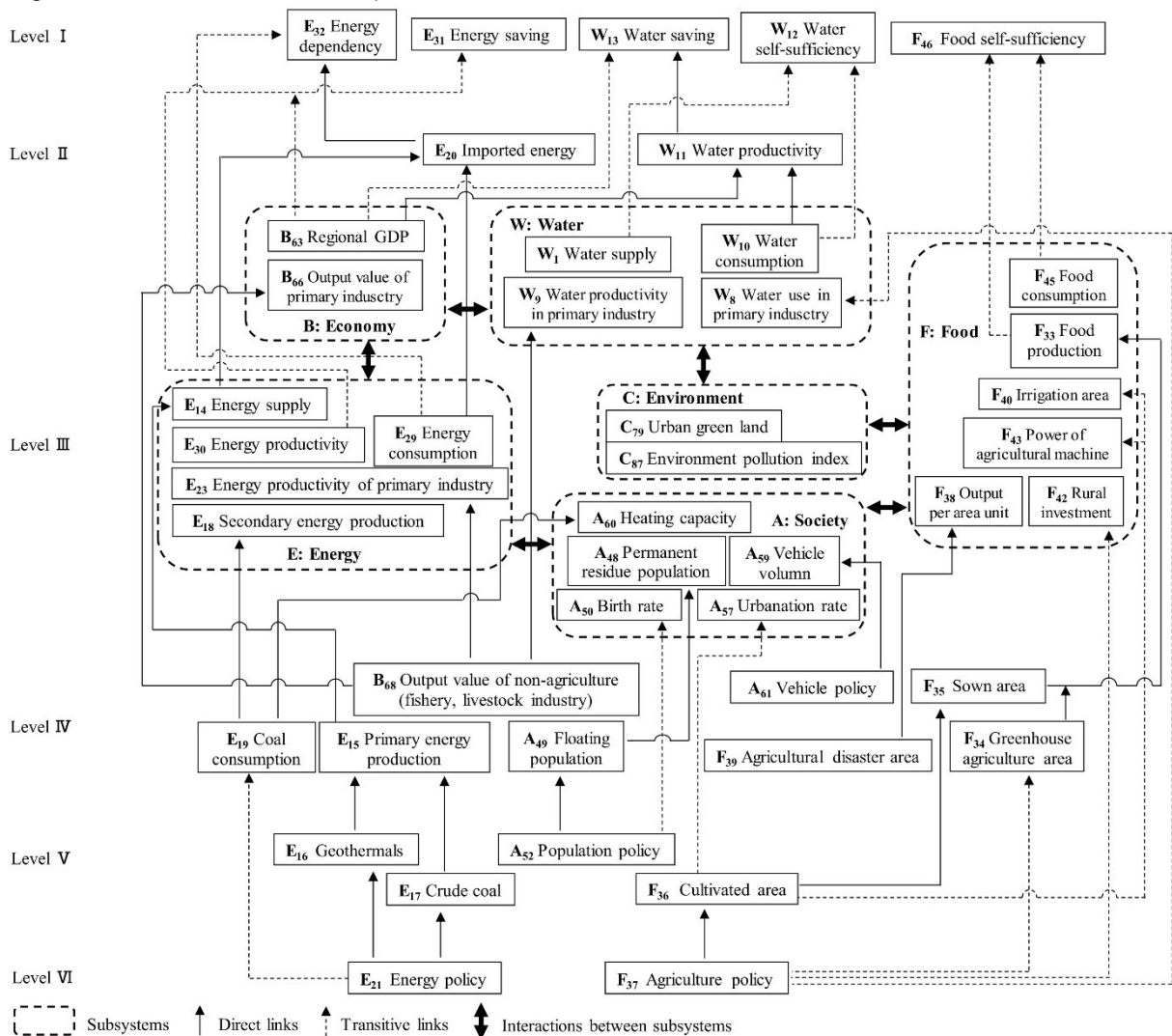
Outra ferramenta é o Foreseer, que tem como base a utilização de diagramas de Sankey para a geração de cenários, incluindo o fornecimento, transformação e uso de recursos naturais, bem como as formas como eles se afetam (ALLWOOD et al., 2012). Por meio da interface online, os usuários podem criar cenários personalizados de políticas de água e energia, enquanto os impactos ambientais são calculados como resultado da ferramenta. Com a ferramenta é possível visualizar e rastrear os recursos de energia, água e terra através de diagramas de Sankey, permitindo alteração em cenários futuros, escolhendo parâmetros, como estimativa de crescimento populacional, cenários de mudanças climáticas e outros.

Embora alguns modelos sejam capazes de quantificar o nexo para uma escala maior, global ou mesmo nacional, eles são específicos para algumas regiões, muitas vezes, tornando-se ineficiente para replicar para outros locais, principalmente, pela dificuldade de encontrar dados para alimentar as ferramentas. Além disso, a falta um modelo apto a calcular o FEW nexus de maneira integrada, simplificada e de fácil entendimento, torna difícil o uso pelos gestores. Escolher uma ferramenta disponível que esteja qualificada e de fácil usabilidade para quantificar os recursos do FEW nexus tem sido um desafio para os usuários. Uma ferramenta estrutural desenvolvida por Li et al. (2019) é um exemplo de complexidade para analisar e entender o FEW nexus. A Figura 2 mostra a estrutura intrincada, elaborada pelos autores e os diversos níveis de interação entre os fluxos FEW. Essas ferramentas são inviáveis para o uso por tomadores de decisão, visto a elevada complexidade, incluindo tempo de aprendizagem para uso e aplicação do modelo.

Tentando evidenciar esse problema, Dargin et al. (2019) desenvolveram um índice que verifica a complexidade ou simplicidade das ferramentas disponíveis utilizadas para avaliar o nexo entre alimento, energia e água, utilizando oito critérios que permitem a seleção da ferramenta adequada. O índice complexidade-simplicidade proposto por Dargin et al. (2019) avaliou ferramentas como: WEF Nexus Tool 2.0; CLEWs (Climate, Land-use, Energy-Water strategies); WEF Nexus Rapid Appraisal Tool; MuSIASEM; Foreseer; WEAP-LEAP: WEAP (Water Evaluation and Planning System) and LEAP (Long Range Alternatives Planning System); iSDG Planning Model (Integrated Sustainable Development Goals Planning Model); e, World Bank Climate and Disaster Risk Screening Tools. Os oito critérios utilizados para

avaliar a complexidade das ferramentas (cujo índice varia de 5 a 16, em que o valor de índice mais alto se correlaciona a uma ferramenta de maior complexidade do usuário) do nexu foram: (i) a ferramenta é de acesso aberto; (ii) a ferramenta possui uma interface web; (iii) granularidade de dados (mais granular alcança mais acurácia); (iv) acessibilidade de dados; (v) número de entradas de dados (por usuário); (vi) experiência no assunto; (vii) intensidade de treinamento (para uso da ferramenta); e, (viii) cenários definidos pelo usuário (adiciona complexidade).

Figura 2: Estrutura de fatores representativos no FEW nexu.



Fonte: Li et al. (2019).

Entre as métricas citadas anteriormente e mensuradas através do índice de complexidade, CLEWS (HOWELLS et al., 2013) culminou em um índice de complexidade igual a 15,5 e MuSIASEM (Giampietro et al., 2009) igual a 15. As duas

ferramentas representam alta complexidade de acordo com os critérios impostos na análise. A ferramenta WEAP-LEAP Integrated Model apresentou o maior índice (16), contudo avalia apenas dois (água e energia) dos três elementos do FEW nexus. As de menor complexidade foram World Bank Climate and Disaster Risk Screening Tools (6) e WEF Nexus Rapid Appraisal (8).

Os resultados da verificação complexidade-simplicidade das métricas apresentadas em gráficos de dispersão e por meio de exercícios de pontuação e mapeamento, para saber qual o objetivo de cada ferramenta, destacam ainda mais as funções variáveis no espectro de complexidade-simplicidade e servem como um guia para selecionar ferramentas específicas para os objetivos. Apesar de ferramentas com maior complexidade geralmente permitirem análises mais detalhadas e incluem recursos mais avançados para acomodar o desenvolvimento de cenários, isso ocorre ao custo de restringir a análise a certos sub-nexos (ou seja, considerando apenas a relação água-energia), além de aumentar a necessidade de mais dados granulares e usuários qualificados que têm uma compreensão da relação alimento-energia-água. Aliás, ferramentas complexas requerem mais apoio institucional para garantir que os recursos humanos e técnicos para operar uma ferramenta estejam disponíveis e acessíveis. As ferramentas simples desempenham um papel útil na identificação de "pontos de acesso" do nexo, um componente chave para os estágios iniciais de qualquer avaliação de nexo ou aplicação em uma política nova ou existente.

3.4 Modelando o nexo

A modelagem mostra-se como complemento às formas de avaliação do nexo, pois, sugerem estruturas que podem contribuir com o estudo, a partir da integração de políticas públicas, dos riscos externos como a mudança climática e do pensamento interdisciplinar ou transdisciplinar. Endo et al. (2015) classificam os modelos de avaliação em qualitativos e quantitativos para as abordagens de pesquisa interdisciplinar e transdisciplinar, enquanto Choi e Pak (2006) sugerem a interdisciplinaridade para analisar, sintetizar e harmonizar os vínculos entre as disciplinas em um todo coordenado e coerente, enquanto a transdisciplinaridade integra as ciências naturais, sociais e da saúde no contexto das ciências humanas, ampliando a fronteira clássica.

A abordagem da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é largamente usada em literatura para gerenciar o FEW nexus. Mannan et al. (2018) revisaram os artigos que estudaram e utilizaram a abordagem da Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta para quantificar o FEW nexus até o ano de 2017. Foram feitas comparações com outros modelos disponíveis em literatura. Mostraram as interações existentes entre os recursos do nexo e a importância que a ACV tem em estudos de caso, evidenciando todas as etapas dos processos e as possíveis melhorias que podem ser realizadas em cada setor. Destacam que os modelos existentes até o momento para contabilizar o nexo de forma conjunta focam apenas em emissões de gases de efeito estufa, mostrando o impacto de cada setor, não discutindo suas interdependências. Por fim, destacam como obstáculo para a aplicação da ACV, a falta de dados específicos para permitir uma análise robusta. Concluem que a integração dos padrões de consumo e comportamento do consumidor, no estudo do nexo, desempenham um papel significativo na redução do impacto causado sobre o meio ambiente.

Entre as estruturas de avaliação do FEW nexus, como já citado, a ACV é vastamente encontrada em literatura, contudo a transdisciplinaridade vem ganhando espaço nos últimos anos, pois, entende-se que inclui alguns fatores que podem estar relacionados com o nexo como as mudanças climáticas ou interferências governamentais por meio das políticas públicas. Assim, a transdisciplinaridade foi estudada por Ghodsvali et al. (2019) para compor o nexo entre alimento, energia e água. Os autores mostraram, através de um estudo de revisão, os diversos trabalhos que estudaram esse método para propor e desenvolver uma perspectiva de pesquisa sobre como uma melhor compreensão das ações humanas com a natureza pode ser utilizada para uma análise mais próxima do mundo real. A abordagem transdisciplinar traz os ODSs em seu modelo e vincula-os ao FEW nexus. Destacam que fatores como mudança climática, uso da água e do alimento, gerenciamento agrícola e outros desafios ecológicos precisam de uma solução social e econômica. Por fim, concluem que ainda deve ser melhor compreendido o seu potencial e limites na prática.

A transdisciplinaridade também fez parte da pesquisa de Bergendahl et al. (2018), com o relacionamento de diferentes abordagens para analisar o FEW nexus. Entre elas, a primeira, transdisciplinar, busca compreender as complexidades de um sistema, utilizando de diferentes perspectivas, disciplinas e conceitos, considerando o

todo. Busca integrar partes interessadas como indústria, comércio, governo, profissões e sociedade dentro da já utilizada ecologia. Promove convergência e acelera o entendimento do nexu, vinculando a teoria em sistemas de sustentabilidade, fornecendo base científica para incorporar modernização ecológica e cadeia de suprimentos. A segunda, modernização ecológica, promove que a tecnologia e inovação podem dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, apresentando exemplos como: aprimorar tecnologia para produção agrícola; evitar perdas; aumentar a qualidade e reutilização de água. Por fim, a sustentabilidade nas cadeias de suprimentos mostra que os processos causados pela indústria e comércio representam uma grande fração da carga ambiental.

O nexu entre alimento, energia e água possui várias alternativas para avaliação das suas interligações ou dos fluxos individuais. Os governos têm sido por muitos anos um dos principais setores que influenciam no gerenciamento dos recursos FEW. Estes, por sua vez, utilizam sistemas de monitoramento dos fluxos, através de departamentos para cada setor especificamente, os chamados silos. A busca pela função das métricas, modelos e as relações entre a estrutura do nexu e governos foi estudada por Voelker et al. (2019). O trabalho teve como principal abordagem o uso da narrativa para mostrar as necessidades de novas métricas dentro da escala governamental. A análise apresentada na parte empírica baseia-se em 28 entrevistas com 32 atores de diferentes departamentos da Comissão Europeia, membros do Parlamento Europeu e Avaliação das Opções Científicas e Tecnológicas, e da Agência Europeia do Meio Ambiente. Foram escolhidos funcionários de departamentos que trabalham direto com questões do nexu, mais especificamente na tomada de decisão, e funcionários que trabalham com esses departamentos. A pesquisa revela o que os governos vêm enfrentando na prática com o pensamento do nexu. Foram observadas duas diferentes narrativas dentro da quantificação do nexu: (i) quando enquadrado como um problema epistêmico, isso corresponde as atuais perspectivas institucionais, em que a política é baseada em evidências com pensamento em silos e, (ii) quando o nexu é descrito como um problema de governança, isso geralmente ressoa com um foco em desafiar as ordens institucionais atuais (uma perspectiva neoinstitucionalista). Enfatizou-se a importância de métricas para sair do pensamento em silo e mover para o nexu dentro do governo, aumentando as relações entre departamentos. Nas entrevistas, verificou-se a existência de

indicadores dentro dos setores ou departamentos, mas que não estão interligados com os demais, tornando os modelos incompatíveis. Este trabalho mostrou que o nexo também é um problema governamental. De acordo com Voelker et al. (2019), às vezes os métodos e indicadores existentes não são adequados para “abrir os olhos” dos formadores de políticas para governar o nexo de forma eficaz, pois há problemas de conversibilidade entre setores e falta de dados.

Diferente dos estudos anteriores, Rising (2020) estudou as considerações centrais por trás dos modelos hidro-econômicos, destacando a importância da infraestrutura hídrica no estudo do FEW nexus, os fundamentos de uma teoria de tomada de decisão e o tratamento da incerteza. Os procedimentos iniciais mostraram a extensão de cada modelo, no caso, o Modelo de Avaliação Integrada (MAI) e os modelos do FEW nexus. O primeiro utiliza a abordagem de tomada de decisão intemporal, avaliação econômica, decisões de investimento e aspectos climáticos mais avançados. Por outro lado, os modelos do FEW nexus possuem pontos fortes que complementam o MAI, sendo com avanços simulatórios, riscos hidrológicos e integrando características do meio ambiente. O autor revela que há inconsistência em todos os modelos propostos e é preciso estabelecer critérios e seguir etapas antes da tomada de decisão para evitar erros. Foi apresentada, como estudo de caso, a construção de uma barragem e os critérios que devem ser considerados na etapa de planejamento: (i) o recurso hídrico, (ii) a alocação e, por fim, (iii) a dimensão temporal para a tomada de decisão. Uma análise custo benefício foi realizada para determinar a decisão final, e percebeu-se que a análise desta função é limitada devido aos diferentes especialistas envolvidos.

Outros dois modelos do FEW (AWASH e WHAT-IF) apresentados por Rising (2020) distinguem a unidade espacial sobre os usuários dos rios e reservatórios, fornecem um ótimo gerenciamento do reservatório e usam a linguagem de programação para resolver variáveis em diferentes dimensões de tempo e espaço. WHAT-IF contém uma rede de energia, mercado de rede e hidroenergia, enquanto o AWASH inclui aspectos para decisão do investimento, melhoria nos processos de tomada de decisão e contabilidade de incertezas. O autor conclui que há desafios e “gaps” existentes nos modelos atuais e o AWASH e WHAT-IF podem mostrar decisões de investimento a longo prazo para o FEW nexus, porém, essa análise ainda

permanece incompleta, pois carece de pontos fortes mostrados em modelos prévios como a avaliação não integrada dos recursos.

Abulibdeh e Zaidan (2020) desenvolveram uma estrutura sistêmica, holística, e abrangente que se concentra nos elementos espaciais de continuidade e mudança associados à transição do FEW nexus em escala nacional, regional, e internacional. O objetivo da ferramenta utilizada é otimizar o gerenciamento de recursos do FEW e capturar a integração e as interações entre esses recursos e, investigar os desafios interconectados que podem afetar esses recursos e as ações e políticas que devem ser tomadas em diferentes escalas geográficas para enfrentar esses desafios. O trabalho utilizou como estudo de caso 6 países (Bahrain, Kuwait, Oman, Qatar, Saudi Arabia e United Arab Emirates) integrantes do Conselho de Cooperação do Golfo (CCG) para o ano de 2016. Os resultados encontrados foram separados por diferentes escalas geográficas, fatores e as suas características que influenciam o FEW nexus: (i) escala nacional: fatores domésticos (geração de resíduos, renda familiar e características de consumo); rurais (produção agrícola e consumo de água e energia); urbanos ou cidades (produção de água e energia e consumo de alimento); e, nacional (produção e consumo dos recursos FEW); (ii) escala regional: integração e colaboração da produção de energia (convencional e renovável), produção de água (dessalinização) e produção agrícola; e, (iii) escala internacional: gerenciamento sustentável dos recursos, colaboração tecnológica e políticas e regulamentos. Os autores citam os riscos geográficos para o nexu.

Riscos são eventos que têm efeitos prejudiciais consideráveis para nações e indústrias ao longo de um período de 10 anos (WEF, 2014). Os riscos apontados no estudo de Abulibdeh e Zaidan (2020) que influenciam diretamente o FEW nexus são: aumento populacional; risco econômico; riscos ambientais; risco geopolítico; preços de energia e alimento; investimento estrangeiro direto na agricultura; acoplamento do sistema; risco social; e, tecnológico. Como implicações políticas estão destacadas o gerenciamento integrado dos recursos, diminuir a dependência de água para os setores de alimento e energia, reutilizar a água, buscar tecnologias renováveis e promover a transição para sustentabilidade. Os autores concluem que, a estrutura sistêmica holística e abrangente avaliada ajuda aos formuladores de políticas a obter

uma compreensão mais clara da avaliação do FEW nexus em diferentes escalas geográficas.

De todos os trabalhos previamente citados, o estudo da modelagem do nexo mostrou diferentes perspectivas relacionadas às preocupações futuras de integração de políticas (o nexo no governo), a estrutura do pensamento transdisciplinar e os métodos mais tradicionais como o caso da Avaliação do Ciclo de Vida. Verificou-se que os estudos buscam compreender, de maneiras distintas, as conexões dos três fluxos FEW para tomadas de decisões integradas (esse é o desafio do nexo no governo). Por outro lado, situações econômicas e ecológicas fazem parte da interdisciplinaridade. Para finalizar, uma estrutura sistêmica holística também foi apresentada com o objetivo de investigar os desafios que podem afetar esses recursos e as ações e políticas, que devem ser tomadas em diferentes escalas geográficas para enfrentar riscos de aumento populacional, geopolíticos entre outros.

3.5 Avaliações e estudos de caso

Enquanto não há uma ferramenta específica para calcular de forma integrada o FEW nexus, alguns pesquisadores utilizam a abordagem da ACV para medir impactos ambientais. Exemplo disso foi o estudo realizado por Li e Ma (2020) em Taiwan, objetivando quantificar e avaliar o consumo dos recursos incorporados ao nexo. Para isso, distinguiram os consumos direto e indireto dos fluxos de água e energia e identificaram os impactos ambientais desses processos. Impactos diretos significam que os possíveis efeitos adversos resultam da produção e geração de água, energia e alimentos. Os impactos indiretos são os efeitos derivados dos processos operacionais ou da produção de materiais utilizados para o abastecimento de água, energia e alimentos. Os autores utilizaram a Avaliação do Ciclo de Vida e o método ReCiPe para quantificar indicadores como o potencial de aquecimento global (PAG), toxicidade humana e eco toxicidade ambiental, que indicam os efeitos nocivos sobre o globo, humanos e ecossistemas. As discussões se basearam na análise de diagramas de Sankey para mostrar os fluxos diretos e indiretos de água e energia dentro do nexo. A partir dessa avaliação, os resultados mostraram que aproximadamente 28% dos impactos ambientais são provenientes de recursos indiretos do FEW nexus. Os três principais impactos de eco toxicidade terrestre são

resultantes do consumo direto de energia para o subsistema alimentar, que consome a maior parte dos recursos hídricos e energéticos diretamente na produção de alimentos, mas o subsistema energético consome 27% da energia indiretamente para a produção de energia. Em Taiwan, o subsistema alimentar consome 99% dos recursos hídricos e energéticos diretamente para a produção de alimentos. Para proteção ambiental, é necessária a análise do consumo indireto e operação. Por fim, os resultados mostram que o consumo direto de recursos no subsistema alimentar e as operações indiretas no subsistema de energia causaram mais impactos ambientais do que os causados por outros. Pensando na demanda futura, precisa-se de algumas operações de preparação para a produção, mas essas operações têm causado efeitos mais prejudiciais ao meio ambiente. Além de reduzir o consumo direto de recursos, a modificação e inovação das operações, processos e tecnologias existentes serão outra abordagem para economizar mais recursos e diminuir os impactos ambientais.

Diferente de Li e Ma (2020), Kibler et al. (2018) focaram no estudo de apenas um recurso do FEW, mais especificamente, alternativas de gerenciamento de desperdício de alimento. Entre as diferentes técnicas estão a disposição em aterros, a compostagem, a digestão anaeróbica e conversão térmica. O objetivo do trabalho foi caracterizar o desperdício de alimento dentro da abordagem do FEW nexus para cada técnica de gerenciamento, definindo os potenciais fluxos de massa, energia e água. Fundamentado em aspectos conceituais sobre as técnicas de gerenciamento de resíduos, os autores encontraram que, embora a alternativa de disposição em aterros é a mais utilizada, principalmente nos EUA, a compostagem é a que apresenta melhores benefícios. Alguns são a diminuição de emissão de gases de efeito estufa, evita a produção de lixiviado e reduz os gastos de água com irrigação, pois, essa técnica preserva a umidade da terra. Os autores ainda sugerem que próximos estudos caracterizem a quantidade de água e energia utilizadas em cada processo. Um modelo foi proposto mostrando a interação do comportamento e decisão humana e sua função para evitar maiores gastos desnecessários. Foram apresentadas algumas das principais causas do alto volume de resíduos orgânicos gerados, como (i) falta de consciência e preocupação; (ii) pensamento de que as pessoas podem arcar com os custos; (iii) alto padrão de vida; (iv) falta de planejamento e alto consumo; (v) falta de habilidade na cozinha e (vi) preferência por uma alimentação rápida. Concluem que ações devem focar em reduzir as perdas e desperdícios ao longo da cadeia alimentar.

E técnicas como telhados verdes, produção local, incentivo à produção em pequena escala e utilização do gerenciamento utilizando compostagem deveriam ser promovidos.

Na busca por alternativas para encontrar um gerenciamento mais eficiente no setor de bio-sólidos, Estados Unidos da América (EUA) como estudo de caso, as abordagens de transdisciplinaridade, modernização ecológica e sustentabilidade nas cadeias de suprimentos foram empregadas por Bergendahl et al. (2018). A análise mostrou aspectos teóricos dos modelos de avaliação, sugerindo melhor gerenciamento nos processos para aproveitamento eficiente de água, alimento e converter os bio-sólidos em outras fontes de energia. Os bio-sólidos estudados foram gerados a partir da água residual, em Boston e são tratados na Flórida, 2.000 km de distância. Bio-sólidos são usados em agricultura como método eficiente na produção de cítricos nos EUA (Flórida) e, ainda, são tidos como alternativa para produção de metano (o que mais tarde é convertido em biogás). Os subprodutos dos cítricos são reaproveitados para compostagem ou podem ser convertidos em bioenergia. Em geral, o estudo de caso fornece um exemplo concreto de como os tópicos podem ser integrados e avaliados. A análise do FEW nexus requer uma avaliação colaborativa e, para os autores, isso pode ser encontrado dentro da transdisciplinaridade, porém muito há de ser estudado considerando que a abordagem ainda está em elaboração.

Com o objetivo de quantificar as interações entre os setores do FEW nexus e identificar indicadores e suas influências, Putra et al. (2020) estudaram o nexo para a região Sul da Ásia. Um levantamento dos indicadores já utilizados em literatura e nos ODSs para avaliar o nexo foi realizado, chegando a um total de 72. Número que foi reduzido para 36 (12 para cada fluxo FEW) devido à similaridade entre eles, e focam em disponibilidade, acessibilidade, utilização e estabilidade. Pela falta de dados não seria possível calcular esses indicadores para todos os países do Sul da Ásia, logo, optou-se por estudar apenas 5 nações: Bangladesh, Índia, Nepal, Paquistão e Sri Lanka. Realizaram uma análise de correlação entre pares (Spearman's Rank) de indicadores para os cinco países, e o coeficiente encontrado fornece uma avaliação linear da interação entre duas variáveis. O valor do coeficiente varia de -1 a 1, e foram classificados: (i) quando for maior que 0,6 ($>0,6$) ocorre sinergia (interação positiva); (ii) quando for menor que -0,6 ($<-0,6$) ocorre *trade-off* (interação negativa); e, (iii)

quando o resultado estiver entre os dois valores não será classificado. Os resultados mostraram maior presença de “*trade-offs*” que sinergias para os setores de energia e água. A relação entre os indicadores de energia revela que a ‘geração de energia por hidroelétricas’ (E6) pode reduzir a ‘necessidade por energia fóssil’ (E4) e aumentar o ‘acesso à energia limpa’ (E2), sendo considerada como aspecto positivo em 4 dos 5 países, exceto no Nepal, pois o consumo de combustíveis fósseis é bastante alto, mesmo aumento da geração de energia por hidroelétricas. No setor hídrico aparecem mais características negativas no Nepal e Paquistão, principalmente, entre os indicadores ‘uso da água na agricultura’ (W4) e ‘nível de estresse’ (W12). Para o Sri Lanka, o ‘uso per capita de água’ (W6) e ‘nível de estresse’ (W12) resultaram em aspectos negativos. A segurança alimentar apresentou sinergias para todos os países. De forma geral, promover energia limpa pode trazer melhores perspectivas para a região Sul da Ásia. Essa análise conjunta dos indicadores mostra que se deixar de cumprir com um aspecto pode levar a falha de todo o sistema. Hoff (2011) afirma que o principal objetivo das interligações do FEW nexus é identificar potenciais sinergias e minimizar “*trade-offs*” entre os três setores.

Ainda considerando indicadores no estudo do nexu, Mahlknecht e González-Bravo (2018) sugerem mais atenção nos três setores do FEW para alcançar o desenvolvimento futuro, especialmente nos países do Caribe. Os autores objetivaram mostrar uma visão geral do atual estado do FEW nexus na América Latina e Região do Caribe. Calcularam nove indicadores, sendo três para cada recurso do FEW, ou seja, três para alimento, três para energia e três para água. Esses indicadores foram baseados na (i) disponibilidade, (ii) acessibilidade e (iii) estabilidade de cada setor do nexu. A média dos nove indicadores resultaram em um índice, variando de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1, melhor. As limitações do estudo são referentes aos dados, previamente disponibilizados por órgãos ou agências governamentais, portanto, são possíveis apenas para nível global e nacional, diminuindo sua área de abrangência. Os resultados obtidos pelos autores mostraram que o Uruguai (0.96) e o Brasil (0.93) obtiveram os melhores índices, enquanto a região do Caribe (0.63) obteve o menor.

A cidade de Amsterdam tem como objetivo melhorar sua imagem de cidade inteligente e sustentável, colocando energia na promoção de abordagens eficientes para alcançar estilos de vida mais sustentáveis e duráveis, por exemplo, por meio de

seus projetos Amsterdam Smart City e Circular Economy (Amsterdam Smart City, 2016; City of Amsterdam, 2012). Por esse motivo, Dalla Fontana & Boas (2019) estudaram o nexo entre alimento, energia e água na escala urbana, mais especificamente a cidade de Amsterdam. Os autores respondem ao apelo de “urbanizar” e “politizar” o nexo. Visto que quase todos os trabalhos focam em países e outras macro regiões, esse trabalho estudou a cidade de Amsterdam, explorando o papel do nexo no metabolismo urbano, tratando cidades como organismos. Tiveram como objetivo entender as interconexões das redes de abastecimento hídrico, energético e alimentar. Como método foi primeiro revisado cerca de 30 documentos e relatórios de políticas, incluindo questões de alimentos, energia e água em Amsterdam e analisadas brochuras e sites de departamentos ou empresas relevantes. Depois disso, foram realizadas 15 entrevistas com os principais atores envolvidos. Os resultados revelam que o município se mostra interessado no bom gerenciamento dos seus recursos, como é o caso da empresa AEB e Waternet. AEB é uma empresa de transformação de resíduos em energia, que produz energia a partir da incineração de resíduos e biomassa. Waternet é a companhia responsável por todo o ciclo hídrico de Amsterdam. Ambas têm como meta tornar suas operações mais sustentáveis para evitar o aquecimento global e, para isso, trabalham em conjunto. Assim, é vista a interação existente entre a água e energia dentro desse organismo: a água tem um papel central na formulação de estratégias intersetoriais e as decisões são baseadas e focadas na inovação tecnológica. Entretanto, o papel do alimento dentro do nexo urbano ainda permanece marginal.

Em comparação com outros municípios da Holanda, onde os municípios facilitam o desenvolvimento da agricultura urbana, o município de Amsterdam se tornou menos interessado no tópico agricultura/ alimentação urbana e, em vez disso, se concentra mais, por exemplo, na economia circular. O caso de Amsterdam, segundo Dalla Fontana & Boas (2019), mostra algumas limitações da aplicabilidade do conceito de nexo na escala urbana, principalmente porque o alimento não tem tanto espaço quanto a água e a energia na agenda política local. Os autores destacam que o desenvolvimento futuro do nexo em Amsterdam é, pelo menos no curto prazo, condicionado por discursos de eficiência, informados por inovação tecnológica e soluções baseadas no mercado, que não se afastam drasticamente das redes de infraestrutura e abastecimento existentes.

Considerando que o tema FEW nexus está em sua fase inicial de estudo e desenvolvimento, são poucos os trabalhos de revisão encontrados em literatura, porém, os existentes fornecem condições suficientes para identificar os reais desafios do nexo. Esses trabalhos procuram avaliar a trajetória de publicações, identificar temas e questões de pesquisa e entender os desafios a serem operacionalizados como, por exemplo, qual a escala que deve ser priorizada em seu estudo. Dessa forma, Opejin et al. (2020) realizaram uma análise bibliométrica em literatura de artigos referente ao FEW nexus entre janeiro de 2011 e maio de 2018, utilizando como base de dados o Elsevier's Scopus. Os autores destacam o crescimento constante no número de publicações após o ano de 2015, quando houve um elevado interesse de agências que suportam pesquisas, principalmente na Europa. Questões de pesquisas encontradas frequentemente pelos pesquisadores revelam a preocupação de como pode ser melhorada a eficiência dos recursos FEW, quais os motivadores da seguridade do FEW nexus e como a resiliência desse sistema pode ser encontrada. Com este trabalho de revisão foi possível verificar os 20 artigos mais citados entre os anos de 2011 e 2014, levando a algumas similaridade, principalmente para a escala, com sua maioria estudando grandes escalas (nacional e global) e apenas dois deles focados em cidades. Foi ressaltado o problema com a falta de dados em alguns setores e para algumas escalas e foi destacado, como obstáculo no estudo do nexo, a incompatibilidade de escala de governança, existindo uma desconexão entre a escala espacial onde as decisões são tomadas e a escala de produção e consumo, que estão sendo estudadas no nexo.

A escassez hídrica local e indireta para os recursos alimento, combustíveis e eletricidade também faz parte dos estudos do nexo, contudo foca apenas no recurso hídrico como principal componente do nexo entre alimento, energia e água. Djehdian et al. (2019) desenvolveram uma nova métrica do nexo alimento-energia-água (FEW) que quantifica a exposição direta e indireta à escassez de água em áreas urbanas, consideram as características de 69 cidades norte-americanas para o ano de 2012. Para isso usaram o Índice de Escassez de Água (WSI), avaliando a escassez de água azul de uma determinada região e que é consistente com a abordagem de incluir apenas pegadas hídricas azuis (águas superficiais e subterrâneas) dos produtos. Quantificaram, compararam e visualizaram a Escassez Hídrica Indireta das cidades (IWS), incluindo alimentos, combustível e importações de eletricidade, e a escassez

local de água (LWS). Como resultado da pesquisa, verificou-se que as cidades normalmente importam *commodities* de locais próximos com restrições de recursos hídricos, e geralmente têm escassez hídrica local e indireta semelhante. Em particular, as cidades no oeste dos Estados Unidos têm recursos hídricos locais escassos e importam *commodities* de outras localidades ocidentais com escassez de água.

Complementar a essa primeira verificação, Djehdian et al. (2019) buscaram responder 3 perguntas: (i) como e até que ponto o consumo de alimentos, combustível e eletricidade das cidades dos Estados Unidos está exposto à escassez de água, direta ou indiretamente? (ii) como a escassez local de água de cada cidade dos EUA se compara com sua escassez indireta de água? (iii) quais *commodities* e locais de produção mais contribuem para a escassez indireta de água urbana? As repostas obtidas para cada pergunta foram (i) que a escassez de água indireta e local das cidades dos EUA é altamente heterogênea; (ii) a maioria das cidades tem escassez local e indireta de água semelhante, embora o grau de escassez indireta de água nem sempre seja consistente com o grau de escassez local de água de uma cidade; e, (iii) os estados no oeste dos Estados Unidos e as *commodities* alimentares são os que mais contribuem para a escassez indireta de água nas cidades. A pesquisa foi necessária para fornecer compreensão da escassez hídrica local e indireta para áreas urbanas nos Estados Unidos. Essas questões identificam relações importantes entre a escassez de água nos locais de produção e o consumo urbano, uma área de pesquisa subdesenvolvida nonexo alimento-energia-água.

Similar à análise anterior, em que a água ocupou o papel central dentro da avaliação do FEW nexus, um método para avaliar a estrutura de redes da água incorporada nos processos alimentares e energéticos foi proposto por Mahjabin et al. (2020). O objetivo do trabalho foi fornecer uma estimativa quantitativa da água virtual incorporada nas transferências internas de energia e alimentos dos EUA e analisar as interdependências associadas a essas conexões. Diferente dos demais processos de modelagem de água virtual, esse estudo separou o milho em recursos alimentares e energéticos, responsável pela maior produção de etanol nos Estados Unidos. A partir de dados atualizados do consumo de água para *commodities* de energia foi possível avaliar as propriedades dos fluxos de rede. Para as classes de alimentos, mostrou-se a pegada hídrica de produção azul, e azul e verde combinados. Indicou-se que, para

as *commodities* alimentares, a ração animal tem uma pegada hídrica de produção comparativamente maior do que outras classes como o grão moído, grão cereal, carnes e frutos do mar. Os estados de Iowa, Texas, Califórnia, Nebraska e Kansas tiveram a pegada hídrica mais alta para a produção de alimentos. Para os setores energéticos, quatro das cinco maiores pegadas hídricas são encontradas em estados com alta produção de etanol. Texas tem a maior pegada de água para a produção de petróleo bruto, que é de 123 milhões de m³/ano e Louisiana tem o segundo maior (39 milhões de m³/ano). No entanto, Louisiana tem o maior valor de pegada hídrica para a produção de gás natural, que é de 132 milhões de m³/ano, e o Mississippi tem o segundo maior. Kentucky, Indiana e Illinois são os estados com maior pegada hídrica de produção de carvão, que são 146, 111 e 110 milhões de m³/ano, respectivamente. Em termos de etanol, Nebraska tem o maior valor e Dakota do Sul tem o segundo maior valor de pegada hídrica. Os resultados mostram que a separação do milho leva a uma redução da pegada hídrica virtual de 11% para a rede hídrica de grãos de cereais e a rede alimentar mostra propriedades altamente densas e conectadas em comparação com a rede energética. Os autores destacam que o método abordado pode ser usado para avaliar várias prioridades de sustentabilidade simultaneamente.

A avaliação donexo utilizando ferramentas tradicionais como a ACV, estudada por Li e Ma (2020), nem sempre está relacionada com os “*gaps*” existentes referentes à falta de métodos de avaliação integrada do FEW nexus. Em sua maioria, as ferramentas são teóricas e analisam setores específicos do nexocomo a escassez hídrica e redes de água para os processos de energia e alimento (Djehdian et al., 2019; Mahjabin et al., 2020), enquanto outros buscam identificar potenciais sinergias entre indicadores de disponibilidade, acessibilidade e estabilidade de cada fluxo FEW (Putra et al., 2020) ou ainda, o uso dos indicadores para estabelecer um índice (Mahlknecht e González-Bravo, 2018) e comparar com os países estudados. O estudo de apenas um recurso FEW, o alimento, foi abordado por Kibler et al. (2018) para encontrar alternativas de gerenciamento do desperdício alimentar. Bergendahl et al. (2018) optaram por usar a transdisciplinaridade, modernização ecológica e sustentabilidade nas cadeias de suprimentos para avaliar biossólidos nos EUA. Por último, Dalla Fontana & Boas (2019) apelam para a politização do nexocomo, em seu estudo de caso para a cidade de Amsterdam. Com exceção deste último, os demais estudos desta seção utilizaram países e outras macrorregiões para implementar suas várias

formas de avaliação. Entre outras palavras, a escala urbana, cidades, continua sendo um desafio no estudo do FEW nexus e as ferramentas utilizadas, embora não complexas, não vão ao encontro com o objetivo de quantificar o nexos de forma integrada.

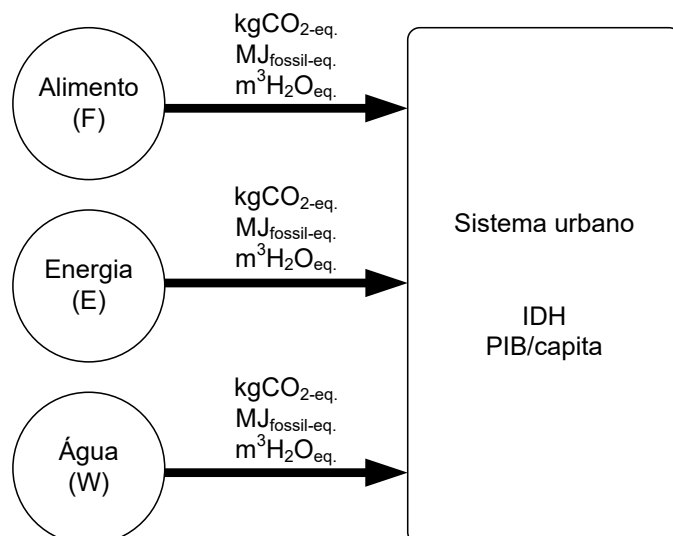
4. PROPOSTA DE MODELO QUANTITATIVO E INTEGRADO PARA AVALIAR O NEXO ENTRE ALIMENTO, ENERGIA E ÁGUA EM MUNICÍPIOS

4.1 Modelando os recursos FEW

A ausência de um procedimento padronizado sugerido para avaliar o FEW nexus dificulta a modelagem e escolha de indicadores julgados mais apropriados para representar seus objetivos. Com isso em mente, e considerando as definições e modelos conceituais como sugeridos por Zhang et al. (2019), neste trabalho, o modelo e indicadores apresentados na Figura 3 são considerados.

Com o objetivo de estabelecer uma linguagem padrão, alguns conceitos foram desenvolvidos como o caso de município e cidade, caracterizados por possuírem áreas diferentes. Por exemplo, o município engloba o território rural e urbano, ou seja, inclui toda a área controlada pelo poder público local, a prefeitura. Enquanto a cidade inclui apenas a região urbana do município, para tanto, uma menor proporção dele. Os dados coletados para aplicação do modelo, neste estudo, são baseados nos consumos do município como um todo, ou seja, inclui a região rural e urbana, assim sendo, desse ponto em diante este trabalho refere-se a centros urbanizados como municípios.

Figura 3: Modelo conceitual do nexo entre os fluxos de alimento, energia e água, e seus respectivos indicadores a serem considerados neste trabalho para avaliar municípios.



Fonte: Baseado em Zhang et al. (2019).

Para o cálculo dos recursos indiretos que sustentam os fluxos FEW, a avaliação do ciclo de vida (ACV; International Organization for Standardization - ISO, 2006a e 2006b) e pegada hídrica (HOEKSTRA e MEKONNEN, 2012; HOEKSTRA et al., 2011) são considerados como métodos para obter os indicadores $\text{kgCO}_2\text{-eq.}$, $\text{MJ}_{\text{fossil-eq.}}$, e $\text{m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}$. O banco de dados do Ecoinvent®, versão 3.6 2019, é considerado como fonte de dados para os fatores de conversão utilizado na ACV, considerando os métodos “cumulative energy demand, fossil” para obter $\text{MJ}_{\text{fossil-eq.}}$, “CML2001, climate change, 20yrs” para obter $\text{kgCO}_2\text{-eq.}$, e o método “ReCiPe Midpoint (H) V1.13, water depletion” para obter $\text{m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}$. A ACV é um método utilizado para quantificar o FEW nexus, defendido por Zhang et al. (2019) como um método típico para quantificar os impactos ambientais de um determinado produto ou processo ao longo de todo o seu ciclo de vida, refletidos como pegadas em um determinado contexto.

Conceitualmente, o nexo existente entre alimento, energia e água implica no reconhecimento que essas três variáveis são dependentes, ou seja, o aumento ou redução de uma está diretamente relacionada ao aumento ou redução da outra. Com o objetivo de uma avaliação do FEW nexus para municípios e para atingir o objetivo deste trabalho, o modelo conceitual FEW e seus indicadores como apresentados na Figura 3 são aplicados para o município de Santos e outros oito municípios em um cenário atual. Após calculados os indicadores $\text{kgCO}_2\text{-eq.}$, $\text{MJ}_{\text{fossil-eq.}}$, e $\text{m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}$, são analisados por um gráfico radar. Os indicadores são normalizados para elaborar o diagrama em radar, permitindo a comparação dos resultados de consumo direto e indireto para cada fluxo FEW. O gráfico radar (ou gráfico de teia) é composto de um conjunto de raios, em que cada raio representa um indicador (formando um pentágono). A área do diagrama indica o desempenho geral do cenário, pois quanto menor o tamanho do triângulo, menor a pressão sobre o meio ambiente pela demanda de recursos. Frankowska et al. (2019) utilizaram o diagrama em radar para mostrar os impactos causados nas plantações de vegetais do Reino Unido.

Nesta análise, todos os indicadores são considerados com a mesma importância (ou peso). Utiliza-se o logaritmo na base 10 (Log_{10}) para tornar os dados simétricos e os resultados foram normalizados pelo método “Standard score” (Equação 1). A área da figura obtida no diagrama em radar indica o seu desempenho

geral, pois quanto menor o tamanho do triângulo, menor a pressão sobre o meio ambiente pela demanda de recursos expressos por $\text{kgCO}_2\text{-eq.}$, $\text{MJ}_{\text{fossil-eq.}}$ e $\text{m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}$.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: “x” é o valor a ser normalizado;

“ μ ” é a média de “x”;

“ σ ” é o desvio padrão de “x”.

Até então, a análise realizada por meio da avaliação dos indicadores de desempenho para o FEW nexus é quantitativa, contudo, ainda de forma individual. Essa primeira verificação considera os fluxos FEW de forma separada e independente, ou seja, não integrada. Alguns dos autores que avaliaram os recursos de forma separada ou ainda focaram no estudo de apenas um dos três fluxos FEW foram: Kibler et al. (2018), focando no alimento como principal componente do FEW nexus, Bergendahl et al. (2018), destacando as ligações da água e energia para estudar os bio-sólidos, Djehdian et al. (2019), estudando a água como principal recurso do nexo, assim como, Mahjabin et al. (2020) focaram no recurso hídrico para entender as ligações com energia e alimento. Verificou-se que poucos autores relacionam os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) em seu estudo. O modelo conceitual aqui proposto contribui com a Agenda 2030, visto que os três indicadores considerados estão nos ODSs. Porém, a novidade deste modelo é a integração dos recursos FEW, que é explicada na seção a seguir.

4.2 Proposta de avaliação quantitativa e integrada do FEW nexus: CUBO

O modelo do CUBO é considerado neste trabalho para representar, de forma gráfica, o desempenho dos municípios em relação ao nexo existente entre seus indicadores FEW (chamada a partir deste ponto como FEW nexus). A Figura 4 apresenta o modelo proposto para representação e interpretação do FEW nexus para municípios. O modelo possui cada fluxo FEW representado em um plano (setas indicativas nos sentidos F, E e W), e limites (*thresholds*) são estabelecidos de acordo com a literatura científica e/ou relatórios governamentais para identificar áreas ou regiões no CUBO, que auxiliam no diagnóstico do FEW nexus dos municípios.

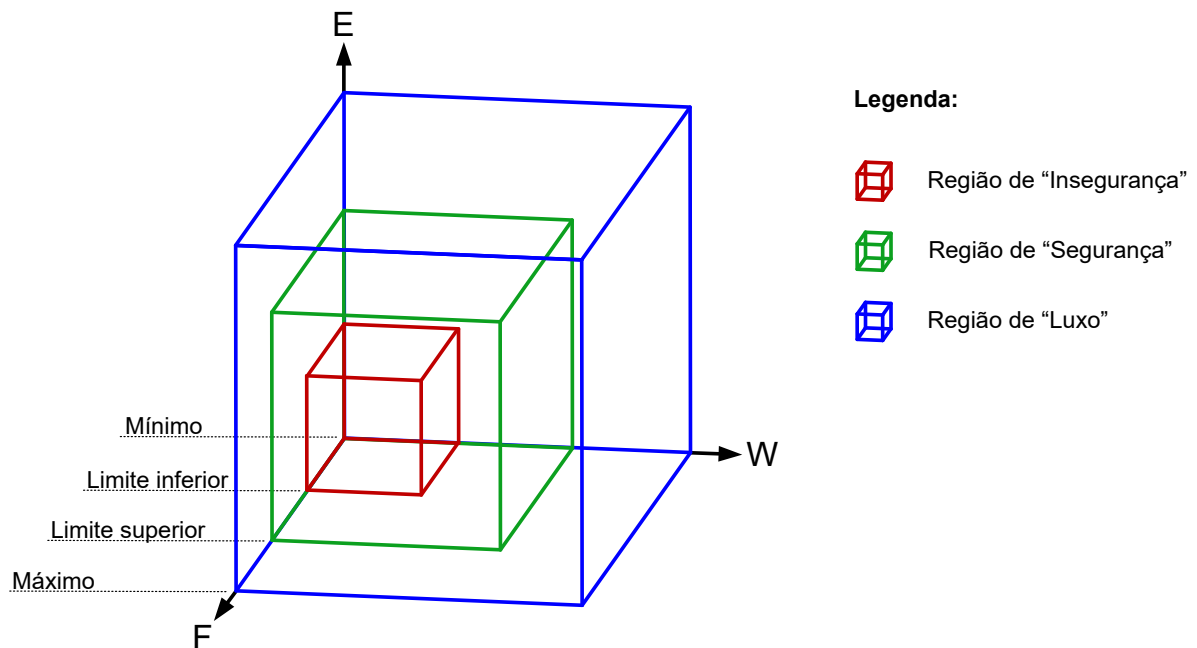
De acordo com a Figura 4, os valores mínimo possível, máximo possível, limites mínimos e máximos são estabelecidos para os indicadores de cada fluxo FEW, depois normalizados entre 0-1 pelo método de Normalização Escala de Recurso Mínimo e Máximo, ou também chamado de Normalização baseada em Unidade (Equação 2); esse método pode ser generalizado para restringir o intervalo de valores no conjunto de dados entre quaisquer pontos arbitrários a e b. Os critérios para avaliação do desempenho FEW nexus para municípios são julgados conforme: (i) quando o valor de um fluxo FEW estiver entre os limites inferior e superior, estará na região denominada de “segurança”; (ii) acima do limite superior, estará na região denominada como “luxo”; e (iii) abaixo do limite inferior, estará na região de “insegurança”.

$$X' = a + \frac{(X - X_{\text{mínimo}}) \cdot (b - a)}{(X_{\text{máximo}} - X_{\text{mínimo}})} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: “X” é o valor a ser encontrado;
 “X” é o valor a ser normalizado;
 “X_{mínimo}” é o valor do limite inferior mais próximo de X;
 “X_{máximo}” é o valor do limite superior mais próximo de X;
 “b” é o valor normalizado de X_{máximo};
 “a” é o valor normalizado de X_{mínimo}.

O modelo permite avaliar o desempenho do FEW de duas formas: (a) cada fluxo FEW avaliado individualmente; (b) o FEW nexus do município avaliado de forma integral. A avaliação individual é feita como descrito anteriormente, verificando onde cada indicador representando o FEW posiciona-se nas regiões pré-estabelecidas. A forma integral de avaliação do FEW nexus utiliza o ‘princípio do vetor’, denominado como ‘vetor FEW’, para determinar o ponto de encontro ou resultante entre os três fluxos FEW. O desempenho do FEW nexus pode ser interpretado de acordo com a posição espacial do vetor FEW, incluindo as regiões de insegurança, segurança e luxo (Apêndice H).

Figura 4: Modelo proposto para avaliação do FEW nexus de municípios.



Em alguns estudos do FEW nexus (ZHANG et al., 2019; CHIRISA E BANDAUKO, 2015; YANG et al., 2018; NHAMO et al., 2020) foi possível verificar que as palavras sustentabilidade e resiliência são usadas com o objetivo de mostrar o que é proposto com a abordagem do nexo. Embora o nexo entre alimento, energia e água se estabeleceu para mostrar as interações e a dependência dos três fluxos FEW, ainda não está claro quais dos conceitos é o mais adequado para incluir no estudo do FEW nexus, pois, há uma relação entre as definições de sustentabilidade e resiliência, podendo ser complementares.

A definição mais comum de desenvolvimento sustentável foi estabelecida pela Comissão Mundial sobre Desenvolvimento Ambiental (1987), sendo o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades. Davidson (2010) define sustentabilidade como um estado sistêmico de equilíbrio indefinido, em que os níveis de consumo de material antropogênico e produção de resíduos permanecem abaixo das capacidades produtivas e de absorção do sistema ecológico, ao mesmo tempo que garantem uma qualidade de vida, considerada aceitável pelos membros atuais e futuros desse sistema social. Por outro lado, em um estudo de Olsson et al. (2015), investigando a falta de relação entre resiliência e ciências sociais, está claro que o pensamento de resiliência descreve atributos

importantes dos ecossistemas, dos materiais e dos seres humanos, ou seja, a capacidade de lidar com e se recuperar após perturbações, choques e estresse.

Para o modelo de avaliação do FEW nexus proposto neste trabalho, o aspecto de sustentabilidade biofísica faz sentido quando o município está classificado na região de luxo, tendo assim de reduzir seu consumo dos fluxos FEW para mover-se em direção à região de segurança. Consequência disso seria também a redução de resíduos, aspecto importante quando discutindo sobre sustentabilidade. Por outro lado, quando os municípios são classificados na região de insegurança ou segurança, sugere-se que os consumos dos fluxos FEW sejam aumentados até atingir o seu máximo desempenho. Essa abordagem é contrária do que propõe a definição de sustentabilidade biofísica (consumir e gerar resíduos dentro da capacidade de regeneração do meio ambiente). Assim, não se pode relacionar o modelo de avaliação CUBO com sustentabilidade. Outros modelos de sustentabilidade incluem três diferentes pilares (social, ambiental e econômico), mas somente pode-se incluir de forma indireta o aspecto social no modelo CUBO, objetivando a região de segurança para promover maior qualidade de vida à população.

Por outro lado, o conceito de resiliência está relacionado à capacidade de lidar com e se manter em uma determinada situação mesmo após oscilações e estresses. Entende-se que essa condição está diretamente relacionada ao modelo CUBO, pois procura-se alcançar a região “ideal” de segurança para os três fluxos FEW. Portanto, o modelo mostra a capacidade do município em se manter nessa condição de resiliência, tentando evitar baixos e/ou exagerados consumo dos fluxos FEW e de forma quantitativamente similar.

4.2.1 Critérios propostos para definir as regiões de desempenho do nexo entre os fluxos FEW: CUBO

Para definir cada um dos limites (*thresholds*) é utilizada uma amostra de 189 países e seus respectivos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH). As informações foram coletadas de United Nations (2019) e os valores são para o ano de 2019, mas podem ser atualizadas quando novas versões se tornarem disponíveis. Os dados são classificados em dois grupos. O primeiro (grupo 1), com os países com IDH superior a 0,7, e outro (grupo 2), dos países com IDH inferior a 0,7. Mesmo que não de forma

direta, assume-se como proxy que o IDH representa indiretamente o nível de consumo de cada país. Por exemplo, os países com alto IDH (maior que 0,7) apresentam um alto desenvolvimento e, por essa razão, os consumos dos recursos FEW são assumidos como mais elevados para possibilitar alcançar o maior IDH (mais infraestrutura, bens e serviços para escolas e hospitais, e maior geração de PIB que demanda recursos). De forma análoga, os países com baixo IDH (menor que 0,7) que apresentam baixo desenvolvimento, indicariam menor consumo de alimento, energia e água. É importante enfatizar que um maior IDH não necessariamente expressa maior consumo, pois o pilar educação, por exemplo, pode contribuir para que a população melhore suas práticas de consumo de alimentos (mais equilibrados, sem desperdício e sem excesso de proteínas animais), usem energia de forma sustentável (aproveitando a luz solar quando possível, fontes renováveis, etc.), e evitem o desperdício de água direta. Contudo, para este trabalho, foi utilizado este indicador como critério devido à sua importância, representatividade e disponibilidade.

Após separados em grupos, elabora-se um inventário com todos os consumos de alimento, energia e água para saber a quantidade que os países consomem de cada recurso. As informações foram coletadas de Our world in data (2020), The World Factbook (2020), e Worldometer (2020), respectivamente. Após o levantamento de dados, quando necessário, são divididos pela população do respectivo país para deixar os valores de consumo “per capita”, pois entende-se que o consumo de recursos FEW em municípios está fortemente relacionado ao número e estilo de vida da população. Desta forma, é possível verificar e estabelecer os limites utilizados no CUBO, como explicados abaixo:

- a) Mínimo possível: para determinar esse ponto foi considerado o valor obtido para o país com o menor consumo por habitante entre os países do grupo 2 (países com IDH inferior a 0,7).
- b) Limite mínimo: esse ponto foi estabelecido utilizando a mediana dos consumos por habitante entre os países dentro do grupo 2.
- c) Limite máximo: esse ponto foi estabelecido utilizando a mediana dos consumos por habitante entre os países dentro do grupo 1.

- d) Máximo possível: esse limite foi determinado considerando o valor obtido para o país com o maior consumo por habitante entre os países do grupo 1 (países com IDH superior a 0,7).

Para inserir esses valores no CUBO, eles são normalizados entre 0 e 1, pelo método de Normalização Escala de Recurso Mínimo e Máximo ou Normalização baseada em Unidade (Equação 2). Os limites são pré-determinados como sendo: 0 (zero) para o mínimo possível; 0,33 para o limite inferior; 0,66 para o limite superior; e 1 (um) para o máximo possível. Essa técnica é utilizada para que haja simetria entre os dados e o design do CUBO.

Na coleta de dados é verificada a existência de pontos extremos, ou seja, com consumo muito alto ou muito baixo em relação ao conjunto de dados. Para haver coerência nas informações utilizadas neste trabalho, é empregada a ferramenta “*boxplot*” para apontar os pontos extremos. Mesmo entendendo que os pontos extremos (ou) não necessariamente indicam erros, essa abordagem faz-se necessária para que a análise fornecida pelo CUBO seja comparável e mais robusta de acordo com os critérios adotados neste estudo. Assim, entende-se que o *outlier* não representaria a amostra considerada, sendo descartada.

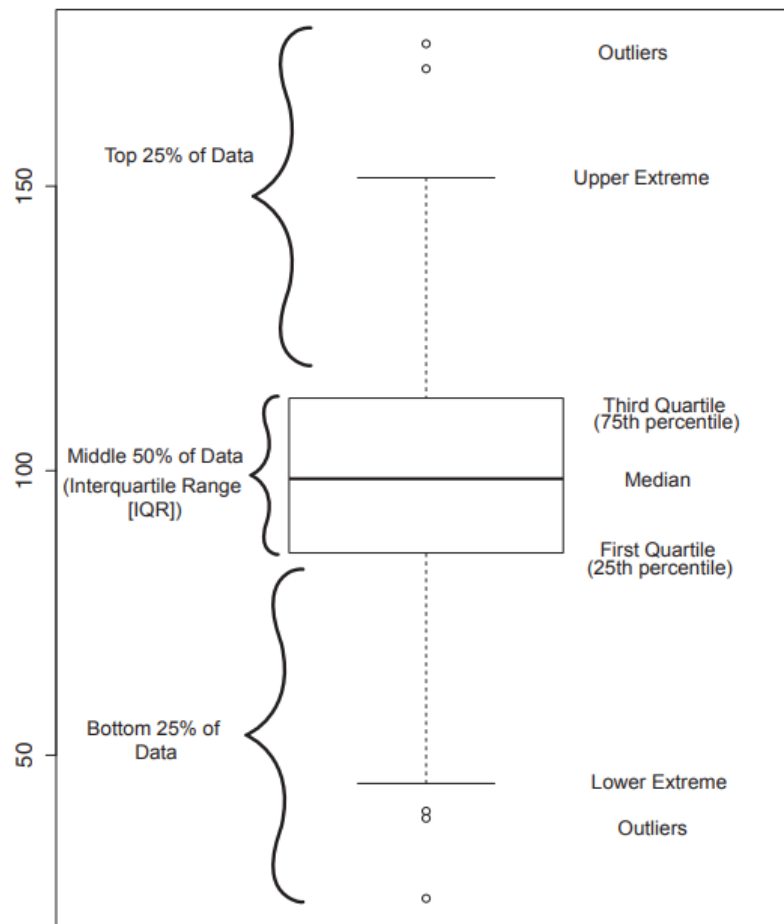
“Boxplot”

A ferramenta gráfica “*boxplot*” é utilizada para eliminar dados que estão fora de um conjunto e, por algum motivo, podem ter sido calculados erroneamente ou, ainda, não representam o sistema. Esse método usa resumos estatísticos, que são essenciais na presença da assimetria, e “*outliers*”, não requerendo pressupostos sobre a população (Nuzzo, 2016); ou conjunto de dados. A mesma abordagem foi usada por Marcílio e Giannetti (2017) para verificar a existência de “*outliers*” e a simetria das distribuições, sobre transformidades no estudo sobre emergia. É possível encontrar a amostra de dados nos Apêndices B, C e D, que apresentam os dois valores, com e sem “*outliers*”.

A Figura 5 mostra todos os elementos que constituem o gráfico “*boxplot*”. De acordo com Nuzzo (2016), o gráfico divide os dados da amostra em quartos ou quartis, sendo 2 caixas e 2 caudas, além dos “*outliers*”. As caixas abrangem 50% dos dados

intermediários. As bordas externas da caixa indicam o primeiro quartil (o 25º percentil, ou o valor no qual 25% dos dados ficam abaixo) e o terceiro quartil (o 75º percentil, ou o valor no qual 25% dos dados caem acima). A linha do meio da caixa indica a mediana (o segundo quartil). O comprimento da caixa é o intervalo interquartil (IQR), que é uma medida de propagação semelhante ao desvio padrão. As caudas mostram a extensão do intervalo de dados para os outros 50% dos dados. Elas começam nas bordas da caixa (o primeiro e o terceiro quartis) e estendem-se até o que é considerado valores "extremos" nos dados, normalmente considerados uma distância de 1,5 IQR, além do primeiro e terceiro quartis, embora outras variações sejam possíveis. Os valores além dos extremos são considerados "outliers" ou "outliers potenciais" e são marcados como pontos individuais.

Figura 5: Modelo de um "boxplot" e suas regiões.

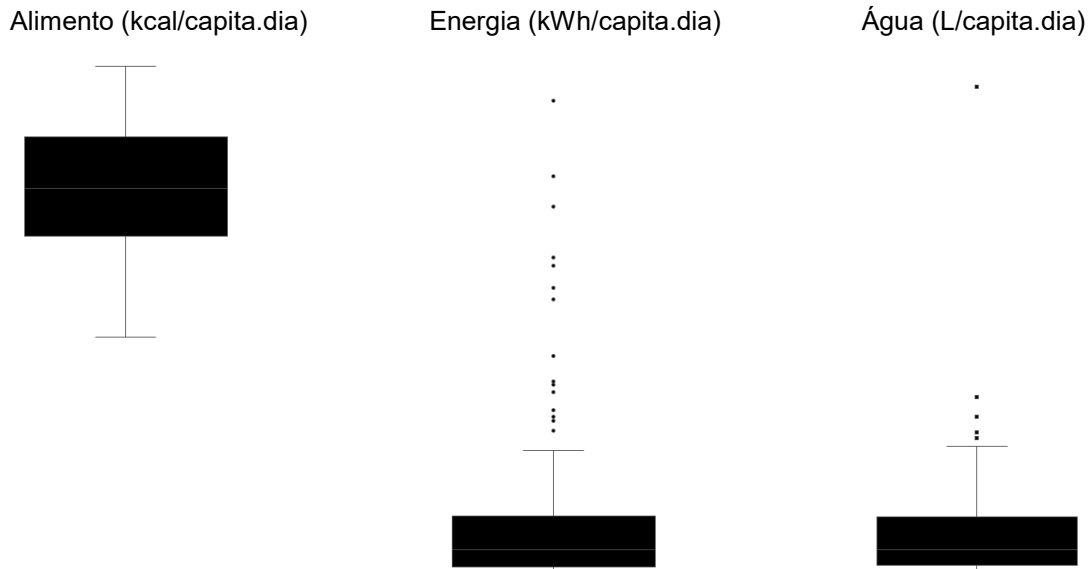


Fonte: Nuzzo, 2016.

Para este projeto, a principal característica do gráfico é destacar os "outliers" dos demais dados. Dessa forma, o "boxplot" avalia possíveis "outliers" na amostra 189 países, cuja amostra é considerada como base para a definição das regiões do CUBO.

Essa verificação é realizada para os consumos de alimento, energia e água do conjunto de países. A Figura 6 mostra os gráficos obtidos para cada um dos recursos FEW. As informações mais detalhadas para cada fluxo e seus “outliers” estão nos Apêndices F, G e H

Figura 6: “Boxplot” aplicado para este trabalho e seus “outliers”.



Para o recurso alimento, da amostra inicial de 189 países, é possível obter informações para 164 países, e não há dados para consumo de alimento com possíveis erros, assim, todos os dados de consumo foram contabilizados para definir os critérios de classificação do CUBO (Apêndice E). Para o recurso água, é possível obter dados para 174 dos 189 países. Utiliza-se, então, o “*boxplot*” para encontrar possíveis “outliers”. São encontradas 5 informações que podem ser caracterizadas como ‘pontos fora de linha’. Assim, a amostra final considerada é de 169 países (Apêndice F). Para o recurso energia, a partir da amostra inicial de 189 países é possível obter informações para 185 deles. Os restantes, após a aplicação do “*boxplot*”, 21 são caracterizados como “outliers” (Apêndice G). Logo, 164 países são carregados para definir os critérios de classificação do CUBO.

Após a operação da ferramenta “*boxplot*” foi possível definir os limites baseados em consumo de acordo com os critérios estabelecidos. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os limites do CUBO. Os valores estão em unidade de consumo/capita.dia. Essas quantidades são fixas e devem ser multiplicadas por 365 dias, que correspondem a um ano e, posteriormente, pela população de cada

município a ser avaliado. Esse cálculo habilita a comparação entre os limites e o valor ou consumo obtido para o município, deixando-os na mesma ordem de grandeza ou dimensão para cada fluxo FEW, lembrando ainda que a avaliação do CUBO é anual e a escala estudada é a região urbanizada, neste trabalho simplesmente denominada município.

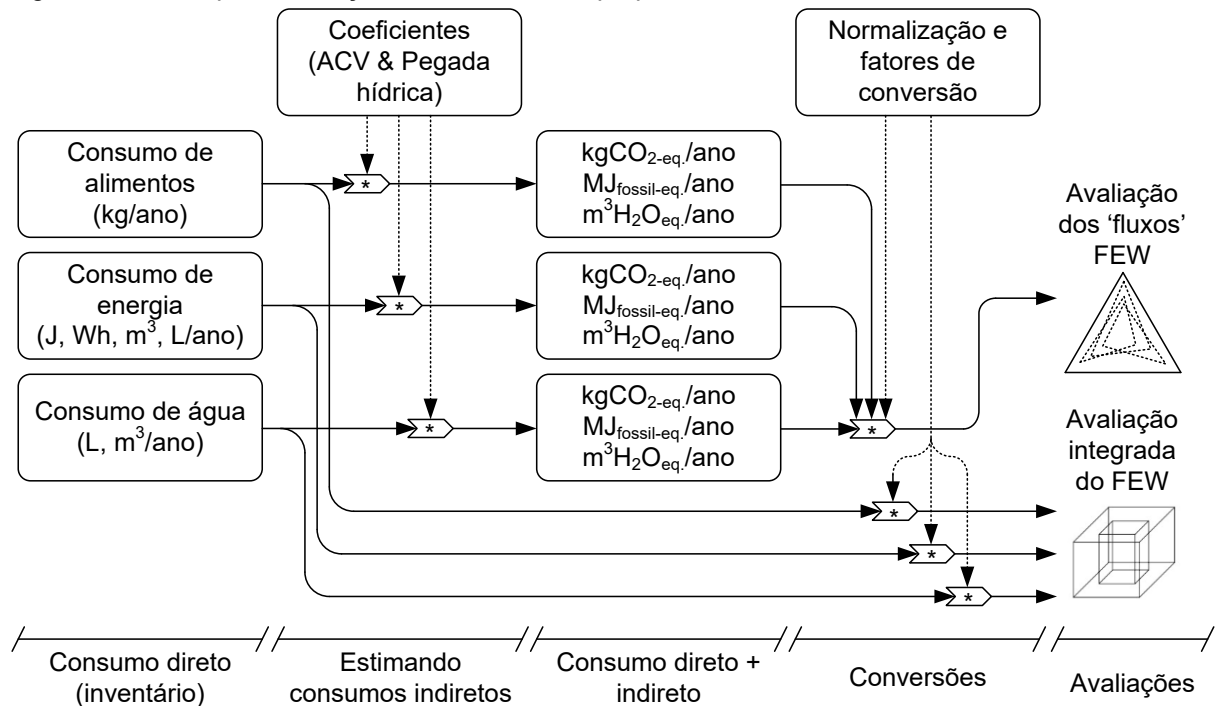
Tabela 2: Limites estabelecidos para o modelo CUBO.

Limites do CUBO	Quantidade	Normalização
Alimento (kcal/pessoa dia)		
Mínimo possível	1758	0
Limite inferior	2468	0,33
Limite superior	3140	0,66
Máximo possível	3768	1
Energia (kWh/pessoa dia)		
Mínimo possível	0,29	0
Limite inferior	5,51	0,33
Limite superior	47,23	0,66
Máximo possível	159,29	1
Água (L/pessoa dia)		
Mínimo possível	34	0
Limite inferior	343,5	0,33
Limite superior	1172	0,66
Máximo possível	4281	1

4.3 Passos para aplicação do modelo quantitativo e integrado do FEW nexus

Esta seção apresenta de forma sintética os passos a serem realizados na transformação das informações antes da sua avaliação de forma individual e integrada, diagrama de radar, e CUBO. A análise começa pela coleta de dados e vai até a avaliação dos resultados. As informações são apresentadas na Figura 7. O primeiro passo inclui todo o processo de obtenção de dados ou consumo para os municípios, chamado aqui de consumo direto. Os valores para consumo de alimentos são estabelecidos pela quantidade que uma pessoa consome por dia. Para os fluxos água e energia, é considerado o total consumido dentro daquela região urbana, incluindo as quantidades destinadas aos setores industrial, comercial, doméstico e agrícola. Os recursos alimento e energia são separados em grupos alimentares e de origem de energia, respectivamente. Isso para mostrar um resultado mais próximo da realidade, pois cada grupo possui um consumo indireto de água diferente do outro, ou mesmo, tem capacidades distintas em causar aquecimento global.

Figura 7: Passos para avaliação das ferramentas propostas.



O segundo passo, conhecido como “estimando consumos indiretos”, é efetuado apenas para a avaliação individual, ou seja, quando é analisado no diagrama de radar. Aqui são coletados dados para obter os indicadores kgCO₂-eq., MJ_{fossil-eq.}, e m³H₂O_{eq.}. O banco de dados do Ecoinvent®, versão 3.6 2019, foi considerado como fonte de dados para os fatores de conversão utilizado na ACV (detalhados na seção 4.2).

O terceiro passo constitui-se da obtenção dos indicadores de consumo direto e indireto. Aqui pode ser feita uma análise prévia dos resultados de forma comparativa, ou seja, quanto um fluxo utiliza a mais de recursos que o outro para cada indicador. Esse passo é realizado apenas para o diagrama de radar.

O quarto passo constitui-se das conversões ou normalizações desses dados para serem colocados dentro de cada ferramenta de avaliação. Para o diagrama de radar é realizada a normalização por desvio padrão e assim examinada. Para o CUBO, os dados obtidos no passo “consumo direto” são normalizados pelo método normalização linear e depois colocados na respectiva figura gráfica. Neste último, são necessárias estabelecer regiões para a sua classificação e quantificação, de tal forma que se faz necessário utilizar critérios baseados em consumo de nações (detalhados na seção 4.2).

O quinto e último passo é a fase de avaliação dos métodos. Para o diagrama de radar, são realizadas a leitura e interpretação visual e individual das grandezas apresentadas no gráfico. Para a análise do CUBO, são necessários três outros passos conforme detalhadamente descritos na próxima seção 4.4.

4.4 Forma de análise dos resultados: CUBO

Após estabelecidos os fluxos FEW para os municípios estudados e alocados dentro do CUBO, são realizados três passos para classificar e quantificar o FEW nexus. Esse procedimento permite analisar o sistema de forma integrada, representadas através de: (a) classificação da região no CUBO; (b) análise do fator limitante dos fluxos; e (c) comprimento do vetor FEW. O Apêndice H mostra de forma detalhada as 27 possibilidades de classificação do FEW nexus no CUBO, baseado nos passos (a) e (b). Para a boa análise do modelo CUBO proposto, é imperativo a verificação de cada um dos passos existentes. Para hierarquizar os municípios, deve-se considerar um critério de cada vez de acordo com a seguinte ordem: 1º.) classificação da região onde se encontra-se o vetor FEW: segurança, luxo, ou insegurança; 2º.) análise do fator limitante, classificando-se em: estável, semiestável, ou instável; 3º.) se ainda persistir a classificação semelhante, quantificar o comprimento do vetor FEW. Esses critérios são apresentados detalhadamente nas subseções a seguir.

4.4.1 Classificação da região no CUBO

Esse será o primeiro passo para avaliação do método proposto. A classificação da região em que os fluxos FEW se encontram permite conhecer o atual estado de consumo do município estudado. A partir dessa análise já é possível sugerir políticas e ações: (i) para incentivar o consumo dos recursos FEW (quando classificado na região de insegurança) ou (ii) para rever hábitos de consumo, alto padrão de vida ou mesmo mudar a dieta alimentar (quando na região de luxo). A região de segurança de cada fluxo mostra um consumo médio, de acordo com os critérios adotados neste trabalho, mas em algumas situações, pode ser sugerida alteração no consumo para alcançar potenciais melhorias.

4.4.2 Análise do fator limitante

Utilizar critérios de avaliação da resiliência baseados no conceito de Fator Limitante ajuda na verificação do equilíbrio dos recursos FEW. Logo, é realizada uma avaliação da condição limitante dos recursos FEW. O fator limitante é qualquer condição que se aproxime de ou exceda os limites de tolerância da vida de um modo geral, como um ecossistema, de um organismo animal ou vegetal (Odum, 1988). Esse princípio se desenvolveu a partir da “Lei do Mínimo” de Liebig e a “Lei de tolerância” de Shelford. A Lei do Mínimo revela as condições indispensáveis para subsidiar a vida e a Lei de Tolerância faz referência às capacidades de suporte a vida e pode ser adaptado ao meio em que determinada espécie habita. Uma condição limitante pode não apenas existir devido à indisponibilidade de um recurso, conforme propõe Liebig, mas também pelo excesso. Assim, o ambiente possui um mínimo e um máximo, para que apresente condições estáveis de suporte a vida. Essa circunstância vai ao encontro com os critérios estabelecidos para definir as regiões do CUBO e, por isso, são adaptadas e nomeadas para melhor entendimento.

Baseado nesses conceitos, os critérios adotados (Apêndice H) para essa análise foram: (i) quando todos os três fluxos FEW estiverem na mesma região será chamado de Condição Estável, pois os consumos dos fluxos FEW são similares, não havendo fator limitante; (ii) quando cada um dos três fluxos FEW estiver em uma região diferente, ou dois fluxos FEW estiverem em uma região e o outro fluxo na região vizinha, tem-se a chamada Condição Semiestável, pois, nesse caso, um ou dois fluxos FEW ultrapassam a fronteira da condição limitante, seja ele mínimo ou máximo; e (iii) quando dois dos três fluxos FEW estiverem em uma região extrema e o outro fluxo FEW na outra região extrema, tem-se a chamada Condição Instável, isso revela uma situação adversa, pois, os três fluxos FEW ultrapassaram a fronteira da condição limitante (limites inferior e superior), ou seja, ações são necessárias para melhorar os três fluxos FEW.

4.4.3 Quantificação do comprimento do vetor FEW

Enquanto as duas etapas anteriores são importantes para classificar o FEW nexus, essa etapa é importante para quantificá-lo. O princípio do vetor para este trabalho é fundamental para representar o ponto resultante dos fluxos FEW. A principal característica deste passo é a verificação do comprimento do vetor, partindo da origem do CUBO p(0,0,0). O comprimento do vetor no CUBO pode variar de 0 a 1,73, onde, para este último, o consumo dos recursos FEW deve ser o máximo possível para todos os fluxos. Vale destacar que a direção do vetor não é uma condição importante nesta avaliação, já que a quantificação utilizando o comprimento do vetor FEW é a última etapa considerada na hierarquização dos municípios de acordo com seu FEW nexus. Portanto, esse é um aspecto de ‘desempate’, ocorrendo quando as classificações anteriores forem as mesmas para a região e fator limitante.

De forma geral, quando a região de classificação for insegurança ou segurança, busca-se o maior vetor possível para alavancar o poder ou capacidade do município em demandar recursos FEW, com o objetivo de suportar o seu desenvolvimento. Se a região for luxo, busca-se o menor vetor possível, para que o município se aproxime da região segurança. Por exemplo, se o município A foi classificado na mesma região e fator limitante que o município B, o comprimento de seus vetores FEW irá mostrar qual possui melhor desempenho que o outro relacionado aos consumos de FEW. Nesse caso, a classificação mostra que os municípios possuem condições parecidas, diferenciando-se apenas em relação ao comprimento de seus vetores FEW. Por outro lado, quando as classificações do CUBO divergem entre municípios, o comprimento do vetor FEW não influencia em sua posição comparativa na hierarquia de municípios. O procedimento para cálculo do comprimento do vetor é apresentado na Equação 3. Os valores para F, E e W são os valores já normalizados obtidos para cada município.

$$\text{Vetor FEW} = \sqrt{F^2 + E^2 + W^2} \quad \text{Equação 3}$$

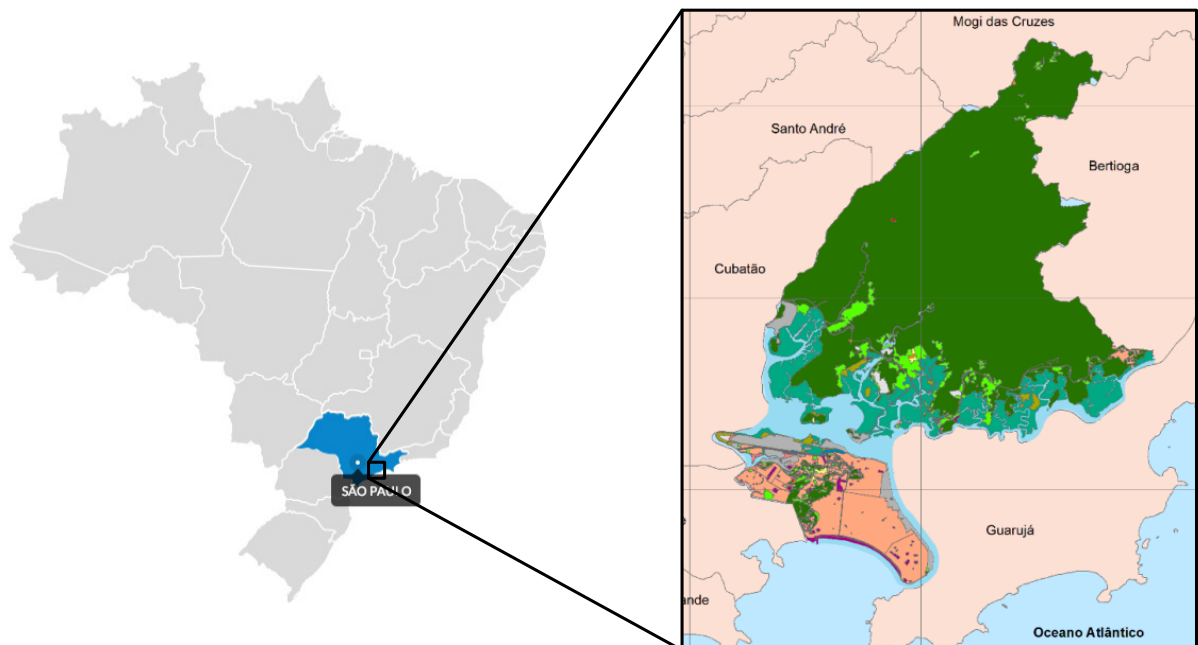
5. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

5.1 Aplicação do modelo no município de Santos

5.1.1 Fonte de dados

A aplicação detalhada do modelo proposto considera o município de Santos como estudo de caso, mas qualquer outro município é potencial candidato a ser detalhadamente avaliado em futuros trabalhos. A Figura 8 mostra a localização do município de Santos, estado de São Paulo; é o maior município do litoral paulista, situado a aproximadamente 70 km da capital São Paulo. O município possui uma área territorial de 281 km² (IBGE, 2018), composta pela ilha e pelo continente (este com 231 km²), área quase que totalmente preservada com vegetação nativa. Considera-se para avaliação, neste trabalho, a região insular e continental do município, denominado a partir deste ponto como “município de Santos”. O município possui 7 km de orla e uma população de ~433 mil pessoas (IBGE, 2018). Sua principal atividade econômica está relacionada ao seu porto, considerado o maior da América Latina.

Figura 8: Localização do Município de Santos (SP), incluindo a área continental e a ilha.



Fonte: adaptado de Jesus e Freitas (2017).

Os setores do turismo, de serviços e da pesca em geral completam a lista de maiores atividades da economia do município, mas a exploração da camada pré-sal

de petróleo e gás na bacia de Santos resultará em potenciais vantagens econômicas para o município (Prefeitura do Município de Santos, 2019). Segundo o censo de 2010 (IBGE, 2018), o município de Santos possui índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0,840, alcançando a 6ª melhor posição de todos os municípios do país e 3ª no estado de São Paulo, além de ter gerado um produto interno bruto (PIB) per capita de ~50 mil R\$. Devido a todas essas especificidades, Santos foi escolhida como estudo de caso neste trabalho. Os procedimentos utilizados nesta pesquisa poderão ser aplicados em outros municípios ou cidades do Brasil e do mundo (quando houver disponibilidade de dados).

5.1.2 Desempenho dos fluxos FEW para o Município de Santos

Inicialmente, um completo inventário de todos os fluxos de alimentos, energia e água que sustentaram o município de Santos em 2018 é realizado. Este ano justifica-se porque se trata do ano mais atual com dados disponíveis para realizar este estudo. Esse inventário é essencial para todas as subseqüentes análises de impacto que são realizadas de maneira paralela e independente, assegurando a máxima consistência dos dados de entrada. Informações sobre o consumo direto de energia para cada município do estado de São Paulo são fornecidas anualmente pelo Governo de São Paulo (2020). O consumo direto de água em municípios foi obtido no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). Para a demanda de alimentos, foram utilizadas as informações disponíveis pelo IBGE (2020).

A Tabela 3 apresenta os resultados para os fluxos FEW de Santos. Para o inventário do fluxo de alimentos foram utilizados dados do IBGE (2020) para os anos de 2017 e 2018, apresentando o consumo em grupos de alimentos por pessoa e por regiões do Brasil. Adequaram-se os grupos fornecidos pelo IBGE (2020) aos grupos de alimentos propostos pela Food and Agriculture Organization (FAO, 2017), entendendo que essa abordagem padronizada pode ser utilizada em estudos do nexo em outras regiões do mundo. Para alguns dos grupos de alimentos da Tabela 3 (cereais, carnes, frutas e verduras, lácteos, legumes e raízes e tubérculos) não foram encontrados fatores de conversão no banco de dados do Ecoinvent. Sendo assim, foram considerados os itens de maior participação no grupo alimentar (em %), por exemplo, arroz, pão, milho e trigo representando a categoria cereais. Os indicadores

obtidos para o fluxo alimento são $2,15E+07 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $1,30E+09 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$, e $5,19E+08 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$.

Tabela 3: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Santos em 2018.

Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			$\text{m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}$	$\text{MJ}_{\text{fos.-eq.}}$	$\text{kgCO}_2\text{-eq.}$
Fluxo FEW alimento (total)			$2,15E+07$	$1,30E+09$	$5,19E+08$
Cereais	$1,57E+07$	kg	$5,44E+06$	$9,26E+07$	$2,00E+07$
Carnes	$1,42E+07$	kg	$5,09E+06$	$2,01E+08$	$2,67E+08$
Frutas e verduras	$1,17E+07$	kg	$3,82E+06$	$8,04E+07$	$1,52E+07$
Peixe	$5,92E+05$	kg	$9,08E+02$	$2,10E+07$	$1,69E+06$
Lácteos	$1,66E+07$	kg	$2,13E+06$	$5,06E+08$	$1,33E+08$
Legumes	$1,14E+07$	kg	$3,07E+05$	$1,50E+08$	$2,13E+07$
Raízes e tubérculos	$1,08E+07$	kg	$7,76E+05$	$2,95E+07$	$3,77E+06$
Açúcares	$2,66E+07$	kg	$3,72E+06$	$1,39E+08$	$2,78E+07$
Azeites vegetais	$3,12E+06$	kg	$2,34E+05$	$7,77E+07$	$2,95E+07$
Fluxo FEW energia (total)			$2,64E+06$	$1,05E+10$	$1,51E+08$
Eletricidade (BR)	$1,39E+06$	MWh	$1,35E+00$	$1,30E+04$	$8,23E+02$
Eletricidade (GLO)	$0,00E+00$	MWh	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Gás natural	$1,40E+07$	m^3	$5,28E+03$	$6,04E+08$	$8,98E+06$
Etanol	$5,81E+07$	L	$2,32E+06$	$1,51E+08$	$3,38E+07$
Derivados de petróleo	$1,74E+05$	toe^1	$3,15E+05$	$9,73E+09$	$1,08E+08$
Carvão	$0,00E+00$	kg	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Fluxo FEW água (total)			$9,66E+05$	$1,74E+08$	$1,67E+07$
Água	$7,22E+10$	L	$9,66E+05$	$1,74E+08$	$1,67E+07$

Nota: ¹tonelada de óleo equivalente (do inglês "tonne of oil equivalent").

Referente ao fluxo energia, os itens da Tabela 3 integram o consumo total do município de Santos, listados separadamente para obter resultados mais precisos porque os fatores de conversão do Ecoinvent são diferentes; em outras palavras, não existe fator de conversão para o item energia no Ecoinvent, mas existe para etanol, eletricidade, gás natural, etc. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $2,64E+06 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $1,05E+10 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $1,51E+08 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. De maneira similar, para o fluxo água obteve-se $9,66E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $1,74E+08 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $1,67E+07 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$.

Comparando os indicadores da Tabela 3, percebe-se elevada quantidade de água incorporada ao longo dos processos de produção de alimentos, considerando todo o seu ciclo de vida até o consumidor final no município de Santos. O valor de $2,15E+07 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$ obtido para o fluxo alimento é aproximadamente 8 vezes maior do que o consumo de água para a geração de energia (fluxo energia), e 22 vezes superior ao próprio uso de água direta e indireta, considerando a coleta até seu consumo (fluxo água). Mesmo que não percebida diretamente no alimento, utiliza-se muita água de forma indireta em sua produção, tornando-se um importante aspecto a ser considerado em futuros planejamentos de desenvolvimento do município de

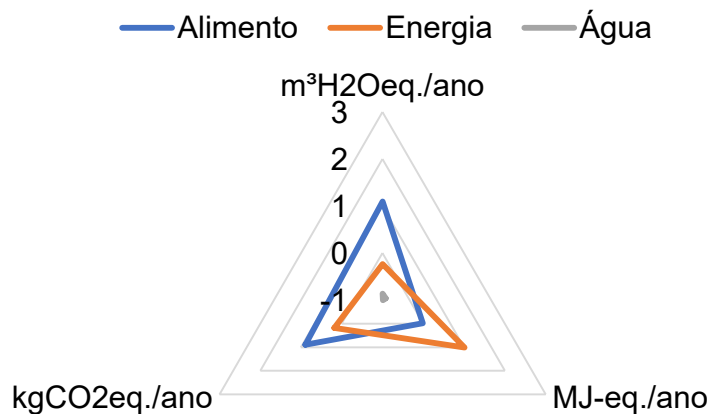
Santos. Em outras palavras, focando no indicador de consumo de água direta e indireta, o fluxo alimento deve ser priorizado, pois é o maior consumidor desse recurso.

O indicador energia fóssil incorporada mostrou-se importante no fluxo energia, cujo valor de $1,05E+10$ MJ_{fossil-eq.}/ano é aproximadamente 8 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 60 vezes maior que o encontrado para o fluxo água ($1,74E+08$ MJ_{fossil-eq.}/ano). Assim, focando no indicador de energia incorporada, o fluxo FEW energia deve ser priorizado em políticas públicas.

O potencial de aquecimento global (PAG) indica que o fluxo alimento é o mais impactante, com um PAG de $5,19E+08$ kgCO_{2-eq.}/ano. Esse resultado é 31 vezes maior que o obtido pelo fluxo água e 3 vezes maior que o obtido pelo fluxo energia. O fluxo alimento deve ser prioridade em planejamentos quando se tratar da redução do PAG.

A Figura 9 apresenta o diagrama de radar com os resultados da Tabela 3 normalizados. É possível observar que o consumo de alimentos (talvez aliado ao estilo de vida) deve ser priorizado para aumentar a resiliência de Santos, uma vez que o fluxo de alimentos é, comparativamente, o que mais demanda água e o maior causador de aquecimento global. Em relação ao indicador energia no fluxo FEW energia, seu impacto é elevado comparado aos alimentos e água. Esses resultados mostram que o fluxo alimento é fator chave quando discutido sobre a resiliência do município de Santos baseado no FEW nexus, seguido pelo fluxo energia.

Figura 9: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Santos em 2018. Dados da Tabela 3 normalizados de acordo com a Equação 1.



5.1.3 Aplicação do modelo de análise integrada do FEW nexus em Santos

Para estabelecer as regiões do CUBO que mostram os diferentes desempenhos do nexo entre os fluxos FEW dos municípios, todos os valores são normalizados entre 0 e 1. De acordo com os critérios apresentados na Tabela 4, estabelece-se o ponto 0 como o de menor consumo possível de alimento, energia e água, igualmente, o ponto 1 representa o maior consumo possível. Para os limites superiores e inferiores, atribuem-se os valores de 0,66 e 0,33 respectivamente, para que a normalização resultante respeite as características geométricas do CUBO. Utilizou-se o IDH como critério na escolha dos valores superiores e inferiores para cada fluxo FEW, pois, em média, tem-se maior consumo nos países com alto desenvolvimento e menor nos países com baixo desenvolvimento.

A Figura 10 apresenta o modelo proposto para avaliação integrada dos fluxos FEW, resultado para Santos em 2018 (cenário atual). Os fluxos FEW, cujas unidades estão em kcal, kWh e L, expressam apenas o consumo direto de cada recurso. As quantidades consumidas consideradas para os municípios são as mesmas utilizadas no cálculo dos indicadores de desempenho $m^3H_2O_{eq.}$, $MJ_{fossil-eq.}$ e $kgCO_{2-eq.}/ano$, contudo, para o fluxo FEW alimento houve a necessidade da transformação do consumo de kg para kcal. Para isso utilizou-se a Tabela de Composição Nutricional dos Alimentos fornecida pelo IBGE (IBGE, 2009), fez-se a média da energia para cada grupo alimentar e, posteriormente, multiplicou-se pelo respectivo grupo, obtendo assim os valores em kcal.

Os fluxos alimento, energia e água para Santos estão em uma região de segurança, pois estão entre os limites superior e inferior estabelecidos. Classificando o nexo entre os fluxos FEW de forma integrada, o vetor FEW obtido para o município em 2018 está na região denominada como de segurança. Os fluxos FEW para Santos, comparados com os consumos da amostra de países considerados neste estudo, encontram-se entre os limites inferior e superior para cada recurso. Observa-se que pequenas oscilações nos fluxos FEW de Santos dificilmente mudariam a posição final do vetor FEW, pois os desempenhos individuais dos fluxos FEW estão em uma posição média entre os limites inferior e superior. A região de segurança pode ser considerada como o objetivo a ser alcançado considerando dois critérios: fornecer adequadas condições de vida para a população (evitar a região de insegurança), e

reduzir a demanda por recursos do ambiente natural de forma demasiada (evitar a região de luxo).

Tabela 4: Critérios propostos para a definição das regiões de desempenho do nexa entre os fluxos FEW em municípios.

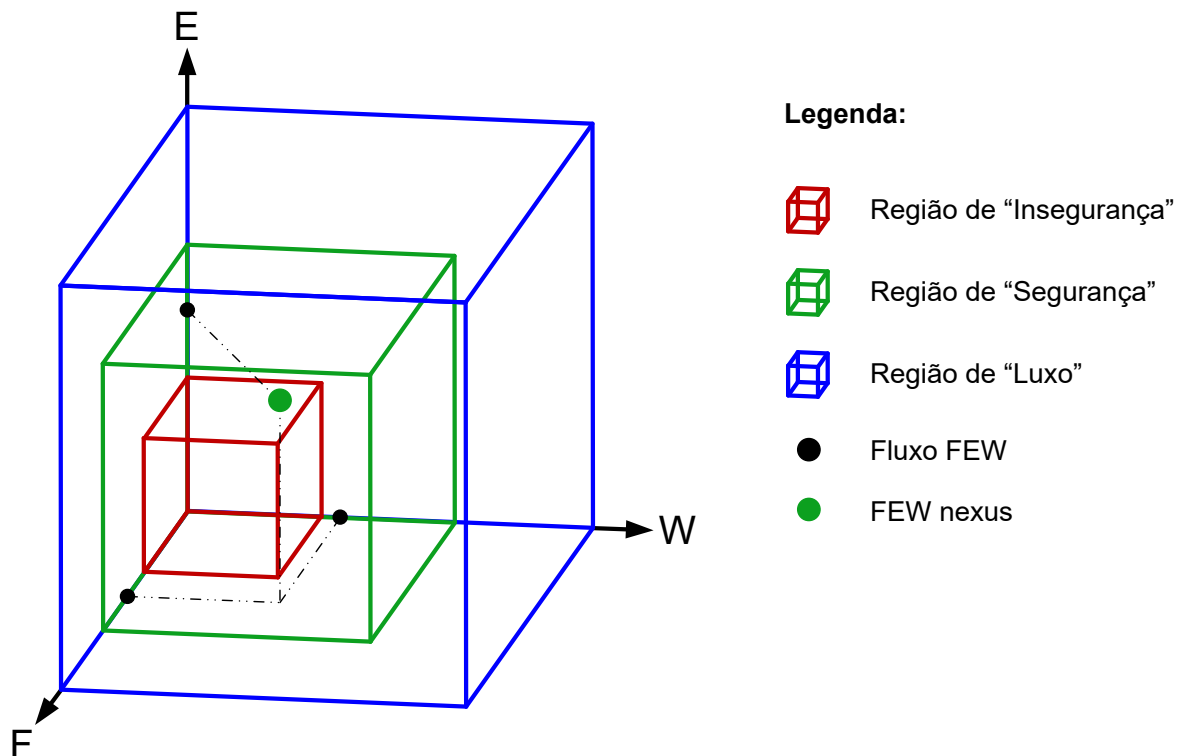
Descrição	Quantidade ^a	Normalização	Método	Fonte
Fluxo FEW alimento (kcal/ano)				
Mínimo possível	2,78E+11	0	Valor do país com menor consumo por habitante entre os países com IDH inferior a 0,7 em 2019.	IDH (United Nations, 2019);
Limite inferior	3,90E+11	0,33	Mediana de consumo por habitante dos países com IDH inferior a 0,7 em 2019.	kcal/país (Our world in data, 2020)
Limite superior	4,96E+11	0,66	Mediana de consumo por habitante dos países com IDH superior a 0,7 em 2019.	
Máximo possível	5,95E+11	1	Valor do país com maior consumo por habitante entre os países com IDH superior a 0,7 em 2019.	Amostra de 164 países
Santos	4,48E+11	0,51		Este trabalho
Fluxo FEW energia (kWh/ano)				
Mínimo possível	4,58E+07	0	Valor do país com menor consumo por habitante entre os países com IDH inferior a 0,7 em 2019.	IDH (United Nations, 2019);
Limite inferior	8,71E+08	0,33	Mediana de consumo por habitante dos países com IDH inferior a 0,7 em 2019.	Consumo de Energia (The World Factbook, 2020);
Limite superior	7,46E+09	0,66	Mediana de consumo por habitante dos países com IDH superior a 0,7 em 2019.	
Máximo possível	2,52E+10	1	Valor do país com maior consumo por habitante entre os países com IDH superior a 0,7 em 2019.	Amostra de 164 países
Santos	3,95E+09	0,48		Este trabalho
Fluxo FEW água (L/ano)				
Mínimo possível	5,37E+09	0	Valor do país com menor consumo por habitante entre os países com IDH inferior a 0,7 em 2019.	IDH (United Nations, 2019);
Limite inferior	5,43E+10	0,33	Mediana de consumo por habitante dos países com IDH inferior a 0,7 em 2019.	Consumo de água (Worldometer, 2020);
Limite superior	1,85E+11	0,66	Mediana de consumo por habitante dos países com IDH superior a 0,7 em 2019.	
Máximo possível	6,77E+11	1	Valor do país com maior consumo por habitante entre os países com IDH superior a 0,7 em 2019.	Amostra de 169 países
Santos	7,22E+11	0,38		Este trabalho

^a Valores L, MWh ou kcal foram multiplicados pela população de Santos de 2018.

O ODS11, Cidades e Comunidades Sustentáveis, estabelecido como meta para o desenvolvimento sustentável (ODS; AGENDA 2030, 2019) busca tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Garantir o acesso à habitação e aos serviços básicos são metas do ODS11, assim

como reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar e gestão de resíduos municipais. Algumas dessas características estão relacionadas aos recursos FEW e aos resultados obtidos neste trabalho. Santos, altamente urbanizada, apresentou características de consumo de alimento, energia e água que a colocam em uma região de “segurança”, segundo o modelo proposto neste estudo. Pelas características de consumo, pode-se então dizer que o município de Santos está em Condição Estável (os três fluxos FEW estão na mesma região). Mesmo que não necessário, pois nenhum outro município está sendo considerado como comparação na Figura 10, o comprimento do vetor FEW de Santos é de 0,80; esse vetor é importante nas próximas seções para auxiliar nas comparações com outros municípios.

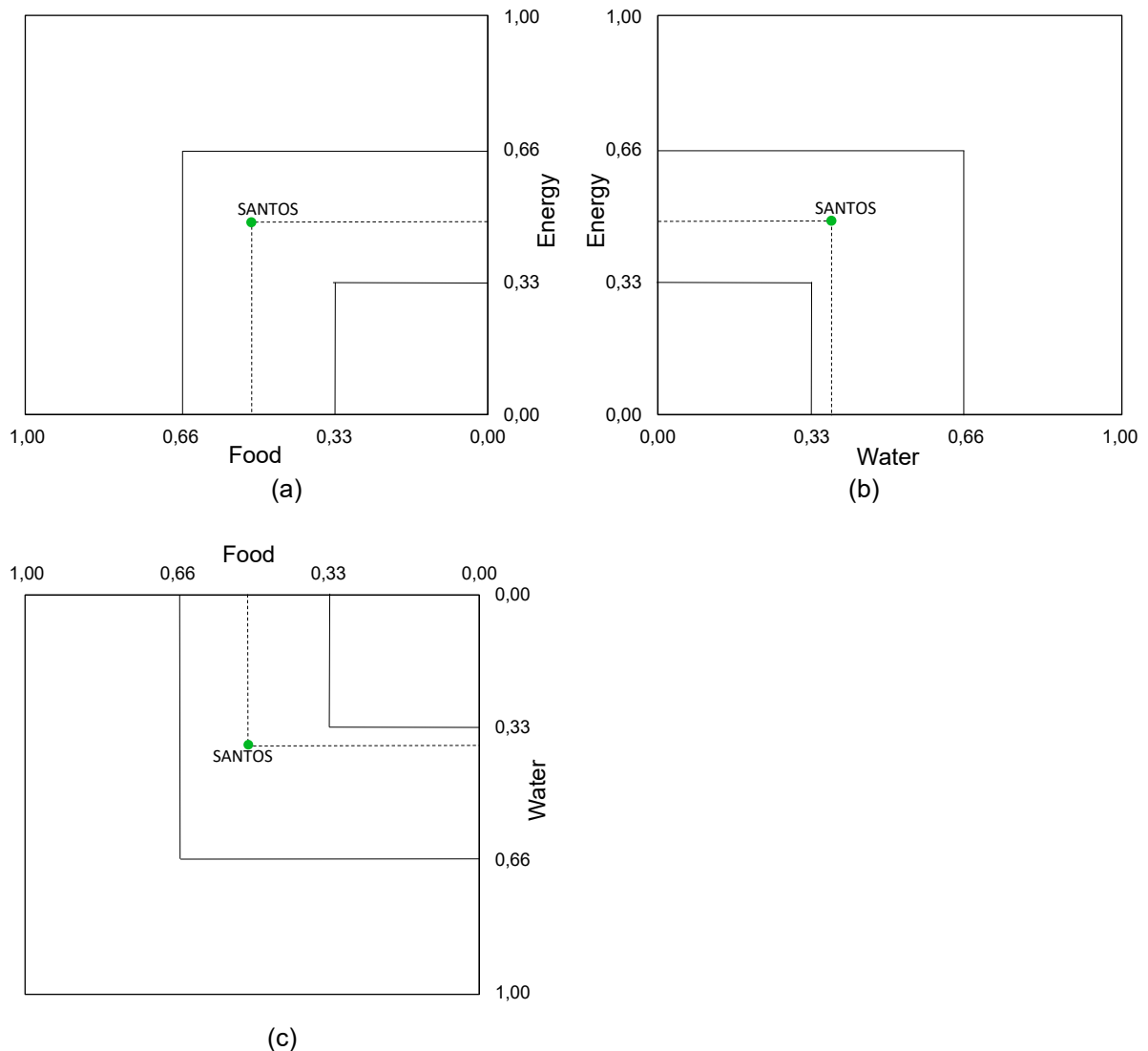
Figura 10: FEW nexus para o município de Santos em 2018.



Além da Figura 10, o CUBO na versão integrada 3D, é igualmente interessante destacar alguns aspectos que podem ser verificados na interface 2D, conforme é apresentado na Figura 11. Na interface 2D é possível identificar as relações de consumo existentes entre dois fluxos e a característica individual de cada recurso FEW. Por exemplo, a Figura 11b permite identificar que o fluxo FEW água está próximo do limite inferior, que divide a região de insegurança e segurança. Essa análise individual possibilita decisões específicas em cada fluxo e para essa situação

pode-se sugerir, de forma geral, o aumento no consumo de água. Além disso, pode-se verificar que os fluxos energia e alimento possuem características de consumo que os colocam bem no centro da região de segurança, mostrando similaridades de consumo com aqueles países que se encontram próximo do IDH 0,7.

Figura 11: Projeções ortogonais do CUBO. (a) vista lateral direita (F-E); (b) vista frontal (E-W); e, (c) vista superior (F-W).



5.1.4 Sugestões para políticas públicas no município de Santos

Nesta seção sugerem-se algumas alternativas para políticas públicas, de acordo com os resultados obtidos do modelo CUBO, aplicado ao município de Santos. Não se pretende aqui esgotar o assunto porque se sabe que a forma mais eficiente de proposição de políticas públicas é através de reuniões participativas (SMITH et al., 2010) com tomadores de decisão e *stakeholders*, em que a aplicabilidade das

alternativas são discutidas, para que esforços coletivos consigam colocar em práticas as sugestões. Embora sugestões para incentivar um consumo consciente dos fluxos FEW no município de Santos são apresentadas, entende-se que muitos outros tópicos relacionados ao FEW nexus poderiam ser abordados. Porém, este estudo foca no modelo CUBO para avaliação integrada do FEW nexus em municípios e, nesse caso, sugere-se que trabalhos futuros estudem mais detalhadamente o que pode impactar de forma sustentável o consumo de alimento, energia e água no município de Santos, considerando a ferramenta de avaliação CUBO. De qualquer forma, as propostas apresentadas tratam de um exercício importante para evidenciar as potencialidades que o modelo CUBO possui.

Alimento

O município de Santos está classificado em uma região de segurança e, além disso, os três recursos do FEW nexus estão nessa região, representando um consumo entre os limites inferior e superior. Esse é um aspecto positivo, contudo pode ser melhorado, fazendo com que o consumo de cada elemento FEW se aproxime do limite máximo, sem atingir a região de luxo. De forma, geral, os três fluxos FEW devem aumentar, mas ações mais específicas mostram-se importantes para auxiliar os tomadores de decisão sobre estratégias a serem implementadas no município. Assim, algumas ações que poderiam ser realizadas para promover consumos eficientes quando relacionados ao FEW nexus de Santos:

- a) Não há produção de alimentos no município, contudo Santos possui uma grande área não urbanizada (parte dela de reserva natural) que poderia ser utilizada para extrair, de forma planejada e sustentável, alguns recursos alimentares para reduzir a dependência externa. Cita-se aqui a produção de mel, ervas medicinais e temperos, e, quando houver possibilidade, produção de verduras e legumes.
- b) Ações podem focar em reduzir as perdas e desperdícios ao longo da cadeia alimentar. Substituir equipamentos e inovar as operações, processos e tecnologias existentes, pode ser outra abordagem para economizar mais recursos e diminuir os impactos ambientais na produção de alimentos.
- c) Visto que a produção de alimentos não é realizada próxima dessa região, busca-se primeiramente a importação desse recurso de regiões vizinhas

para reduzir os custos energéticos em transportes. Nesse caso, o alimento consumido vem de várias regiões do Brasil e são vendidos no centro de distribuição da CEAGESP em São Paulo. Fomentar a produção local/regional de alimentos seria uma alternativa.

- d) As merendas escolares, em que a prefeitura tem gerência exclusiva, devem ser oriundas da produção local. Devido às restrições de espaço físico, sugere-se a mesma alternativa anterior, priorizar a importação de regiões próximas. Ainda, destaca-se a importância de uma alimentação mais balanceada, incluindo-se aumentar o consumo de peixe em substituição de carne vermelha (principalmente), alimento encontrado na região por tratar-se de área litorânea. O consumo da proteína do peixe em substituição de proteínas de outros animais reduziria a demanda indireta por água e consumo energético ao mesmo tempo. O consumo de peixe em Santos ainda é consumido em menores quantidades, quando comparado aos demais grupos alimentares, conforme apresentado anteriormente. Aqui, a população poderia ser conscientizada sobre a importância em mudar o estilo de vida, impulsionando a atividade pesqueira.
- e) O grupo alimentar carne, incluindo-se as de origem bovina e de frango, possui o maior impacto em causar aquecimento global e apresentou o maior indicador de consumo de energia. Esse grupo poderia ser substituído pelo peixe, ou ainda, frutas, verduras, raízes e tubérculos, que apresentaram menor impactos relacionados aos consumos hídricos e energéticos. Incentivar esse tipo de consumo subsidiado por especialistas em nutrição e de outras áreas da saúde, via propaganda, incentivos fiscais, cursos, etc., seria uma alternativa.
- f) Embora reconhecendo a dificuldade em considerar a produção local de alimento em grandes centros urbanizados, inclui-se como sugestão para políticas públicas, a implantação de hortas urbanas que, por sua vez, beneficia a qualidade de vida da população e incentiva a produção de verduras, raízes entre outros. Esse tipo de produção vem sendo experimentado em diferentes regiões do mundo, incluindo um caso de sucesso em shopping do município de São Paulo, vizinho de Santos. Essa prática poderia ser adquirida por moradores da região, bem como, pelos

proprietários de grandes estabelecimentos empresariais, condomínios, etc., podendo utilizar alguma área disponível e/ou as coberturas das construções para essa atividade.

- g) Referente aos resíduos orgânicos gerados em Santos e são depositados em aterros, sugere-se sua compostagem e reuso em hortas comunitárias. O município possui praias que atraem muitos turistas, aumentando a produção de alimentos em certos períodos. Uma alternativa já incorporada foi o desenvolvimento da lei municipal complementar nº952, de 30-12-2016, implantada para o município de Santos no estado de São Paulo, que disciplina o gerenciamento dos resíduos sólidos. De forma geral, os grandes geradores de resíduos são cobrados para encontrar uma forma ambientalmente correta de descarte, tendo de arcar com os custos de processo. É uma política pública positiva do município e poderia ser considerada em outras regiões.

Energia

Encontrar alternativas para reduzir o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa provenientes de seu uso vem sendo o foco em muitos países e grandes metrópoles. A substituição de energia de origem fóssil, por fontes renováveis tem sido a principal sugestão para reduzir emissões de carbono fóssil. Entretanto, para muitas regiões, essa substituição dificilmente acontecerá devido a fatores externos como, por exemplo, a falta de vento para obtenção da energia eólica, ausência de energia potencial de água (falta de água ou topografia não apropriada), ou mesmo, espaço físico para instalação de painéis fotovoltaicos. Entre as sugestões que aqui se poderia propor seriam:

- a) Sabendo que o município está em uma região litorânea, pode-se pensar sobre a implementação de equipamentos para a geração de energia de marés. Nesse caso, devem ser realizados estudos de viabilidade para conhecer as potencialidades desse projeto.
- b) Não é comum utilizar placas fotovoltaicas nessa região, talvez por conta do estilo de vida da população local ou mesmo por se ter uma cidade altamente urbanizada, com as pessoas habitando apartamentos ao invés de casa com terrenos privados. Por outro lado, a região possui elevada

radiação solar durante grande parte do ano e com grande potencial de utilizar essa energia renovável, principalmente quando aliada à instalação de painéis fotovoltaicos nos prédios habitacionais. Podem-se, então, elaborar incentivos fiscais e/ou obrigatoriedade de projetos habitacionais em que os painéis sejam instalados.

- c) Relacionado ao estilo de vida, destaca-se a importância de conscientização das pessoas para reduzirem a demanda por energia elétrica, principalmente pelos chuveiros elétricos e ar condicionado. Projetos de arquitetura poderiam ser incentivados por legislação municipal para aproveitar melhor a luz solar e ambiência com circulação de vento natural. A cidade está alimentada com uma rede de tubulação para abastecimento de gás natural, mesmo assim, a grande maioria dos prédios mais antigos ou mesmo os novos utilizam energia elétrica nos chuveiros. Uma legislação para incentivar o uso de gás natural em chuveiros poderia reduzir a demanda por eletricidade – tratando-se de um tipo de energia de maior qualidade e deveria ser utilizado para fins mais nobres.

Água

Sabe-se que a água é um recurso muito importante para todas as atividades humanas, incluindo o consumo humano, consumo para a criação de animais (principalmente gado), uso na agricultura, uso em processos industriais, e para a geração de energia. O município de Santos, embora conte com uma grande área verde (área continental), não possui agricultura e nem a criação de animais, reduzindo significativamente o seu consumo de água. Por outro lado, o maior porto da América Latina é localizado no município, aumentando a demanda pelo insumo para uso industrial. Dessa forma, alguns aspectos para melhorias podem ser destacados, como:

- a) A maior parte da água consumida no município é coletada na represa do município vizinho, Cubatão, sendo essa uma condição positiva, pois, reduz-se o risco de perdas de água por vazamentos e reduz a demanda por energia (bombeamento) para o transporte desse recurso em longas distâncias. Sugere-se proteger a bacia hidrográfica (zonamento, áreas de APP) do rio de onde a água é extraída, para garantir quantidade e

qualidade. Em relação à qualidade, pode-se reduzir a demanda por recursos e energia para seu tratamento quando se protegem as áreas de mananciais.

- b) Relacionado à forma de captação do recurso e sabendo que o município conta com uma área altamente urbanizada na área insular, sugere-se que sejam implantados mecanismos de coleta de água de chuva nos edifícios da cidade. Essa água poderia ser utilizada posteriormente para fins não potáveis, como uso em sanitários, lavagem de carros, irrigação de hortas, entre outros.
- c) Algumas habitações irregulares (palafitas) são encontradas no município, localizadas próximas aos rios, o que acaba poluindo o ambiente aquático pelo despejo de esgoto sanitário in natura. Esforços para realocar os moradores dessa região já vêm sendo feitos pelo governo, buscando garantir melhor qualidade de vida às famílias, ao mesmo tempo contribui com o meio ambiente. Isso poderá fazer com que essa água se torne apta para alguns usos, por exemplo, serviços de lavagem em indústrias, o que reduziria a demanda por água captada e tratada pelos sistemas municipais e toda a energia envolvida nesse processo.

5.2 Utilização do modelo proposto em outros municípios

Esta seção aborda a aplicação do modelo CUBO em outros municípios, também do estado de São Paulo, para comparação de seu desempenho com o do município de Santos. O Apêndice I detalha o consumo de alimento (em kg e kcal), energia e água e a população em cada município estudado. Além do município de Santos, são considerados outros 8 municípios com características distintas entre eles. Foram selecionadas regiões altamente urbanizadas e outras quase totalmente rurais, algumas com IDH alto e outras baixo, porém, todas do mesmo estado, pois há disparidades entre os municípios quando se trata dos consumos dos recursos do FEW nexus e são suficientes para mostrar a real contribuição da ferramenta proposta. São apresentados apenas os resultados para cada município, sem organizá-los hierarquicamente, o que será apresentado em outra seção.

Águas de São Pedro

Os resultados dos fluxos FEW do município de Águas de São Pedro são apresentados na Tabela 5. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $1,68E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $1,01E+07 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$, e $4,05E+06 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $1,83E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $3,47E+08 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $6,25E+06 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Da mesma forma, para o fluxo água houve $7,59E+03 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $1,37E+06 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $1,32E+05 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$.

Pela comparação entre os indicadores da Tabela 5 é possível verificar um consumo direto e indireto de água similar para os fluxos alimento e energia, diferente do obtido para o próprio fluxo água, que mostrou menor consumo entre os três recursos para esse indicador. O valor de $1,83E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$ obtido para o fluxo energia é de 1 vez maior do que o consumo de água para a produção de alimentos (fluxo alimento), e 24 vezes superior ao próprio uso de água, direta e indireta, durante o seu ciclo, considerando a coleta até seu consumo (fluxo água).

Tabela 5: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Águas de São Pedro.

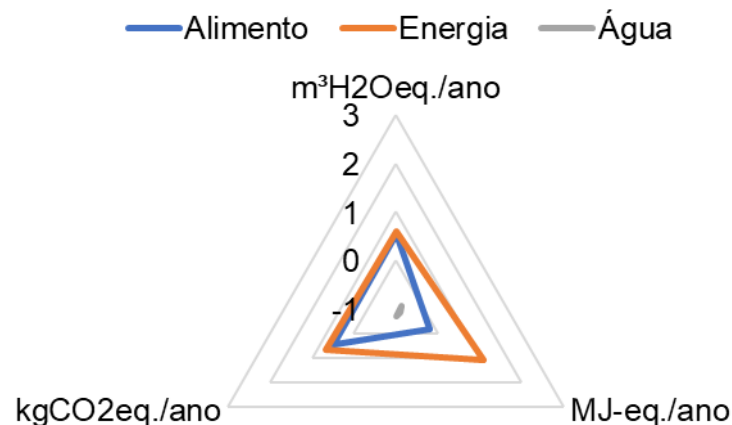
Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			$\text{m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}$	$\text{MJ}_{\text{fos.-eq.}}$	$\text{kgCO}_2\text{-eq.}$
Fluxo FEW alimento (total)			$1,68E+05$	$1,01E+07$	$4,05E+06$
Cereais	$1,23E+05$	kg	$4,25E+04$	$7,23E+05$	$1,56E+05$
Carnes	$1,11E+05$	kg	$3,97E+04$	$1,57E+06$	$2,08E+06$
Frutas e verduras	$9,11E+04$	kg	$2,99E+04$	$6,28E+05$	$1,19E+05$
Peixe	$4,62E+03$	kg	$7,09E+00$	$1,64E+05$	$1,32E+04$
Lácteos	$1,30E+05$	kg	$1,66E+04$	$3,95E+06$	$1,04E+06$
Legumes	$8,87E+04$	kg	$2,40E+03$	$1,17E+06$	$1,66E+05$
Raízes e tubérculos	$8,45E+04$	kg	$6,06E+03$	$2,30E+05$	$2,94E+04$
Açúcares	$2,08E+05$	kg	$2,90E+04$	$1,09E+06$	$2,17E+05$
Azeites vegetais	$2,43E+04$	kg	$1,83E+03$	$6,06E+05$	$2,31E+05$
Fluxo FEW energia (total)			$1,83E+05$	$3,47E+08$	$6,25E+06$
Eletricidade (BR)	$1,52E+04$	MWh	$1,47E-02$	$1,42E+02$	$9,01E+00$
Eletricidade (GLO)	$0,00E+00$	MWh	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Gás natural	$0,00E+00$	m^3	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Etanol	$4,31E+06$	L	$1,72E+05$	$1,12E+07$	$2,51E+06$
Derivados de petróleo	$6,02E+03$	toe	$1,09E+04$	$3,36E+08$	$3,74E+06$
Carvão	$0,00E+00$	kg	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Fluxo FEW água (total)			$7,59E+03$	$1,37E+06$	$1,32E+05$
Água	$5,68E+08$	L	$7,59E+03$	$1,37E+06$	$1,32E+05$

Outro indicador importante no fluxo energia foi energia fóssil incorporada, onde o valor de $3,47E+08 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ é aproximadamente 34 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 253 vezes maior que o encontrado para o fluxo água ($1,37E+06 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$).

O potencial de aquecimento global (PAG) indica que o fluxo energia é novamente o que apresenta maior impacto, com um PAG de $6,25E+06$ kgCO₂-eq./ano. Esse resultado é 1,5 vezes maior que o obtido pelo fluxo alimento e 47 vezes maior que o obtido pelo fluxo água.

A Figura 12 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 5 normalizados. O fluxo energia mostra-se como maior responsável pelos impactos, de acordo com os três indicadores avaliados, no município de Águas de São Pedro. Logo, é possível afirmar que o fluxo energia nesse município demanda mais água e energia durante os processos de obtenção, geração e distribuição de energia e, ainda, é o maior causador de aquecimento global. Esse recurso do nexo requer medidas prioritárias se comparado com os fluxos alimento e água.

Figura 12: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Águas de São Pedro. Dados da Tabela 5 normalizados de acordo com a Equação 1.



Diferente da verificação individual dos indicadores de desempenho para cada fluxo FEW, diagrama de radar, o CUBO promove a análise integrada dos consumos dos recursos alimento, energia e água. Para isso, o CUBO requer que os valores sejam normalizados de 0 a 1 e, a Tabela 6 estabelece o ponto 0 como o de menor consumo possível de alimento (F), energia (E) e água (W), igualmente, o ponto 1 representa o maior consumo possível. Para os limites superior e inferior, atribuíram-se os valores de 0,66 e 0,33, respectivamente, para que a normalização resultante respeite as características geométricas do CUBO. Dessa forma, é possível estabelecer as regiões da figura 3D proposta. Além desses critérios previamente estabelecidos, a Tabela 6 ainda apresenta o consumo de cada fluxo FEW para o município de Águas de São Pedro, que foram posteriormente normalizados.

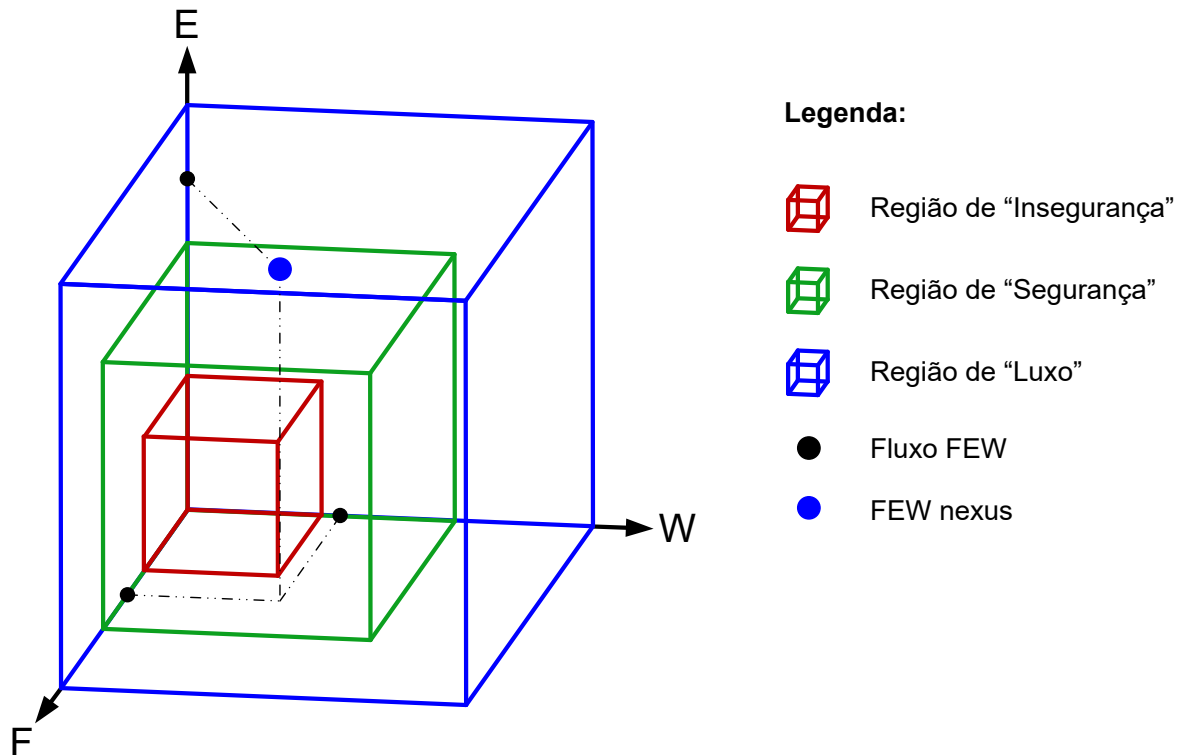
Tabela 6: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexu entre os fluxos FEW no município de Águas de São Pedro.

Descrição	Quantidade^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	2,17E+09	0
Limite inferior	3,04E+09	0,33
Limite superior	3,87E+09	0,66
Máximo possível	4,65E+09	1
Águas de São Pedro	3,50E+09	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	3,58E+05	0
Limite inferior	6,80E+06	0,33
Limite superior	5,83E+07	0,66
Máximo possível	1,97E+08	1
Águas de São Pedro	1,13E+08	0,80
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	4,19E+07	0
Limite inferior	4,24E+08	0,33
Limite superior	1,45E+09	0,66
Máximo possível	5,28E+09	1
Águas de São Pedro	5,68E+08	0,38

O resultado do consumo para o fluxo alimento é obtido em kcal/pessoa e multiplicado pela população do município, resultando em um consumo total, por ano. O valor de 3,50E+09 kcal está entre os limites inferior e superior, podendo assim concluir que se situa na região de segurança. Para os fluxos energia e água, os consumos são fornecidos para o município, mostrando real consumo daquela região. O fluxo energia, cujo valor de 1,13E+08 kWh, normalizado 0,80, está entre o limite superior e máximo possível, logo, na região de luxo. Para o fluxo água, o valor de 5,68E+08 L obtido para o município resultou em uma região de segurança.

O modelo proposto para avaliação integrada dos fluxos FEW, para Águas de São Pedro, no ano de 2018, pode ser visualizado na Figura 13. A análise conta com o vetor FEW nexu (ponto em azul), estabelecido a partir dos consumos individuais de cada fluxo FEW. A primeira verificação de classificação é a da região, que para o município estudado resultou na região denominada luxo. A segunda avaliação, também para classificar o FEW nexu do município, é a do fator limitante. Nesse caso, como dois dos três fluxos encontram-se na região central, segurança, e um deles em uma extremidade, luxo, a classificação de acordo com a condição limitante é chamada de semiestável. De forma geral, são necessárias algumas ações, pois os resultados não atingiram o cenário esperado para a região urbana (região de segurança e condição estável).

Figura 13: FEW nexus para o município de Águas de São Pedro em 2018.



Barra do Turvo

Os resultados dos fluxos FEW do município de Barra do Turvo são apresentados na Tabela 7. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $3,82E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $2,30E+07 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$, e $9,22E+06 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $6,83E+04 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $6,73E+08 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $8,14E+06 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Da mesma forma, para o fluxo água houve $2,95E+03 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $5,32E+05 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $5,12E+04 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$.

Comparando os indicadores da Tabela 7 verificou-se uma elevada quantidade de água incorporada ao longo dos processos de produção de alimentos, considerando a cadeia alimentar da produção ao consumo final. O valor de $3,82E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$ obtido para o fluxo alimento é aproximadamente 6 vezes maior do que o consumo de água para a geração de energia (fluxo energia), e 129 vezes superior ao próprio uso de água, direta e indireta, durante o seu ciclo, considerando a coleta até seu consumo (fluxo água).

Tabela 7: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Barra do Turvo.

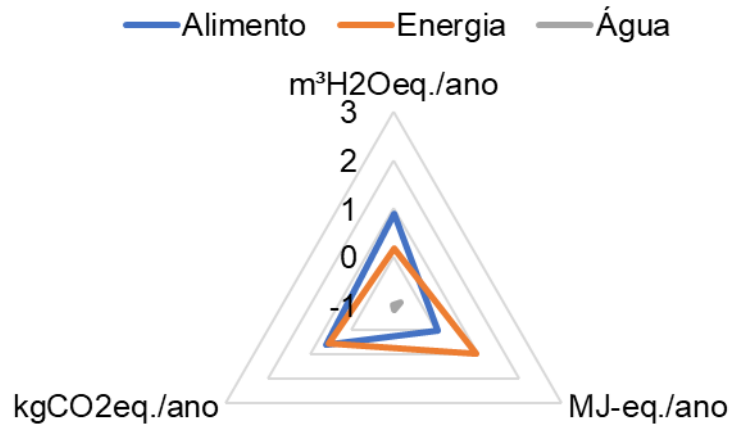
Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			m ³ H ₂ O _{eq.}	MJ _{fos.-eq.}	kgCO _{2-eq.}
Fluxo FEW alimento (total)			3,82E+05	2,30E+07	9,22E+06
Cereais	2,80E+05	kg	9,66E+04	1,64E+06	3,56E+05
Carnes	2,53E+05	kg	9,04E+04	3,56E+06	4,73E+06
Frutas e verduras	2,07E+05	kg	6,79E+04	1,43E+06	2,70E+05
Peixe	1,05E+04	kg	1,61E+01	3,72E+05	3,00E+04
Lácteos	2,96E+05	kg	3,78E+04	8,98E+06	2,37E+06
Legumes	2,02E+05	kg	5,45E+03	2,67E+06	3,78E+05
Raízes e tubérculos	1,92E+05	kg	1,38E+04	5,23E+05	6,70E+04
Açúcares	4,72E+05	kg	6,60E+04	2,48E+06	4,94E+05
Azeites vegetais	5,53E+04	kg	4,16E+03	1,38E+06	5,24E+05
Fluxo FEW energia (total)			6,83E+04	6,73E+08	8,14E+06
Eletricidade (BR)	6,53E+03	MWh	6,31E-03	6,09E+01	3,86E+00
Eletricidade (GLO)	0,00E+00	MWh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Gás natural	0,00E+00	m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Etanol	1,17E+06	L	4,66E+04	3,05E+06	6,82E+05
Derivados de petróleo	1,20E+04	toe	2,17E+04	6,70E+08	7,45E+06
Carvão	0,00E+00	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fluxo FEW água (total)			2,95E+03	5,32E+05	5,12E+04
Água	2,21E+08	L	2,95E+03	5,32E+05	5,12E+04

Para o indicador energia fóssil incorporada, o fluxo energia obteve o mais alto valor, onde o resultado de 6,73E+08 MJ_{fóssil-eq.}/ano é aproximadamente 29 vezes superior ao indicador energia incorporada para o fluxo alimento (2,30E+07 MJ_{fóssil-eq.}/ano), e aproximadamente 1.265 vezes maior que o encontrado para o fluxo água (5,32E+05 MJ_{fóssil-eq.}/ano).

Para o município de Barra do Turvo, o potencial de aquecimento global (PAG) indica que o fluxo alimento apresenta maior impacto entre os fluxos FEW, com um PAG de 9,22E+06 kgCO_{2-eq.}/ano. Esse resultado é 1 vez maior que o obtido pelo fluxo energia e 180 vezes maior que o obtido pelo fluxo água.

A Figura 14 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 7 normalizados. O fluxo alimento mostrou ser o responsável pelos impactos, de acordo com dois dos três indicadores avaliados, para o município de Barra do Turvo. Então, o fluxo alimento, considerando toda a sua cadeia, demanda mais água e tem um maior potencial em causar aquecimento global. Por outro lado, o indicador de energia fóssil incorporada está diretamente relacionado ao fluxo energia, demandando mais energia para a sua geração.

Figura 14: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Barra do Turvo. Dados da Tabela 7 normalizados de acordo com a Equação 1.



O CUBO vai além da verificação de desempenho individual de cada fluxo FEW, promovendo a análise integrada dos recursos alimento, energia e água. Assim sendo, é possível estabelecer as regiões da figura 3D proposta, adequando-os à sua geometria através da normalização. Além dos critérios previamente estabelecidos, a Tabela 8 mostra o consumo e a normalização de cada fluxo FEW para o município de Barra do Turvo.

Tabela 8: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexos entre os fluxos FEW no município de Barra do Turvo.

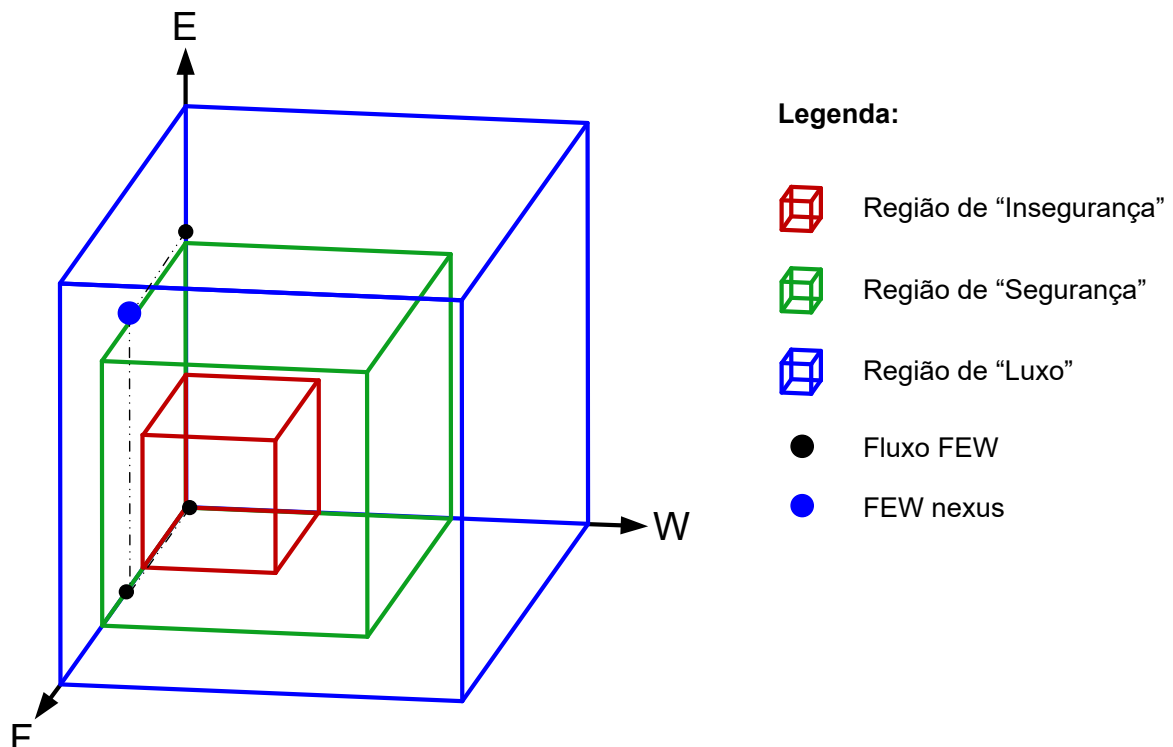
Descrição	Quantidade ^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	4,93E+09	0
Limite inferior	6,92E+09	0,33
Limite superior	8,81E+09	0,66
Máximo possível	1,06E+10	1
Barra do Turvo	7,96E+09	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	8,14E+05	0
Limite inferior	1,55E+07	0,33
Limite superior	1,33E+08	0,66
Máximo possível	4,47E+08	1
Barra do Turvo	1,54E+08	0,68
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	9,54E+07	0
Limite inferior	9,64E+08	0,33
Limite superior	3,29E+09	0,66
Máximo possível	1,20E+10	1
Barra do Turvo	2,21E+08	0,05

Embora a ferramenta avalie o sistema estudado de forma integrada, os valores unitários são igualmente importantes, seja para encontrar o vetor FEW ou mesmo para tomar decisões específicas em algum setor. O valor de 7,96E+09 kcal está entre os limites inferior e superior, podendo-se assim concluir que se situa na região de

segurança. O fluxo energia, cujo valor de $1,54E+08$ kWh, normalizado 0,68, está entre o limite superior e máximo possível, logo, na região de luxo. Contudo, é possível verificar que uma pequena oscilação no consumo poderia levar esse fluxo para a região de segurança. O fluxo água, o valor de $2,21E+08$ L obtido para o município, resultou em uma região de insegurança, normalizado 0,05.

Na Figura 15, o modelo CUBO mostra os resultados da avaliação de forma integrada dos fluxos FEW para Barra do Turvo no ano de 2018. A análise conta com o vetor FEW nexus, estabelecido a partir dos consumos individuais de cada fluxo FEW. A primeira verificação de classificação é a da região, que para o município estudado resultou na região denominada luxo. A segunda avaliação, também para classificar o FEW nexus do município, é a de fator limitante. Nesse caso, como há um fluxo em cada região do CUBO, a classificação segundo os critérios de condição limitante adotados neste trabalho pode ser chamada de semiestável. Isso mostra a irregularidade de consumo entre os três recursos FEW, o que requer medidas imediatas para promover o aumento no consumo do recurso que está na região de insegurança. Depois disso, ações podem contribuir para levar o fluxo da região de luxo para a região de segurança, alcançando um melhor desempenho para o município de Barra do Turvo (região de segurança e condição estável).

Figura 15: FEW nexus para o município de Barra do Turvo em 2018.



Cubatão

Os resultados dos fluxos FEW do município de Cubatão são apresentados na Tabela 9. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $6,45E+06$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$, $3,89E+08$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$, e $1,56E+08$ $kgCO_{2-eq.}/ano$. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $6,92E+05$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$, $2,66E+10$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$ e $3,60E+08$ $kgCO_{2-eq.}/ano$. Da mesma forma, para o fluxo água obtiveram-se $2,46E+05$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$, $4,44E+07$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$ e $4,27E+06$ $kgCO_{2-eq.}/ano$.

Os indicadores da Tabela 9, se comparados, revelam uma elevada quantidade de água incorporada ao longo dos processos de produção de alimentos, considerando a cadeia alimentar, da produção ao consumidor final (fluxo alimento). O valor de $6,45E+06$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$ obtido para o fluxo alimento é aproximadamente 9 vezes maior do que o consumo de água para a geração de energia (fluxo energia), e 26 vezes superior ao próprio uso de água, direta e indireta, durante o seu ciclo, considerando a coleta até seu consumo (fluxo água).

Por outro lado, o fluxo energia obteve um valor superior aos demais para o indicador energia fóssil incorporada, onde o valor de $2,66E+10$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$ é aproximadamente 68 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 599 vezes maior que o encontrado para o fluxo água ($4,44E+07$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$).

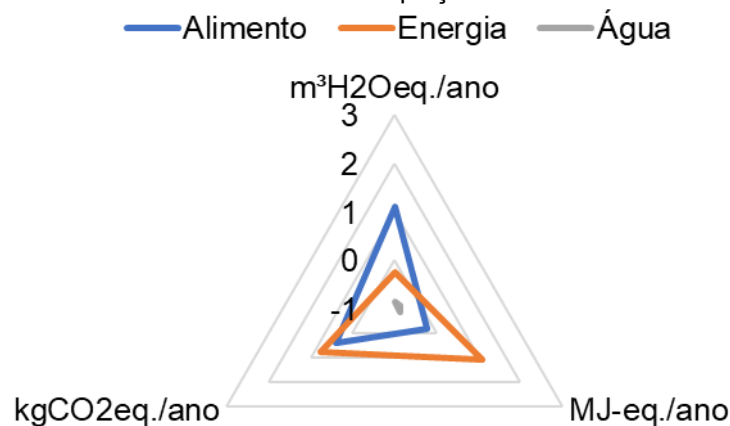
Tabela 9: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Cubatão.

Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			$m^3H_2O_{eq.}$	$MJ_{fos.-eq.}$	$kgCO_{2-eq.}$
Fluxo FEW alimento (total)			$6,45E+06$	$3,89E+08$	$1,56E+08$
Cereais	$4,72E+06$	kg	$1,63E+06$	$2,78E+07$	$6,00E+06$
Carnes	$4,26E+06$	kg	$1,53E+06$	$6,01E+07$	$7,99E+07$
Frutas e verduras	$3,50E+06$	kg	$1,15E+06$	$2,41E+07$	$4,56E+06$
Peixe	$1,77E+05$	kg	$2,72E+02$	$6,28E+06$	$5,07E+05$
Lácteos	$4,99E+06$	kg	$6,38E+05$	$1,52E+08$	$4,00E+07$
Legumes	$3,41E+06$	kg	$9,20E+04$	$4,50E+07$	$6,39E+06$
Raízes e tubérculos	$3,25E+06$	kg	$2,33E+05$	$8,83E+06$	$1,13E+06$
Açúcares	$7,97E+06$	kg	$1,11E+06$	$4,18E+07$	$8,35E+06$
Azeites vegetais	$9,34E+05$	kg	$7,03E+04$	$2,33E+07$	$8,85E+06$
Fluxo FEW energia (total)			$6,92E+05$	$2,66E+10$	$3,60E+08$
Eletricidade (BR)	$2,35E+06$	MWh	$2,27E+00$	$2,19E+04$	$1,39E+03$
Eletricidade (GLO)	$0,00E+00$	MWh	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Gás natural	$3,80E+08$	m^3	$1,44E+05$	$1,65E+10$	$2,44E+08$
Etanol	$5,53E+06$	L	$2,21E+05$	$1,44E+07$	$3,22E+06$
Derivados de petróleo	$1,81E+05$	toe	$3,28E+05$	$1,01E+10$	$1,13E+08$
Carvão	$0,00E+00$	kg	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Fluxo FEW água (total)			$2,46E+05$	$4,44E+07$	$4,27E+06$
Água	$1,84E+10$	L	$2,46E+05$	$4,44E+07$	$4,27E+06$

Similar ao anterior, o potencial de aquecimento global (PAG) está diretamente relacionado ao fluxo energia, com um PAG de $3,60E+08$ kgCO_{2-eq.}/ano, apresentando um impacto elevado em relação aos fluxos alimento e água. Esse resultado é 2 vezes maior que o obtido pelo fluxo alimento e 84 vezes maior que o obtido pelo fluxo água.

A Figura 16 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 9 normalizados. Pela análise dos indicadores de desempenho, o fluxo energia mostra-se como maior responsável pelos impactos no município de Cubatão. Contudo, o fluxo energia neste município demanda mais energia durante os processos de obtenção, geração, distribuição e consumo de energia e é o maior causador de aquecimento global. Para o município de Cubatão, esse recurso do nexu requer ações imediatas comparando com os elementos alimento e água.

Figura 16: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Cubatão. Dados da Tabela 9 normalizados de acordo com a Equação 1.



A análise do modelo integrado proposto é feita inicialmente pelo levantamento dos dados de consumo dos recursos FEW e suas respectivas normalizações, mostrados na Tabela 10. O fluxo alimento, com valor de $1,34E+11$ kcal, está entre os limites inferior e superior, podendo assim concluir que se situa na região de segurança, da mesma forma, o valor de 0,51 normalizado está entre 0,33 e 0,66. Para o fluxo água, o valor de $1,84E+10$ L obtido para o município resultou em uma região de segurança.

Por outro lado, o fluxo energia, de valor de $8,45E+09$ kWh, foi superior a limitação denominada de máximo possível, pois o consumo de energia para o município de Cubatão foi superior ao estabelecido como critério neste trabalho. Isso

pode acontecer por dois motivos: (i) utilizou-se em países para estabelecer os limites ou regiões do CUBO, pois pretende-se usar essa ferramenta para avaliações em qualquer município do mundo, contudo, pode haver municípios altamente industrializadas que possuem um nível de consumo elevado para o setor energético; e (ii) para evitar possíveis erros numéricos fornecidos pela base de dados, seja de digitação ou mesmo por haver exceções, foi utilizado o “*boxplot*” para eliminar os “*outliers*”, ou seja, aqueles pontos fora do comum, o que, de certa forma, poderia ter sido o caso para o município de Cubatão, com seu alto uso de energia. Por essas razões, pode acontecer de um dos recursos possuir consumo inferior ao mínimo possível ou superior ao máximo possível e, para isso, será adotado como valor normalizado o mesmo fornecido pelo modelo CUBO, 0 ou 1.

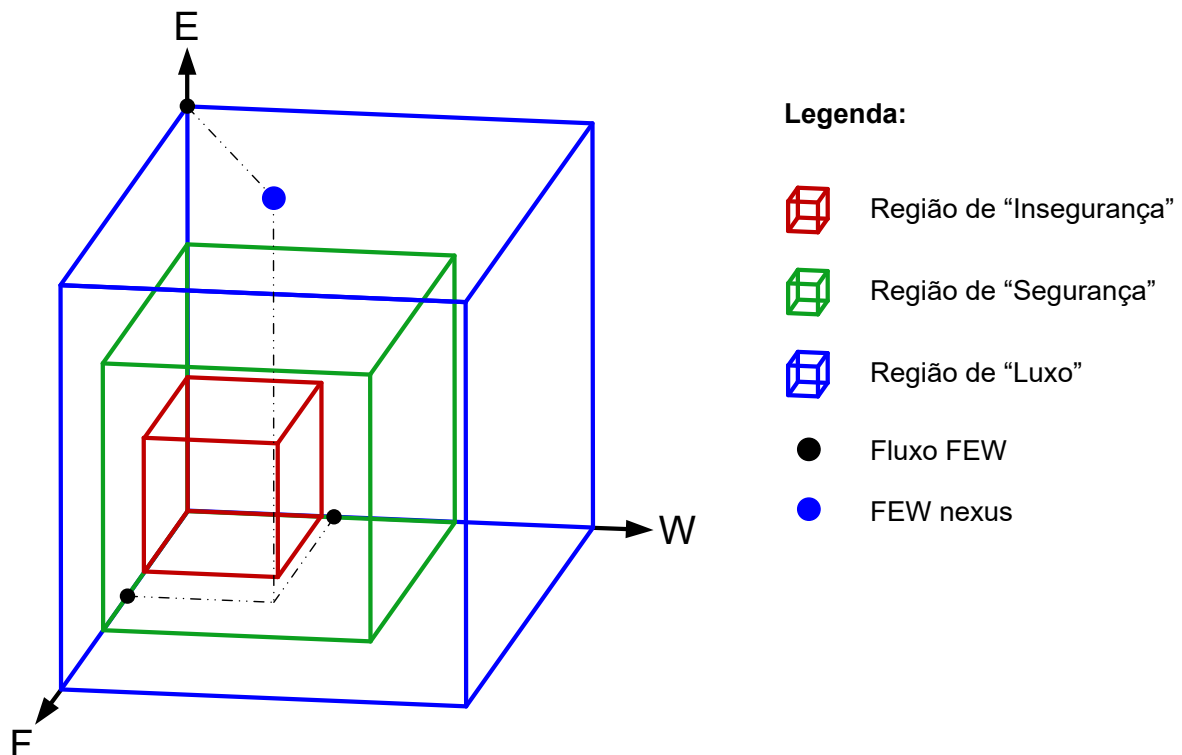
Tabela 10: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexu entre os fluxos FEW no município de Cubatão.

Descrição	Quantidade^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	8,33E+10	0
Limite inferior	1,17E+11	0,33
Limite superior	1,49E+11	0,66
Máximo possível	1,78E+11	1
Cubatão	1,34E+11	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	1,37E+07	0
Limite inferior	2,61E+08	0,33
Limite superior	2,24E+09	0,66
Máximo possível	7,54E+09	1
Cubatão	8,45E+09	1,00
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	1,61E+09	0
Limite inferior	1,63E+10	0,33
Limite superior	5,55E+10	0,66
Máximo possível	2,03E+11	1
Cubatão	1,84E+10	0,35

A Figura 17 mostra o modelo proposto para avaliação integrada dos fluxos FEW, resultado para Cubatão no ano de 2018, cuja análise conta com o vetor FEW nexu. Mesmo apresentando dois dos três fluxos FEW na região de segurança, de acordo com a primeira classificação, o município de Cubatão resultou na região denominada luxo, pois um dos fluxos encontra-se nessa região, levando o vetor FEW para ela. A segunda avaliação, também para classificar o FEW nexu do município, é a do fator limitante. Agora, como dois dos três fluxos se encontram na região central, segurança, e um deles em uma extremidade, luxo, a classificação de acordo com a

condição limitante é chamada de semiestável. Conclui-se que, para Cubatão, são necessárias algumas ações, pois os resultados não atingiram o cenário esperado para a região urbana (região de segurança e condição estável). Sabendo de que o município aqui estudado é altamente industrial pode ainda haver possíveis mudanças de comportamento dentro do setor como, por exemplo, a promoção da energia renovável, diminuindo os impactos regionais.

Figura 17: FEW nexus para o município de Cubatão em 2018.



Diadema

Os resultados dos fluxos FEW do município de Diadema são apresentados na Tabela 11. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $2,09E+07 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $1,26E+09 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$, e $5,05E+08 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $2,95E+06 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $7,22E+09 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $1,23E+08 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Da mesma forma, para o fluxo água houve $5,42E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $9,77E+07 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $9,40E+06 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$.

O fluxo alimento, de valor de $2,09E+07 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, obteve um maior consumo direto e indireto de água durante o seu ciclo de vida comparado com os recursos energia e água. Esse valor é de 7 vezes maior do que o consumo de água

para a geração de energia (fluxo energia), e 38 vezes superior ao próprio uso de água durante o seu ciclo, considerando a coleta até seu consumo final (fluxo água).

Tabela 11: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Diadema.

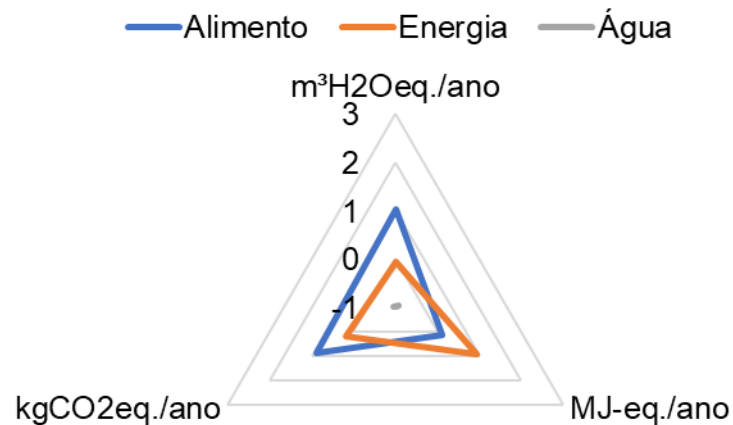
Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			m ³ H ₂ O _{eq.}	MJ _{fós.-eq.}	kgCO ₂ -eq.
Fluxo FEW alimento (total)			2,09E+07	1,26E+09	5,05E+08
Cereais	1,53E+07	kg	5,29E+06	9,00E+07	1,95E+07
Carnes	1,38E+07	kg	4,95E+06	1,95E+08	2,59E+08
Frutas e verduras	1,13E+07	kg	3,72E+06	7,82E+07	1,48E+07
Peixe	5,75E+05	kg	8,82E+02	2,04E+07	1,64E+06
Lácteos	1,62E+07	kg	2,07E+06	4,92E+08	1,30E+08
Legumes	1,10E+07	kg	2,98E+05	1,46E+08	2,07E+07
Raízes e tubérculos	1,05E+07	kg	7,55E+05	2,86E+07	3,67E+06
Açúcares	2,59E+07	kg	3,61E+06	1,36E+08	2,71E+07
Azeites vegetais	3,03E+06	kg	2,28E+05	7,55E+07	2,87E+07
Fluxo FEW energia (total)			2,95E+06	7,22E+09	1,23E+08
Eletricidade (BR)	1,07E+06	MWh	1,03E+00	9,98E+03	6,33E+02
Eletricidade (GLO)	0,00E+00	MWh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Gás natural	2,67E+07	m ³	1,01E+04	1,16E+09	1,72E+07
Etanol	6,90E+07	L	2,75E+06	1,80E+08	4,02E+07
Derivados de petróleo	1,05E+05	toe	1,90E+05	5,88E+09	6,55E+07
Carvão	0,00E+00	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fluxo FEW água (total)			5,42E+05	9,77E+07	9,40E+06
Água	4,05E+10	L	5,42E+05	9,77E+07	9,40E+06

Outro indicador estudado foi a energia fóssil incorporada, onde o valor de 7,22E+09 MJ_{fóssil-eq.}/ano obtido para o fluxo energia foi superior aos outros fluxos. A energia incorporada para o fluxo energia é aproximadamente 6 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 73 vezes maior que o encontrado para o fluxo água.

Por fim, o potencial de aquecimento global (PAG) destaca o fluxo alimento como sendo o que apresenta maior impacto. Com um resultado de 5,05E+08 kgCO₂-eq./ano, o PAG para o fluxo alimento é 4 vezes maior que o obtido pelo fluxo energia e 54 vezes maior que o obtido pelo fluxo água (9,40E+06 kgCO₂-eq./ano).

A Figura 18 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 11 normalizados. O fluxo alimento mostra-se como maior responsável pelos impactos, de acordo com os três indicadores avaliados. Logo, para o município de Diadema, o fluxo alimento demanda mais água e tem o maior potencial em causar aquecimento global. O consumo de energia está diretamente relacionado ao fluxo energia.

Figura 18: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Diadema. Dados da Tabela 11 normalizados de acordo com a Equação 1.



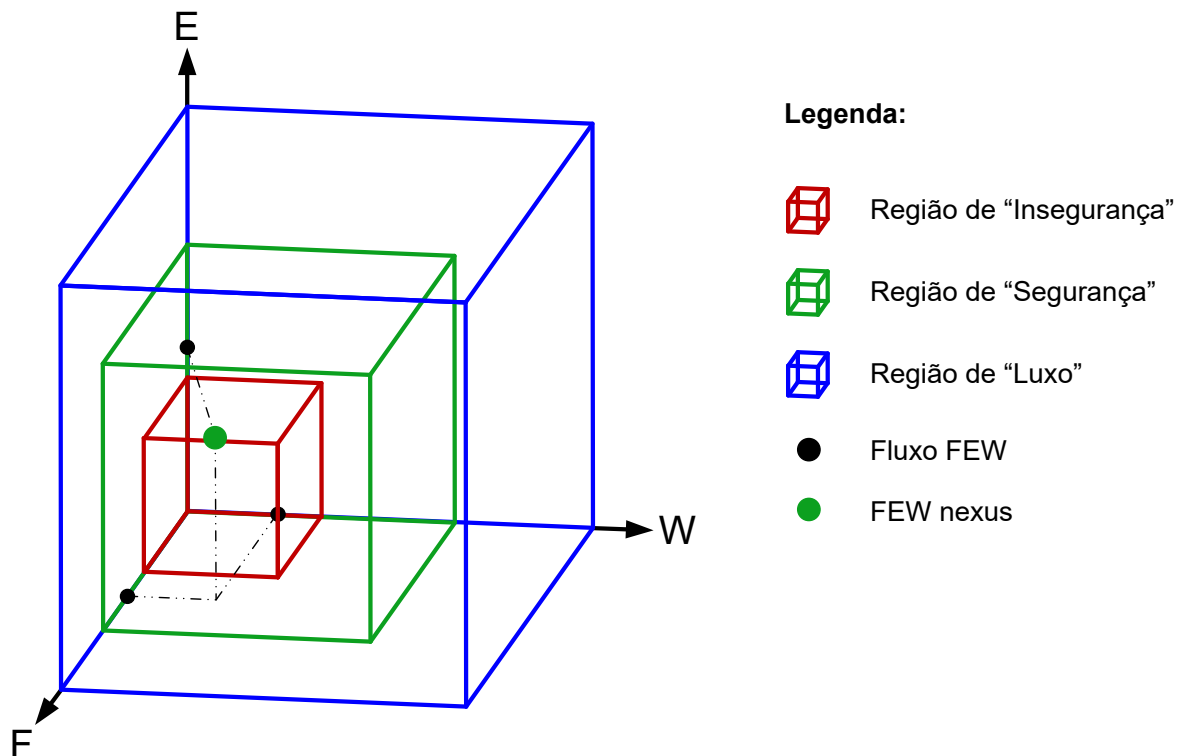
Os resultados para o modelo de avaliação CUBO são mostrados na Tabela 12 e Figura 19. Na Tabela 12, podem-se verificar os valores de consumo para cada elemento do FEW nexus para o município de Diadema e os valores obtidos para estabelecer os critérios ou delimitações das regiões do CUBO. Por consequência desses dados, é possível estabelecer as regiões da figura 3D proposta e classificar os níveis de consumo do município de acordo com o fator limitante. Além disso, a Tabela 12 apresenta os valores normalizados. O valor de $4,36E+11$ kcal está entre os limites inferior e superior, podendo assim concluir que se situa na região de segurança, do mesmo modo, o fluxo energia, de valor de $3,03E+09$ kWh, normalizado 0,44, também está na região de segurança. Para o fluxo água, o valor de $4,05E+10$ L obtido para o município resultou em uma região de insegurança.

Tabela 12: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexos entre os fluxos FEW no município de Diadema.

Descrição	Quantidade ^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	2,70E+11	0
Limite inferior	3,79E+11	0,33
Limite superior	4,82E+11	0,66
Máximo possível	5,79E+11	1
Diadema	4,36E+11	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	4,46E+07	0
Limite inferior	8,47E+08	0,33
Limite superior	7,26E+09	0,66
Máximo possível	2,45E+10	1
Diadema	3,03E+09	0,44
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	5,22E+09	0
Limite inferior	5,28E+10	0,33
Limite superior	1,80E+11	0,66
Máximo possível	6,58E+11	1
Diadema	4,05E+10	0,24

A Figura 19 mostra o modelo proposto para avaliação integrada dos fluxos FEW, resultado para Diadema no ano de 2018, e o vetor FEW nexus (em verde). A primeira verificação de classificação é a da região que, para o município estudado, resultou na região denominada segurança. A segunda avaliação, também para classificar o FEW nexus do município, é a do fator limitante. Nesse caso, como dois dos três fluxos se encontram na região central, segurança, e um deles em uma extremidade, luxo, a classificação de acordo com a essa condição é chamada de semiestável. De forma geral, são necessárias ações pois, embora a região esteja classificada como segurança, a verificação do fator limitante mostra que um dos fluxos se encontra fora dessa região, requerendo medidas, nessa situação, para incentivar o consumo de água, para sair da região de insegurança.

Figura 19: FEW nexus para o município de Diadema em 2018.



Nova Campina

Os resultados dos fluxos FEW do município de Nova Campina são apresentados na Tabela 13. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $4,79\text{E}+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $2,89\text{E}+07 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$, e $1,16\text{E}+07 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $1,04\text{E}+04 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$,

2,89E+08 MJ_{fossil-eq.}/ano e 3,23E+06 kgCO_{2-eq.}/ano. Da mesma forma, para o fluxo água houve 4,22E+03 m³H₂O_{eq.}/ano, 7,60E+05 MJ_{fossil-eq.}/ano e 7,31E+04 kgCO_{2-eq.}/ano.

Tabela 13: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Nova Campina.

Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			m ³ H ₂ O _{eq.}	MJ _{fos.-eq.}	kgCO _{2-eq.}
Fluxo FEW alimento (total)			4,79E+05	2,89E+07	1,16E+07
Cereais	3,51E+05	kg	1,21E+05	2,06E+06	4,46E+05
Carnes	3,17E+05	kg	1,13E+05	4,47E+06	5,94E+06
Frutas e verduras	2,60E+05	kg	8,52E+04	1,79E+06	3,39E+05
Peixe	1,32E+04	kg	2,02E+01	4,67E+05	3,77E+04
Lácteos	3,71E+05	kg	4,74E+04	1,13E+07	2,97E+06
Legumes	2,53E+05	kg	6,84E+03	3,35E+06	4,75E+05
Raízes e tubérculos	2,41E+05	kg	1,73E+04	6,56E+05	8,40E+04
Açúcares	5,92E+05	kg	8,28E+04	3,11E+06	6,20E+05
Azeites vegetais	6,94E+04	kg	5,22E+03	1,73E+06	6,58E+05
Fluxo FEW energia (total)			1,04E+04	2,89E+08	3,23E+06
Eleticidade (BR)	2,40E+04	MWh	2,32E-02	2,24E+02	1,42E+01
Eleticidade (GLO)	0,00E+00	MWh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Gás natural	0,00E+00	m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Etanol	2,50E+04	L	9,97E+02	6,52E+04	1,46E+04
Derivados de petróleo	5,18E+03	toe	9,35E+03	2,89E+08	3,22E+06
Carvão	0,00E+00	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fluxo FEW água (total)			4,22E+03	7,60E+05	7,31E+04
Água	3,15E+08	L	4,22E+03	7,60E+05	7,31E+04

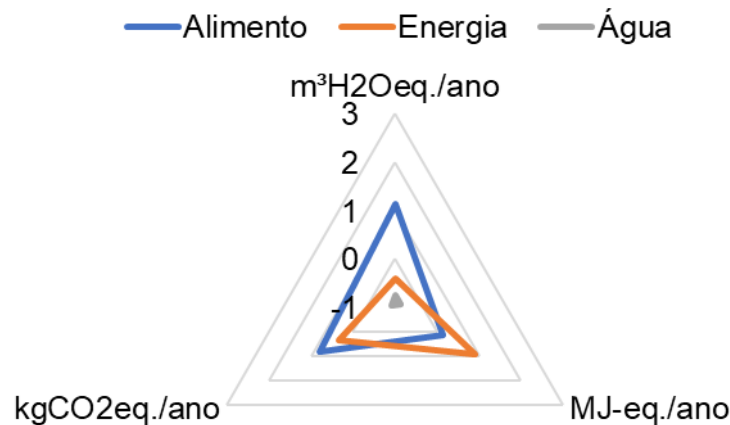
Os indicadores da Tabela 13, quando comparados, revelam uma alta quantidade de água consumida ao longo dos processos de produção de alimentos (fluxo alimento). O valor de 4,79E+05 m³H₂O_{eq.}/ano obtido para esse fluxo é aproximadamente 46 vezes maior do que o consumo de água para a geração de energia (fluxo energia), e 113 vezes superior ao próprio uso de água, direta e indireta, durante o seu ciclo, considerando a coleta até seu consumo (fluxo água).

Diferente do anterior, agora o fluxo energia obteve um valor superior que os demais recursos para o indicador energia fóssil incorporada, onde o valor de 2,89E+08 MJ_{fossil-eq.}/ano é 10 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 380 vezes maior que o encontrado para o fluxo água (7,60E+05 MJ_{fossil-eq.}/ano).

O potencial que os recursos do nexo têm em causar aquecimento global (PAG) ao longo do seu ciclo de vida está diretamente relacionado ao fluxo alimento, com um PAG de 1,16E+07 kgCO_{2-eq.}/ano, apresentando um impacto maior em relação aos fluxos energia e água. Esse resultado é 4 vezes maior que o obtido pelo fluxo energia e 158 vezes maior que o obtido pelo fluxo água.

A Figura 20 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 13 normalizados. Pela análise dos indicadores de desempenho, o fluxo alimento se destaca por ser o maior responsável pelos impactos causados por dois dos três indicadores. Desta forma, o fluxo alimento em Nova Campina demanda mais água e tem o maior potencial em causar aquecimento global. O consumo de energia está diretamente relacionado ao fluxo energia.

Figura 20: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Nova Campina. Dados da Tabela 13 normalizados de acordo com a Equação 1.



Os resultados para o modelo de avaliação CUBO são mostrados na Tabela 14 e Figura 21. A Tabela 14 mostra os valores de consumo para cada elemento do FEW nexus para o município de Nova Campina e os valores obtidos para estabelecer os critérios ou delimitações das regiões do CUBO. Por consequência desses dados, é possível estabelecer as regiões da figura geométrica proposta e classificar os níveis de consumo do município de acordo com o fator limitante.

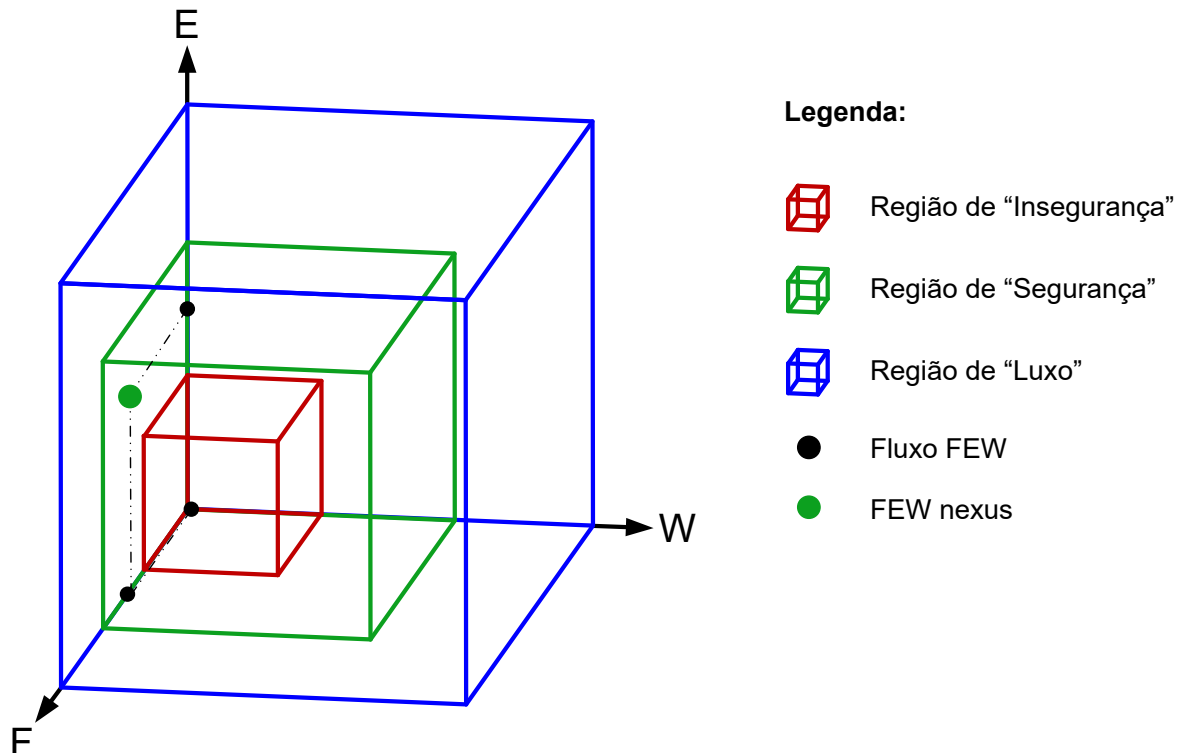
Assim sendo, o FEW nexus de municípios é verificado utilizando dois passos de classificação e a Tabela 14 apresenta os valores normalizados. O valor de $9,99E+09$ kcal está entre os limites inferior e superior, podendo assim concluir que se situa na região de segurança. Similar ao fluxo alimento, o fluxo energia, de valor de $8,46E+07$ kWh, normalizado 0,44, também está na região de segurança. Para o fluxo água, o valor de $3,15E+08$ L obtido para o município resultou em uma região de insegurança, valor normalizado 0,06.

Tabela 14: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexu entre os fluxos FEW no município de Nova Campina.

Descrição	Quantidade ^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	6,19E+09	0
Limite inferior	8,69E+09	0,33
Limite superior	1,11E+10	0,66
Máximo possível	1,33E+10	1
Nova Campina	9,99E+09	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	1,02E+06	0
Limite inferior	1,94E+07	0,33
Limite superior	1,66E+08	0,66
Máximo possível	5,61E+08	1
Nova Campina	8,46E+07	0,48
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	1,20E+08	0
Limite inferior	1,21E+09	0,33
Limite superior	4,13E+09	0,66
Máximo possível	1,51E+10	1
Nova Campina	3,15E+08	0,06

A partir da análise individual dos fluxos FEW do município de Nova Campina é possível estabelecer um ponto resultante. A Figura 21 mostra o modelo proposto para avaliação integrada dos fluxos FEW para o ano de 2018. Destaca-se o vetor FEW nexus (em verde) e os pontos individuais (em preto).

Figura 21: FEW nexus para o município de Nova Campina em 2018.



A primeira verificação de classificação é feita pela observação da localização do vetor FEW que, para o município Nova Campina, encontra-se na região denominada segurança. A segunda avaliação realizada, também para classificar o FEW nexus do município, é a do fator limitante. Como dois dos três fluxos se encontram na região central, segurança, e um deles em uma extremidade, insegurança, a classificação de acordo com a condição limitante é chamada de semiestável.

Ribeirão Branco

Os resultados dos fluxos FEW do município de Ribeirão Branco são apresentados na Tabela 15. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $8,29E+05$ m³H₂O_{eq.}/ano, $5,00E+07$ MJ_{fossil-eq.}/ano, e $2,00E+07$ kgCO_{2-eq.}/ano. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $6,78E+04$ m³H₂O_{eq.}/ano, $3,09E+08$ MJ_{fossil-eq.}/ano e $4,24E+06$ kgCO_{2-eq.}/ano. Da mesma forma, para o fluxo água houve $1,35E+04$ m³H₂O_{eq.}/ano, $2,43E+06$ MJ_{fossil-eq.}/ano e $2,34E+05$ kgCO_{2-eq.}/ano.

Tabela 15: Quantificação dos fluxos FEW para o município de Ribeirão Branco.

Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			m ³ H ₂ O _{eq.}	MJ _{fos.-eq.}	kgCO _{2-eq.}
Fluxo FEW alimento (total)			8,29E+05	5,00E+07	2,00E+07
Cereais	6,07E+05	kg	2,10E+05	3,57E+06	7,72E+05
Carnes	5,48E+05	kg	1,96E+05	7,73E+06	1,03E+07
Frutas e verduras	4,50E+05	kg	1,47E+05	3,10E+06	5,86E+05
Peixe	2,28E+04	kg	3,50E+01	8,08E+05	6,52E+04
Lácteos	6,41E+05	kg	8,20E+04	1,95E+07	5,14E+06
Legumes	4,38E+05	kg	1,18E+04	5,79E+06	8,21E+05
Raízes e tubérculos	4,17E+05	kg	2,99E+04	1,14E+06	1,45E+05
Açúcares	1,02E+06	kg	1,43E+05	5,37E+06	1,07E+06
Azeites vegetais	1,20E+05	kg	9,03E+03	2,99E+06	1,14E+06
Fluxo FEW energia (total)			6,78E+04	3,09E+08	4,24E+06
Eletricidade (BR)	1,64E+04	MWh	1,59E-02	1,53E+02	9,71E+00
Eletricidade (GLO)	0,00E+00	MWh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Gás natural	0,00E+00	m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Etanol	1,45E+06	L	5,80E+04	3,79E+06	8,47E+05
Derivados de petróleo	5,46E+03	toe	9,87E+03	3,05E+08	3,39E+06
Carvão	0,00E+00	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fluxo FEW água (total)			1,35E+04	2,43E+06	2,34E+05
Água	1,01E+09	L	1,35E+04	2,43E+06	2,34E+05

Comparando os indicadores da Tabela 15 é possível verificar que o fluxo alimento obteve um maior consumo direto e indireto de água durante o seu ciclo de vida comparado com os fluxos energia e água. O valor de $8,29E+05$ m³H₂O_{eq.}/ano

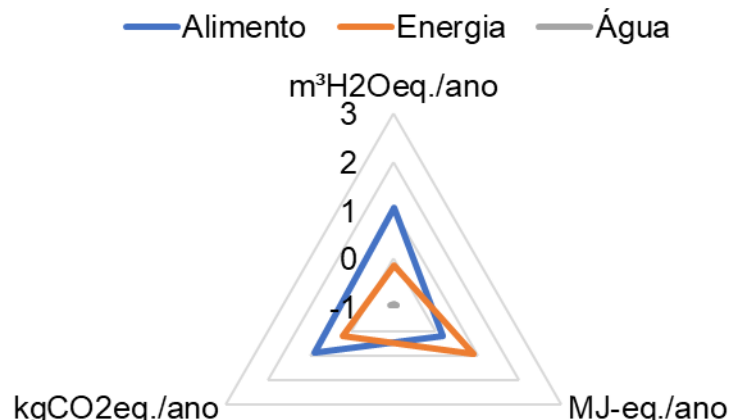
para o fluxo alimento é de 12 vezes maior do que o consumo de água para a geração de energia (fluxo energia), e 61 vezes superior ao próprio uso de água durante o seu ciclo (fluxo água).

O indicador energia fóssil incorporada aponta o fluxo energia como sendo superior aos outros fluxos. A energia incorporada para o fluxo energia, de valor de $3,09E+08$ MJ_{fóssil-eq./ano}, é aproximadamente 6 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 127 vezes maior que o encontrado para o fluxo água.

A mesma análise é feita para o potencial de aquecimento global (PAG), destacando o fluxo alimento como sendo o que apresenta maior impacto. Com um resultado de $2,00E+07$ kgCO_{2-eq./ano}, o PAG para o fluxo alimento é 5 vezes maior que o obtido pelo fluxo energia e 85 vezes maior que o obtido pelo fluxo água ($2,34E+05$ kgCO_{2-eq./ano}).

A Figura 22 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 15 normalizados. O fluxo alimento mostra-se como maior responsável pelos impactos, de acordo com dois dos três indicadores avaliados. Assim, para o município de Ribeirão Branco, o fluxo alimento demanda mais água durante a cadeia alimentar e, ainda, tem o maior potencial em causar aquecimento global. Entretanto, o consumo de energia está relacionado ao fluxo energia.

Figura 22: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para Ribeirão Branco. Dados da Tabela 15 normalizados de acordo com a Equação 1.



Diferente da verificação individual dos indicadores de desempenho para cada fluxo FEW, diagrama de radar, o CUBO promove a análise integrada dos consumos

dos recursos alimento, energia e água. Para isso, o CUBO requer que os valores sejam normalizados de 0 a 1 e a Tabela 16 mostra os consumos dos recursos FEW para o município de Ribeirão Branco e suas respectivas normalizações, de forma que essas respeitem as características geométricas do CUBO. Assim sendo, é possível estabelecer as regiões na figura proposta. O valor de $1,73E+10$ kcal está entre os limites inferior e superior, podendo assim concluir que se situa na região de segurança. Da mesma forma, o fluxo energia também se encontra na região de segurança, pois apresentou valor de $8,96E+07$ kWh, se normalizado, 0,40. Para o fluxo água, o valor de $1,01E+09$ L obtido para o município resultou em uma região de insegurança, valor normalizado 0,14.

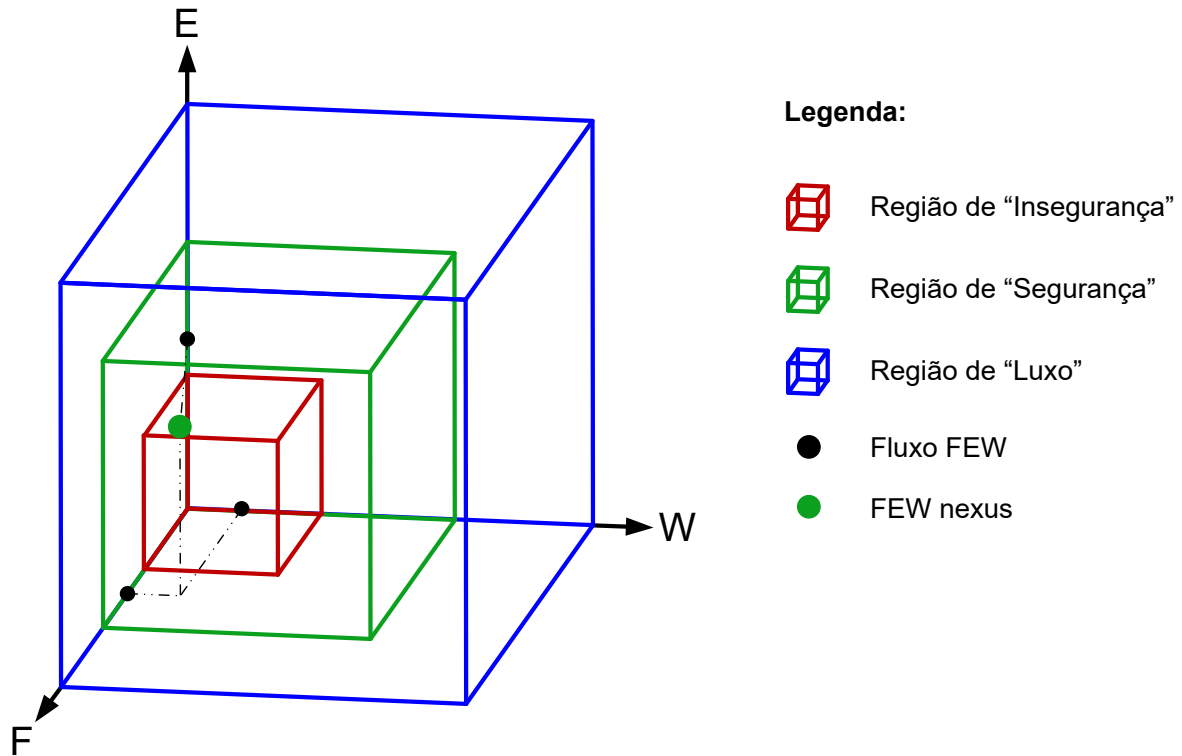
Tabela 16: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexos entre os fluxos FEW no município de Ribeirão Branco.

Descrição	Quantidade ^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	1,07E+10	0
Limite inferior	1,50E+10	0,33
Limite superior	1,91E+10	0,66
Máximo possível	2,29E+10	1
Ribeirão Branco	1,73E+10	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	1,77E+06	0
Limite inferior	3,36E+07	0,33
Limite superior	2,88E+08	0,66
Máximo possível	9,70E+08	1
Ribeirão Branco	8,96E+07	0,40
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	2,07E+08	0
Limite inferior	2,09E+09	0,33
Limite superior	7,14E+09	0,66
Máximo possível	2,61E+10	1
Ribeirão Branco	1,01E+09	0,14

Na Figura 23, o modelo CUBO mostra os resultados da avaliação de forma integrada dos fluxos FEW para Ribeirão Branco no ano de 2018, incluindo o vetor FEW nexus (em verde). A primeira verificação de classificação é a da região, que para o município estudado resultou na região denominada segurança. A segunda avaliação, também para classificar o FEW nexus do município, é a do fator limitante. Nesse caso, como há dois fluxos em uma região do CUBO (segurança) e outro na região vizinha (insegurança), segundo os critérios baseados nessa condição, o fator limitante será semiestável. Logo, para o município de Ribeirão Branco, ações devem ser adotadas para elevar o consumo de água, levando-o para a região de segurança.

Essa seria uma das medidas prioritárias dentro da avaliação do modelo CUBO, pois, entende-se que um consumo menor que o limite inferior estabelecido como critério pode acarretar danos para a população local, como por exemplo, desencadear uma baixa qualidade de vida.

Figura 23: FEW nexus para o município de Ribeirão Branco em 2018.



São Caetano do Sul

Os resultados dos fluxos FEW do município de São Caetano do Sul são apresentados na Tabela 17. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $7,96E+06 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $4,80E+08 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$, e $1,92E+08 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $1,83E+06 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $4,48E+09 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $7,85E+07 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$. Da mesma forma, para o fluxo água houve $2,39E+05 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $4,31E+07 \text{ MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$ e $4,15E+06 \text{ kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$.

Para verificar qual fluxo FEW apresenta o maior impacto em cada indicador, foi realizada uma comparação entre os indicadores da Tabela 17, e foi possível verificar um consumo direto e indireto de água para o fluxo alimento. O valor de $7,96E+06 \text{ m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$ obtido para o fluxo alimento é de 4 vezes maior do que o consumo de

água para a geração de energia até seu uso final (fluxo energia), e 33 vezes superior ao uso de água dentro do seu próprio ciclo (fluxo água).

Tabela 17: Quantificação dos fluxos FEW para o município de São Caetano do Sul.

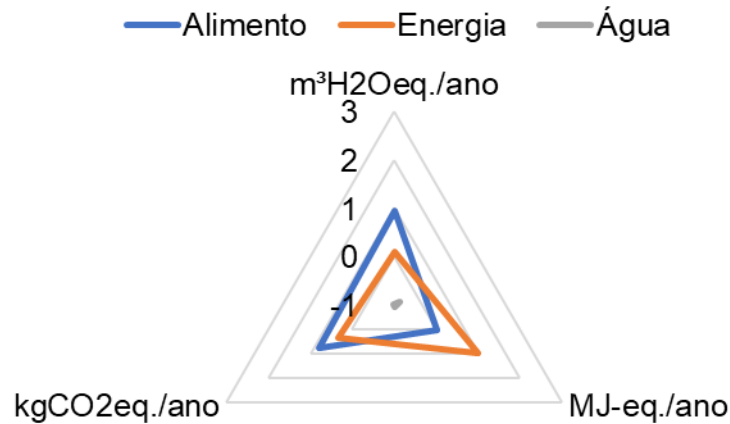
Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			m ³ H ₂ O _{eq.}	MJ _{fós.-eq.}	kgCO _{2-eq.}
Fluxo FEW alimento (total)			7,96E+06	4,80E+08	1,92E+08
Cereais	5,83E+06	kg	2,01E+06	3,43E+07	7,42E+06
Carnes	5,27E+06	kg	1,88E+06	7,43E+07	9,87E+07
Frutas e verduras	4,32E+06	kg	1,42E+06	2,98E+07	5,63E+06
Peixe	2,19E+05	kg	3,36E+02	7,76E+06	6,26E+05
Lácteos	6,16E+06	kg	7,88E+05	1,87E+08	4,94E+07
Legumes	4,21E+06	kg	1,14E+05	5,56E+07	7,89E+06
Raízes e tubérculos	4,01E+06	kg	2,87E+05	1,09E+07	1,40E+06
Açúcares	9,84E+06	kg	1,38E+06	5,16E+07	1,03E+07
Azeites vegetais	1,15E+06	kg	8,68E+04	2,87E+07	1,09E+07
Fluxo FEW energia (total)			1,83E+06	4,48E+09	7,85E+07
Eletricidade (BR)	7,75E+05	MWh	7,49E-01	7,22E+03	4,58E+02
Eletricidade (GLO)	0,00E+00	MWh	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Gás natural	2,97E+07	m ³	1,12E+04	1,28E+09	1,91E+07
Etanol	4,32E+07	L	1,72E+06	1,13E+08	2,51E+07
Derivados de petróleo	5,52E+04	toe	9,97E+04	3,08E+09	3,43E+07
Carvão	0,00E+00	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fluxo FEW água (total)			2,39E+05	4,31E+07	4,15E+06
Água	1,79E+10	L	2,39E+05	4,31E+07	4,15E+06

A energia fóssil incorporada, também determinante para a análise dos consumos diretos e indiretos dos recursos FEW, revelou o fluxo energia (4,48E+09 MJ_{fóssil-eq.}/ano) como possuindo o maior valor entre os três fluxos. O valor de 4,48E+09 MJ_{fóssil-eq.}/ano é aproximadamente 9 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 104 vezes maior que o encontrado para o fluxo água.

Essa análise se estende ao indicador potencial de aquecimento global (PAG), indicando que o fluxo alimento apresenta novamente o maior impacto, com um PAG de 1,92E+08 kgCO_{2-eq.}/ano. Esse resultado é 2 vezes maior que o obtido pelo fluxo energia e 46 vezes maior que o obtido pelo fluxo água.

A Figura 24 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 17 normalizados. O fluxo alimento mostra-se como maior responsável pelos impactos, de acordo com os três indicadores avaliados. Desse modo, o fluxo alimento, em São Caetano do Sul, demanda mais água e é o maior causador de aquecimento global. Esse recurso do nexu requer medidas prioritárias quando comparado com os fluxos energia e água.

Figura 24: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para São Caetano do Sul. Dados da Tabela 17 normalizados de acordo com a Equação 1.



A avaliação de desempenho dos fluxos FEW para o município de São Caetano do Sul pode ser vista na Tabela 18, que mostra os limites adotados para estabelecer as regiões do CUBO, seus consumos e os valores fixados da normalização (0, 0,33, 0,66 e 1), bem como o consumo de cada fluxo FEW para o município e seu valor normalizado. O primeiro passo é identificar as quantidades de alimento, energia e água para o município, depois disso, normalizar essas quantidades. Para o fluxo alimento, de valor de 1,66E+11 kcal e normalizado 0,51, está situado entre os limites inferior e superior, classificando-o na região de segurança. Da mesma forma, o fluxo energia também se encontra na região de segurança, apresentando valor de 2,01E+09 kWh, normalizado 0,56. O fluxo água, 1,79E+10 L, obtido para o município, resultou em uma região de insegurança, valor normalizado 0,29.

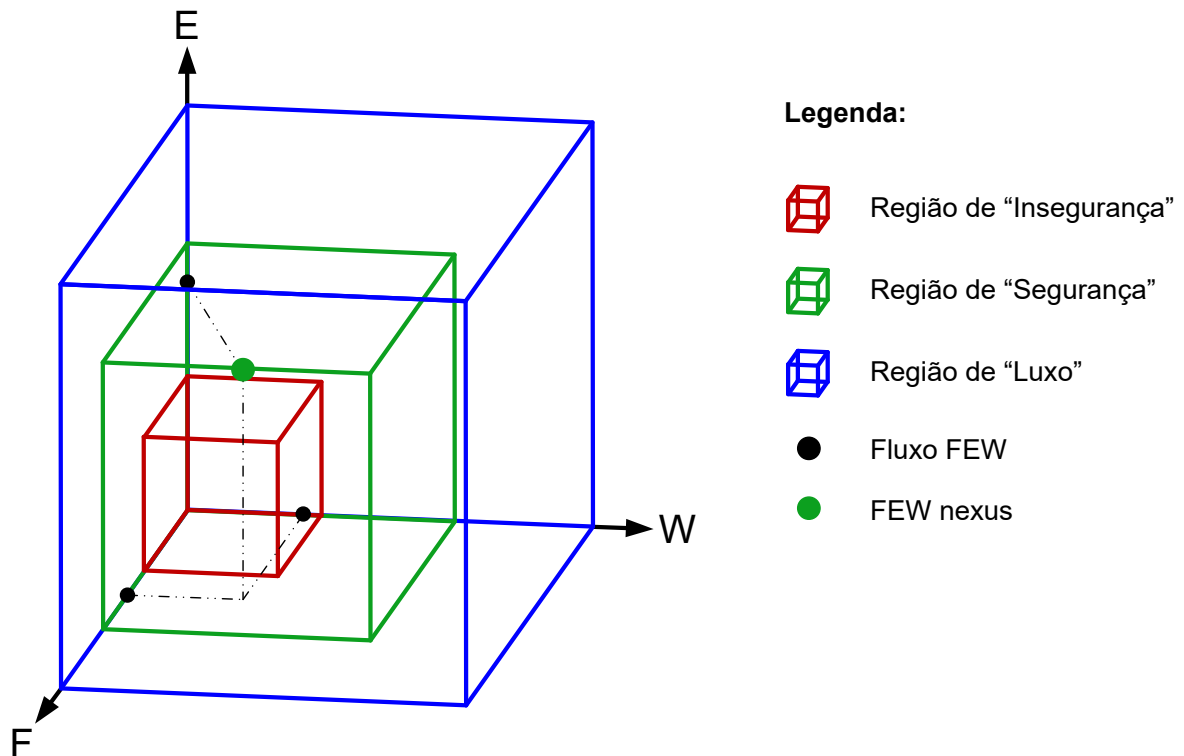
A partir da análise individual dos fluxos FEW do município de São Caetano do Sul é possível estabelecer um ponto resultante. A Figura 25 mostra o modelo proposto para avaliação integrada dos fluxos FEW para o ano de 2018. São destacados o vetor FEW nexus (em verde) e os pontos individuais (em preto). A primeira verificação de classificação é feita pela observação da localização do ponto em verde, FEW nexus do município de São Caetano do Sul, denominada segurança. A segunda avaliação realizada, também para classificar o FEW nexus do município, é a do fator limitante. Portanto, como dois dos três fluxos encontram-se na região central, segurança, e um deles na região vizinha, insegurança, a classificação de acordo com a condição limitante é chamada de semiestável. Da mesma forma que para todos os resultados que não atendam à classificação sugerida (segurança e estável), o município de São

Caetano do Sul deve promover ações no setor hídrico, impulsionando o seu uso. Para o município, pequenas ações podem levar esse fluxo para a região de segurança, pois o valor normalizado de 0,29 revela a proximidade com a região adequada.

Tabela 18: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexso entre os fluxos FEW no município de São Caetano do Sul.

Descrição	Quantidade ^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	1,03E+11	0
Limite inferior	1,44E+11	0,33
Limite superior	1,84E+11	0,66
Máximo possível	2,20E+11	1
São Caetano do Sul	1,66E+11	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	1,70E+07	0
Limite inferior	3,22E+08	0,33
Limite superior	2,76E+09	0,66
Máximo possível	9,32E+09	1
São Caetano do Sul	2,01E+09	0,56
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	1,99E+09	0
Limite inferior	2,01E+10	0,33
Limite superior	6,86E+10	0,66
Máximo possível	2,50E+11	1
São Caetano do Sul	1,79E+10	0,29

Figura 25: FEW nexus para o município de São Caetano do Sul em 2018.



São Paulo

Os resultados dos fluxos FEW do município de São Paulo são apresentados na Tabela 19. Os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo alimento são $6,05E+08$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$, $3,65E+10$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$, e $1,46E+10$ $kgCO_{2-eq.}/ano$. Para o fluxo FEW energia, têm-se os indicadores $9,51E+07$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$, $2,64E+11$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$ e $4,32E+09$ $kgCO_{2-eq.}/ano$. Da mesma forma, para o fluxo água houve $1,94E+07$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$, $3,49E+09$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$ e $3,36E+08$ $kgCO_{2-eq.}/ano$.

Através da análise comparativa dos indicadores da Tabela 19, o fluxo alimento possui um maior consumo direto e indireto de água durante o seu ciclo de vida comparado com os outros fluxos do FEW nexus. O valor de $6,05E+08$ $m^3H_2O_{eq.}/ano$ para o fluxo alimento é de 6 vezes maior do que o consumo de água para a geração de energia (fluxo energia), e 31 vezes superior ao próprio uso de água durante o seu ciclo (fluxo água).

Tabela 19: Quantificação dos fluxos FEW para o município de São Paulo.

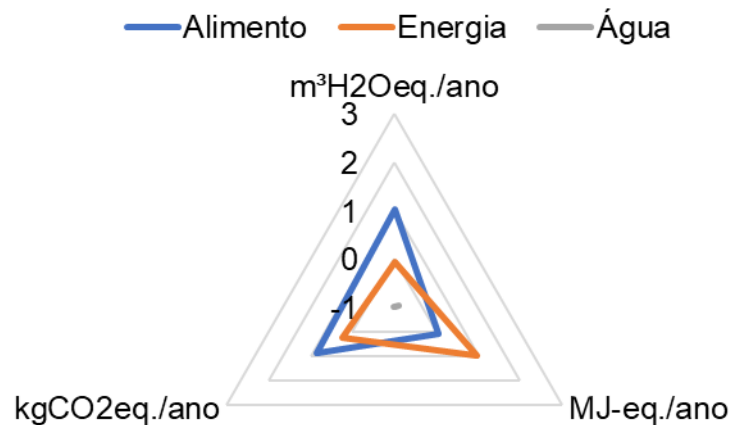
Fluxos FEW e seus itens	Consumo	Unidade /ano	Indicadores anuais dos fluxos FEW		
			$m^3H_2O_{eq.}$	$MJ_{fos.-eq.}$	$kgCO_{2-eq.}$
Fluxo FEW alimento (total)			$6,05E+08$	$3,65E+10$	$1,46E+10$
Cereais	$4,43E+08$	kg	$1,53E+08$	$2,60E+09$	$5,63E+08$
Carnes	$4,00E+08$	kg	$1,43E+08$	$5,64E+09$	$7,50E+09$
Frutas e verduras	$3,28E+08$	kg	$1,08E+08$	$2,26E+09$	$4,28E+08$
Peixe	$1,66E+07$	kg	$2,55E+04$	$5,90E+08$	$4,76E+07$
Lácteos	$4,68E+08$	kg	$5,98E+07$	$1,42E+10$	$3,75E+09$
Legumes	$3,20E+08$	kg	$8,63E+06$	$4,22E+09$	$5,99E+08$
Raízes e tubérculos	$3,05E+08$	kg	$2,18E+07$	$8,29E+08$	$1,06E+08$
Açúcares	$7,48E+08$	kg	$1,05E+08$	$3,92E+09$	$7,83E+08$
Azeites vegetais	$8,76E+07$	kg	$6,59E+06$	$2,18E+09$	$8,31E+08$
Fluxo FEW energia (total)			$9,51E+07$	$2,64E+11$	$4,32E+09$
Eletricidade (BR)	$2,72E+07$	MWh	$2,63E+01$	$2,53E+05$	$1,61E+04$
Eletricidade (GLO)	$0,00E+00$	MWh	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Gás natural	$1,04E+09$	m^3	$3,94E+05$	$4,51E+10$	$6,70E+08$
Etanol	$2,20E+09$	L	$8,78E+07$	$5,74E+09$	$1,28E+09$
Derivados de petróleo	$3,82E+06$	toe	$6,89E+06$	$2,13E+11$	$2,37E+09$
Carvão	$0,00E+00$	kg	$0,00E+00$	$0,00E+00$	$0,00E+00$
Fluxo FEW água (total)			$1,94E+07$	$3,49E+09$	$3,36E+08$
Água	$1,45E+12$	L	$1,94E+07$	$3,49E+09$	$3,36E+08$

Da mesma maneira, comparando os resultados para o indicador energia fóssil incorporada, verificou-se que o fluxo energia tem consumo superior que os outros fluxos. A energia incorporada para o fluxo energia, cujo valor é de $2,64E+11$ $MJ_{fossil-eq.}/ano$, é aproximadamente 7 vezes superior ao indicador energia para o fluxo alimento, e aproximadamente 75 vezes maior que o encontrado para o fluxo água.

A mesma verificação é feita para o potencial de aquecimento global (PAG), destacando o fluxo alimento como sendo o que apresenta maior impacto. Com um resultado de $1,46E+10$ kgCO_{2-eq.}/ano, o PAG para o fluxo alimento é 3 vezes maior que o obtido pelo fluxo energia e 43 vezes maior que o obtido pelo fluxo água.

A Figura 26 mostra o diagrama de radar com os resultados da Tabela 19 normalizados. O fluxo alimento mostra-se como maior responsável pelos impactos causados pelos três recursos do nexu, de acordo com dois dos três indicadores avaliados. Assim, para o município de São Paulo, o fluxo alimento demanda mais água durante a cadeia alimentar e tem o maior potencial em causar aquecimento global. Ao contrário, o consumo de energia está relacionado à geração da mesma (fluxo energia).

Figura 26: Representação gráfica dos indicadores de desempenho dos fluxos FEW para São Paulo. Dados da Tabela 19 normalizados de acordo com a Equação 1.



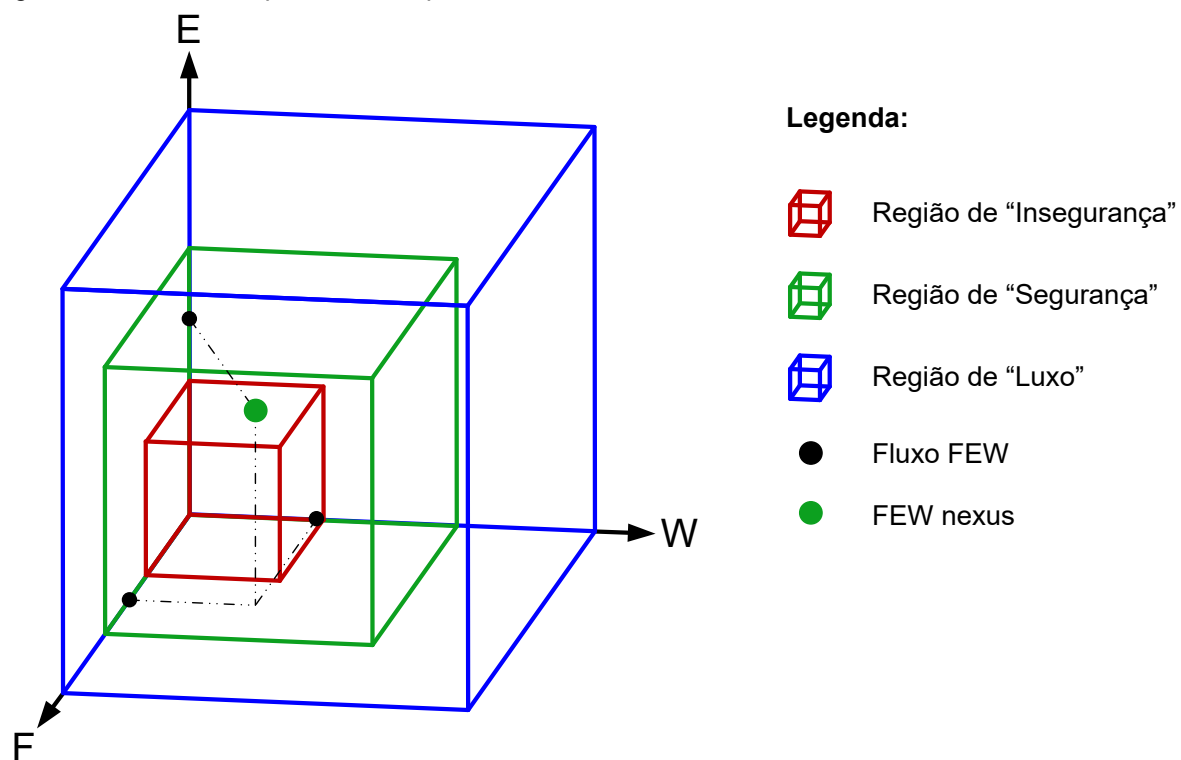
Os resultados para o modelo de avaliação CUBO, para o município de São Paulo, são mostrados na Tabela 20 e Figura 27. A Tabela 20 mostra os valores de consumo para cada elemento do FEW nexu e os valores obtidos para estabelecer os critérios ou delimitações das regiões do CUBO. Como consequência, é possível obter os valores normalizados, importantes para esta análise, e classificar os níveis de consumo do município de acordo com o fator limitante. Assim sendo, o nexu dos municípios é verificado utilizando dois passos de classificação, a região do CUBO e a condição limitante. O valor de $1,26E+13$ kcal está entre os limites inferior e superior, situado na região de segurança. Similar ao fluxo alimento, o fluxo energia, cujo valor é de $9,69E+10$ kWh, normalizado 0,46, também está na região de segurança. Para o fluxo água, o valor de $1,45E+12$ L obtido para o município resultou em uma região de insegurança, valor normalizado 0,31.

Tabela 20: Valores de consumos obtidos para definir as regiões de desempenho do nexos entre os fluxos FEW no município de São Paulo.

Descrição	Quantidade^a	Normalização
Fluxo FEW alimento (kcal)		
Mínimo possível	7,81E+12	0
Limite inferior	1,10E+13	0,33
Limite superior	1,40E+13	0,66
Máximo possível	1,67E+13	1
São Paulo	1,26E+13	0,51
Fluxo FEW energia (kWh)		
Mínimo possível	1,29E+09	0
Limite inferior	2,45E+10	0,33
Limite superior	2,10E+11	0,66
Máximo possível	7,08E+11	1
São Paulo	9,69E+10	0,46
Fluxo FEW água (L)		
Mínimo possível	1,51E+11	0
Limite inferior	1,53E+12	0,33
Limite superior	5,21E+12	0,66
Máximo possível	1,90E+13	1
São Paulo	1,45E+12	0,31

Na Figura 27, o modelo CUBO mostra os resultados da avaliação de forma integrada dos fluxos FEW para São Paulo no ano de 2018. A primeira verificação de classificação é a da região, que para o município estudado resultou na região denominada segurança. A segunda avaliação, também para classificar o FEW nexos do município, é a do fator limitante, mesmo um dos três fluxos estando na região de insegurança. Nesse caso, como há dois fluxos em uma região do CUBO (segurança) e outro na região vizinha (insegurança), segundo os critérios adotados neste trabalho, a condição limitante será semiestável. Contudo, para o município de São Paulo, pequenas oscilações de consumo de água podem levá-lo à região de segurança com condição estável. Ainda assim, esse é um cenário não alarmante, pois a diferença entre o valor de consumo do município para alcançar o limite inferior é pequeno.

Figura 27: FEW nexus para o município de São Paulo em 2018.



6. DISCUSSÕES

6.1 Análise da simplicidade-complexidade do modelo CUBO proposto

O nexu entre alimento, energia e água é uma abordagem recente, mostrando uma grande variedade de trabalhos, buscando métodos e ferramentas que podem ser utilizadas para, de forma científica, quantificar o FEW nexus. Em literatura são apresentados modelos conceituais, alguns de acesso livre com interface web, uns que necessitam de muitos dados de entrada dificultando a coleta, há também ferramentas que possibilitam a criação de cenários, mas por vezes são para escalas específicas e há também modelos conceituais que integram outros recursos, além de alimento, energia e água.

Ao mesmo tempo que a busca por alternativas para avaliar diferentes sistemas tem sido um desafio para os pesquisadores no âmbito acadêmico, surge outro grande desafio de mesma ou maior importância: diz respeito aos critérios utilizados para avaliar se a ferramenta proposta é qualificada e de fácil usabilidade, no caso deste trabalho, para quantificar os recursos do FEW nexus.

Para preencher este “*gap*” existente Dargin, Daher e Mohtar (2019) desenvolveram um índice que verifica a complexidade ou simplicidade das métricas disponíveis em literatura e utilizadas para avaliar o nexu entre alimento, energia e água abordando 8 critérios que corroboram para a seleção/ escolha da ferramenta adequada. O índice de complexidade usa um agregado de medidas qualitativas e quantitativas para capturar a complexidade e a adequação para diferentes aplicações de ferramentas de nexu que existem na literatura. A complexidade depende subjetivamente da disponibilidade de dados, acessibilidade, histórico do usuário, objetivos e restrições de tempo. O índice varia em uma escala de 5 a 19, em que o valor de índice mais alto se correlaciona a uma ferramenta de maior complexidade. A Tabela 21 mostra os 8 critérios e sua respectiva pontuação, as justificativas para cada critério são apresentadas detalhadamente no Anexo 2. Para avaliar se o modelo de avaliação integrado proposto neste estudo, CUBO, é uma ferramenta classificada como simples ou complexa será utilizada a metodologia proposta por Dargin, Daher e Mohtar (2019).

Tabela 21. Índice de Complexidade.

Critério	Pontuação
1. A ferramenta é de acesso aberto	[Sim - 0] [Não - 1]
2. A ferramenta possui uma interface web	[Sim - 0] [Não - 1]
3. Granularidade de dados	Baixo [1] = alto nível; dados em nível nacional Médio [3] = geral, mas com mais dados específicos do setor Alto [4] = dados localizados do setor e dados técnicos localizados
4. Acessibilidade de dados	Alto [1] = existem dados para a maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento Médio [2] = os dados são difíceis de encontrar para os países em desenvolvimento Baixo [3] = os dados são difíceis de encontrar; a derivação precisa de outras ferramentas de modelagem.
5. Número de entrada de dados (por usuário)	Baixo [1]: 0–15 Médio [2]: 16–32 Alto [3]: 33+
6. Experiência no assunto	Baixo [1]: especialização não necessária Média [2]: requer compreensão do assunto geral Alta [3]: especialização e alta habilidade necessárias.
7. Intensidade de treinamento (para uso da ferramenta)	Baixo [1]: 1 dia Médio [2]: 2–3 dias Alto [3]: 1 semana
8. Cenários definidos pelo usuário	[Sim - 1] [Não/N-A - 0]

Fonte: Adaptado de Dargin, Daher e Mohtar (2019).

Análise de Complexidade-Simplicidade do CUBO

- **Critério 1:** o modelo proposto neste estudo não apresenta custos de utilização, facilitando aos diversos usuários o acesso à ferramenta. A pontuação, segundo o critério 1 (ferramenta de acesso aberto), é nula, igual a zero (0).
- **Critério 2:** a interface web atinge um público maior e mais amplo e se traduz em um maior número de usuários de ferramentas de gestão de nexos, aumentando o potencial de trazer benefícios para a sociedade, consequentemente, ferramentas sem interface podem restringir o alcance pelo usuário. Neste primeiro momento, o modelo CUBO não possui interface web, o que pode ser justificado por esse estar em processo de implementação. Espera-se que seja bem visto pelos governantes municipais para, em seguida, prosseguir com a ampliação e expansão da ferramenta para uma nova

interface, que possa atingir diferentes setores. Entretanto, esse critério recebe a pontuação 1, não há interface web.

- Critério 3: entende-se que a granularidade de dados vem causando problemas em alguns setores, principalmente pela disponibilidade restrita de informações para sistemas específicos. Os dados utilizados no CUBO podem ser classificados de duas formas: (i) dados dos recursos FEW para nações foram obtidos de agências governamentais para estabelecer os limites de consumo; e (ii) dados de consumo dos recursos FEW para municípios. O primeiro (dados para países) não precisa ser modificado, pois faz parte da ferramenta de avaliação e já está pré-estabelecido. O segundo deve ser coletado e pode ser encontrado em sites governamentais ou agências que controlam cada setor específico, por exemplo, para a água são órgãos estaduais ou sistemas de fornecimento hídrico. Assim, os dados necessários para utilização da ferramenta são dados gerais, de consumo, e são encontrados em sites governamentais, relatórios nacionais ou bases de dados, não necessitando de modelagem adicional. Dessa forma, o CUBO pode ser classificado, de acordo com o critério 3 (granularidade de dados), como baixo, pontuação 1.
- Critério 4: referente à acessibilidade de dados pode haver situações em que não há informações disponíveis para alguns municípios ou, ainda, ocorrências apenas de dados antigos. Isso pode exigir esforços para estimá-los ou observar regiões próximas com os mesmos padrões de consumo. O modelo aqui proposto tem como objetivo avaliar municípios e por isso tem certas restrições de acessibilidade de dados por conta da sua escala, o que não acontece para maiores cenários, como o caso de países. Apesar dos autores (Dargin, Daher e Mohtar, 2019) usarem países como justificativa para estabelecer a pontuação, não é necessário o uso de outras ferramentas de modelagem para estimá-los ou obtê-los. Logo, a pontuação para o CUBO, seguindo o critério 4, é média para acessibilidade de dados, ou seja, 2.
- Critério 5: o critério 5 faz referência ao número de entrada de dados. O modelo CUBO tem como propósito fornecer um método de avaliação de fácil entendimento e rápida análise, simultaneamente, o número de dados de entrada para avaliar o FEW nexus, utilizando esse modelo requer poucas informações. Em geral, poucos elementos são necessários para executá-lo,

sendo, o consumo de alimento em kcal/pessoa, o consumo total de água (em L) e energia (em MWh) para o município e a população para o ano que está sendo avaliado. Para o caso da energia, os dados podem estar divididos por setores, por exemplo, eletricidade, diesel, gás natural, derivados de petróleo, entre outros. Da mesma forma, o alimento pode estar dividido em grupos alimentares, em que a conversão de kg para kcal pode ser demandada em algumas situações. Juntamente com o CUBO, há a análise para os indicadores de desempenho ($\text{m}^3\text{H}_2\text{O}_{\text{eq.}}/\text{ano}$, $\text{MJ}_{\text{fossil-eq.}}/\text{ano}$, e $\text{kgCO}_2\text{-eq.}/\text{ano}$), que, além dos dados citados acima, é necessária a obtenção dos grupos alimentares em kg. O conjunto total dos dados, mesmo que subdivididos, não ultrapassa 15. A pontuação creditada para este item é 1, baixa entrada de dados.

- Critério 6: o modelo CUBO não requer especialização ou experiência para ser aplicado. Pode ser empregado por qualquer pessoa que possua os dados de entrada, principalmente por possuir gráficos que possibilitam uma fácil análise. Para esse item a pontuação é 1, baixo, especialização não necessária.
- Critério 7: alguns dos aspectos integrados com esse item (intensidade de treinamento) são os investimentos com ensino e tempo. O treinamento pode incluir tutorial online e módulos ou aulas de instrução presencial. O tempo de aprendizagem para aplicar uma ferramenta varia com a formação do usuário, sendo dependente do tipo de modelo apresentado. O modelo proposto neste estudo foi pensado para ser utilizado na escala local, municípios ou mesmo cidades, para fornecer soluções rápidas e robustas sobre os impactos causados pelo nível de consumo dos recursos alimento, energia e água e, ainda, ser aplicado pelos próprios governantes ou agentes municipais responsáveis pelo gerenciamento dos elementos FEW. O tempo para aprender a usar a ferramenta CUBO foi uma das prioridades deste estudo, juntamente, com a rápida aplicação e análise do resultado por qualquer usuário. Foi então desenvolvido um programa no software Excel, com instruções de como utilizar e obter as informações finais do modelo proposto que, resumidamente, exige apenas a inserção dos dados de consumo nas planilhas, o processo de cálculo é feito de forma automática. Isso requer no máximo 1 dia para utilizar a ferramenta, sendo assim, classificada como baixa intensidade de treinamento e pontuação 1.

- Critério 8: refere-se à criação de cenários pelos usuários e aumenta a complexidade. Algumas ferramentas têm cenários predefinidos, que podem ser selecionados e incluídos na avaliação da modelagem para capturar diferentes externalidades, como crescimento populacional e projeções de mudanças climáticas. Por outro lado, há também ferramentas com maior flexibilidade, mas podem exigir mais dados e tempo para definir os cenários. No caso da métrica proposta neste estudo, não há a possibilidade de modificação do cenário. Este pode ser aplicado para diferentes escalas e para diferentes anos, ou mesmo, projetando cenários hipotéticos, mas não modificam a ferramenta e demandam dos mesmos dados. Logo, entende-se que os cenários definidos pelos usuários não são aplicados para o modelo CUBO (pontuação 0).

Feita a análise do modelo proposto seguindo os 8 critérios estabelecidos, correspondendo ao índice de complexidade, foi possível verificar que o CUBO resultou em uma pontuação igual a 7. Sabendo que o índice varia entre 5 (menor complexidade) a 19 (maior complexidade), é possível afirmar que a ferramenta gráfica deste estudo tem baixo nível de complexidade. Isso pode ser considerado como positivo porque, além de sua importância científica, talvez o mais importante sejam os resultados obtidos pela aplicação do modelo CUBO utilizados na prática para subsidiar políticas públicas. Uma vez que, na maior parte dos casos, os decisores não possuem perfil científico, a reduzida complexidade do modelo CUBO seria uma vantagem.

Juntamente com o desenvolvimento do índice de complexidade para avaliar métricas de avaliação do FEW nexus, Dargin, Daher e Mohtar (2019) aplicaram o índice em 8 ferramentas disponíveis em literatura. Essas métricas avaliadas não são necessariamente implementadas no estudo do nexo existente entre alimento, energia e água de forma integrada, mas contêm pelo menos dois dos três recursos FEW em sua análise.

A ferramenta WEAP-LEAP Integrated Model, que tem como propósito a construção de cenários e previsões e inclui apenas água e energia no seu escopo, apresentou o maior índice de complexidade (16). Com similar nível de complexidade, ferramentas que integram os três recursos FEW na sua análise foram CLEWS (15,5) e MuSIASEM (15), ambas têm como metodologia a integração dos fluxos FEW. A

CLEWS busca fornecer o diagnóstico de sistemas e usa indicadores na sua verificação e a MuSIASEM se restringe a criação e previsão de cenários.

As que apresentaram baixo índice de complexidade foram: World Bank Climate and Disaster Risk Screening Tools (6) e WEF Nexus Rapid Appraisal (8). A ferramenta World Bank Climate and Disaster Risk Screening Tools tem como objetivo o diagnóstico e a WEF Nexus Rapid Appraisal utiliza indicadores e um conjunto de índices na sua abordagem. Com valores próximos do obtido para o modelo CUBO (7) é possível afirmar que possuem maior simplicidade quando comparado com as demais métricas disponíveis em literatura.

Contudo, o uso do CUBO como figura geométrica é visto como um diferencial e mostra-se importante para graficamente mostrar diferentes regiões de desempenho do FEW nexus dos municípios avaliados, fornecendo informações de forma rápida e fácil de entender sobre o desempenho dos fluxos FEW e seu nexos. Essas características apresentam-se como um avanço em relação aos métodos de avaliação disponíveis em literatura

Os exercícios de pontuação e mapeamento destacam ainda mais as funções variáveis das ferramentas no espectro de simplicidade-complexidade. Embora ferramentas de maior complexidade geralmente permitam análises mais detalhadas e incluam recursos mais avançados para acomodar o desenvolvimento de cenários, isso ocorre ao custo de restringir a análise a certos subnexos (ou seja, questões de água-energia), além de aumentar a necessidade de mais dados granulares, ou seja, extensão dos detalhes e dados específicos, e usuários altamente qualificados que têm uma compreensão da relação alimento-energia-água.

Para concluir a análise do modelo proposto (CUBO), as ferramentas complexas requerem mais apoio institucional para garantir que os recursos humanos e técnicos para operar uma ferramenta estejam disponíveis e acessíveis. Já as ferramentas simples desempenham um papel útil na identificação de "pontos de acesso" do nexos (interdependências), um componente chave para os estágios iniciais de qualquer avaliação de nexos ou aplicação em uma política nova ou existente. Percebe-se ainda que o CUBO supera as dificuldades apresentadas. O modelo proposto corrobora com o pensamento de políticas integradas, fornecendo soluções multissetoriais, que têm

sido uma barreira para a tomada de decisão, principalmente, pelo atual modelo de gestão em silos.

Os procedimentos para avaliação do FEW nexus através do modelo CUBO foram padronizados para que esse possa ser utilizado largamente em diversos municípios do mundo, principalmente relacionado ao fluxo FEW alimento, categorizado de acordo com o que estabelece a FAO, mas ainda precisa de grande quantidade de dados sobre consumo de alimento, energia e água, incluindo quantidade consumida e o tipo de recurso utilizado. De qualquer forma, a proposta do modelo foi alcançada e, com a disponibilidade de bancos de dados mais robustos no futuro, sua aplicabilidade também se torna facilitada.

6.2 Discussão sobre o estudo de caso

Esta seção de discussões apresenta a hierarquia dos municípios de acordo com a proposta do modelo CUBO, além de apresentar sugestões gerais de políticas públicas que poderiam ser implementadas na busca por resiliência em municípios sob uma perspectiva do FEW nexus.

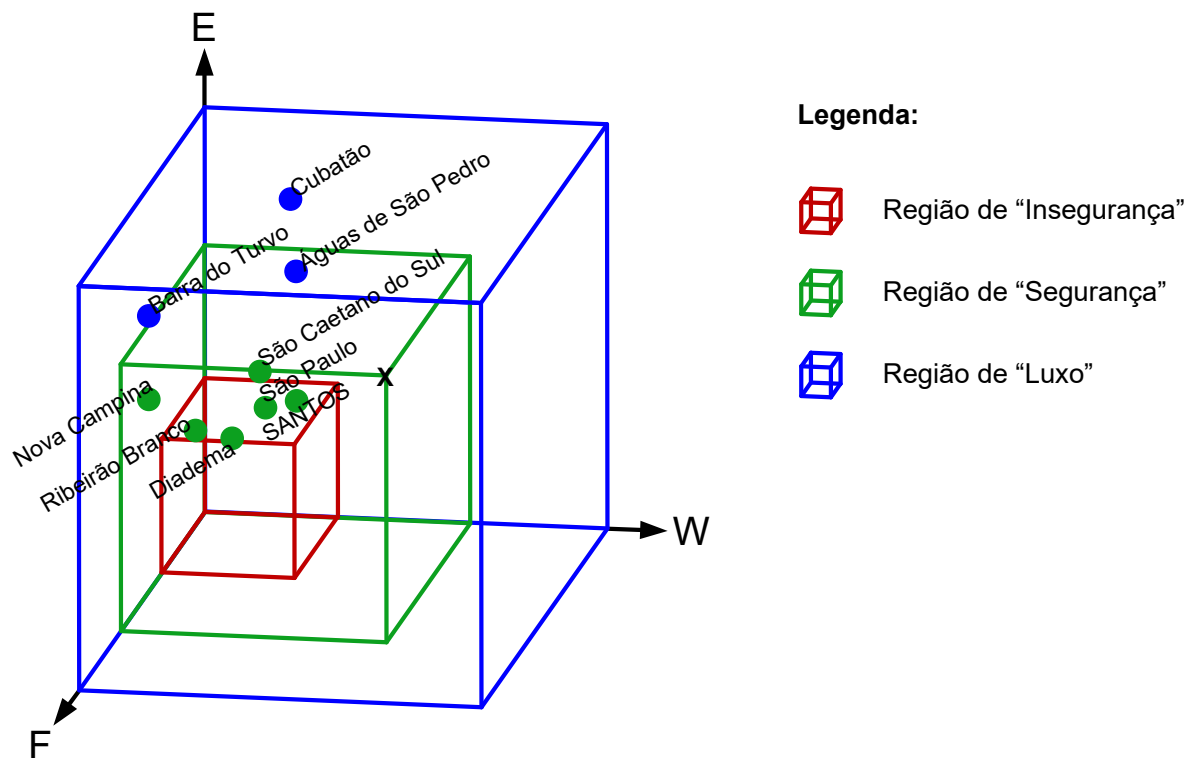
6.2.1 Hierarquia dos Municípios

Como proposta inicial deste trabalho, o município de Santos foi considerado como estudo de caso. As características da região destacaram o município como potencial estudo para a aplicação do modelo CUBO. O modelo foi desenvolvido com o objetivo de contribuir com a pesquisa e suprir algumas necessidades encontradas em literatura. Alguns exemplos podem ser destacados com base na revisão deste trabalho, como: (i) a falta de uma ferramenta que avalie os recursos alimento, energia e água de maneira integrada; (ii) não há um método quantitativo que considere pequenas escalas como municípios em seu estudo; e (iii) a maioria das ferramentas disponíveis são complexas e de difícil operacionalização.

A partir da aplicação do modelo CUBO foi possível verificar oscilações do vetor FEW em alguns municípios. Isso revela consumos diferentes, mesmo para municípios vizinhos. A Figura 28 apresenta a amostra dos municípios avaliados e sua respectiva classificação, em que os pontos em azul informam a região de luxo enquanto os

pontos em verde, a região de segurança. De forma geral, 3 dos 9 municípios estudados foram classificados na região de luxo, enquanto os outros 6, na região de segurança. Uma limitação identificada foi a coleta de dados para o fluxo FEW alimento, que havia apenas para macrorregiões do Brasil e não para municípios. Esse talvez seja um problema exclusivo dos bancos de dados existentes no Brasil. Por outro lado, a partir do momento que houver dados mais específicos disponíveis, basta substituí-los no modelo de avaliação. Dessa forma, os valores de consumo do alimento podem variar, pois os dados são per capita e foram multiplicados pela população de cada município, no entanto, a normalização é a mesma para os 9 municípios.

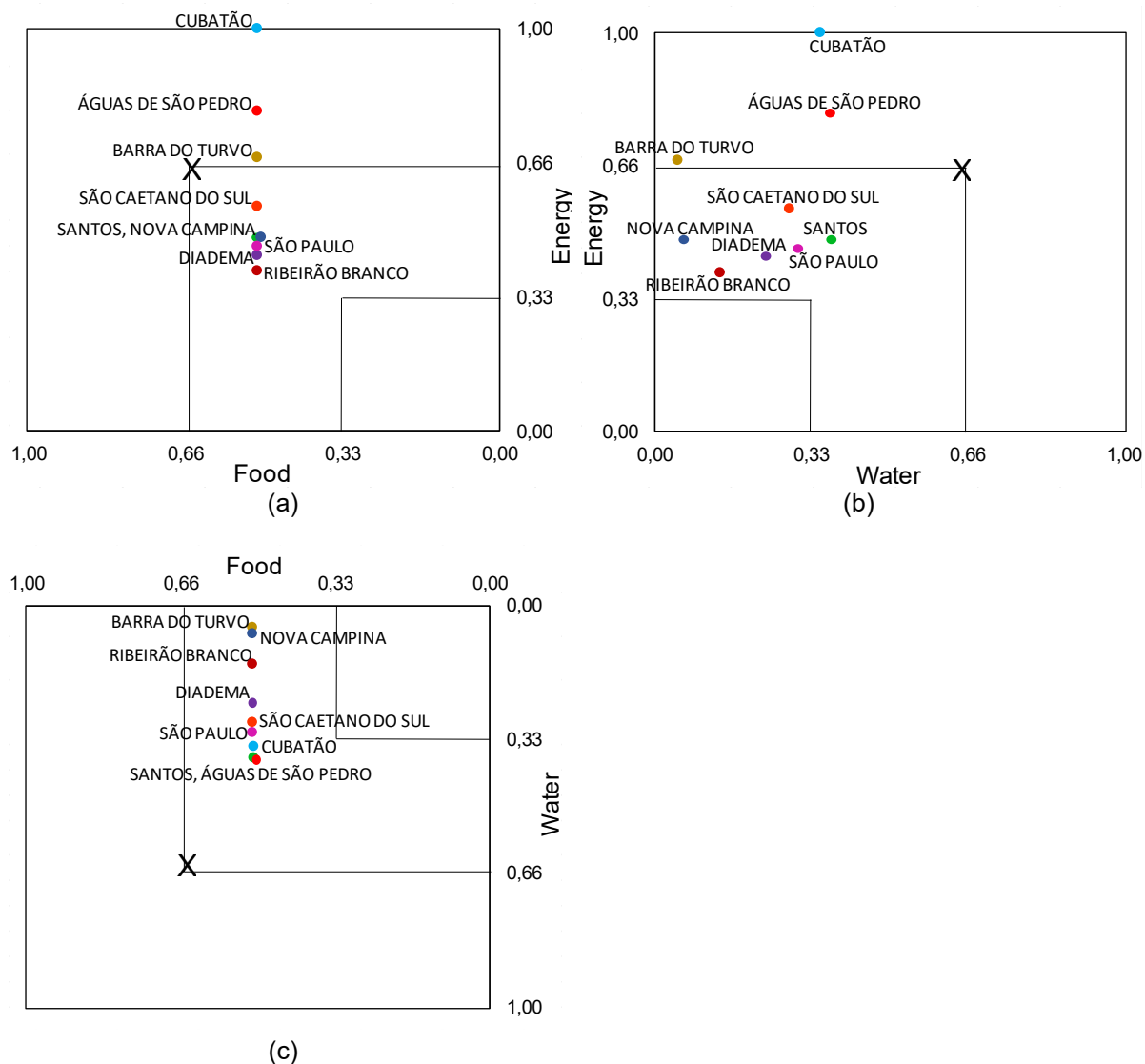
Figura 28: Resultado para o FEW nexus dos 9 municípios estudados.



Similar à Figura 28, a Figura 29 apresenta o mesmo CUBO, porém, com apenas duas dimensões, permitindo analisar cada fluxo de forma individual e, comparativamente, as relações de consumo existentes entre dois fluxos. Na Figura 29a é possível identificar que o alimento possui consumo igual para todos os municípios estudados, isso é explicado pelo fato de a base de dados utilizada neste trabalho fornecer apenas valores por regiões do Brasil, e nesse caso todos os municípios são da região Sudeste. Contudo, isso não interfere na qualidade do modelo proposto, pois quando dados mais precisos sobre consumo de alimentos desses

municípios estiverem disponíveis, os cálculos podem ser revisitados. O eixo vertical mostra o consumo de energia, e o município de Cubatão atingiu o valor máximo possível, ou seja, seu uso de energia é igual ou superior à média de consumo para o país que mais consome energia no mundo.

Figura 29: Projeções ortogonais do CUBO para as 9 cidades estudadas. (a) vista lateral direita (F-E); (b) vista frontal (E-W); e, (c) vista superior (F-W).



Os municípios de São Caetano do Sul, Santos, Nova Campina, São Paulo, Diadema e Ribeirão Branco tiveram consumos próximos para o fluxo energia, estando situados dentro da região de segurança (entre 0,33 e 0,66). O mesmo eixo vertical para o fluxo FEW energia é visualizado na Figura 29b, contudo, agora há variações, pois o fluxo FEW água, na horizontal, muda de acordo com as condições de consumo desse recurso para cada município. Logo, verificou-se que apenas os municípios de

Santos, Águas de São Pedro e Cubatão possuem consumo de água superior ao limite mínimo possível (0,33), além disso, Barra do Turvo e Nova Campina têm um consumo próximo do mínimo possível (0,00). Por fim, a Figura 29c mostra a interface alimento-água, em que para o fluxo FEW alimento, eixo horizontal, ocorre a mesma situação que para a Figura 29a e para o fluxo FEW água a mesma situação da Figura 29b.

Entre os municípios avaliados, Santos foi o único que teve características de consumo entre os limites inferior e superior para os três elementos do nexu. Isso classificou-o dentro da região verde, segurança, e ainda condição estável. Esse cenário é o chamado de ideal, devido aos padrões de consumo de cada recurso. Santos possui o melhor desempenho entre os 9 municípios estudados. Essa característica de consumo estabelecida para Santos revela que o município pode sofrer pequenas oscilações em cada fluxo FEW, tanto crescentes como decrescentes, que o vetor FEW permanecerá na mesma região. Inicialmente, não há políticas imediatas que devem ser priorizadas para esse município, embora pode-se sugerir aumentar o vetor FEW até próximo do limite da região de segurança, para alavancar o poder do município em demandar recursos FEW, com o objetivo de suportar o crescimento (alcançar o ponto 'X' nas Figuras 28 e 29), contudo, essa análise pode ser feita anualmente pelos governantes para identificar possíveis perdas ou variações no uso integrado dos recursos FEW. O vetor obtido para o município de Santos foi de 0,80.

Há ainda os municípios que não apresentaram nenhum dos fluxos na região de insegurança, como o caso de Águas de São Pedro e Cubatão. Por outro lado, para ambos os municípios o fluxo energia está na região de luxo. Mesmo que não se encontrem no cenário ideal, podem seguir políticas públicas ou mudança no estilo de vida para controlar essa situação a médio prazo, diferente daqueles que possuem fluxos na região de insegurança. O município de Águas de São Pedro possui o segundo melhor IDH do estado de São Paulo e do Brasil, atrás apenas de São Caetano do Sul, está localizado no interior do estado e é conhecido pelas muitas nascentes encontradas lá.

Pela análise do FEW nexus de Águas de São Pedro, utilizando o modelo CUBO, foi possível verificar que os fluxos alimento e água estão na região denominada de segurança, entretanto, o fluxo energia está na região denominada de

luxo. Ações devem priorizar a redução no consumo de energia, seja substituir energia de origem fóssil por renováveis ou mesmo mudando hábitos na rotina dos cidadãos como, por exemplo, dar preferência à utilização de luz natural em ambientes internos, substituir equipamentos por aqueles de maior eficiência energética, reduzir a quantidade de equipamentos em funcionamento, em prédios diminuir a quantidade de elevadores em operação ou substituí-los por escadas, mudar padrões de consumo de alimentos altamente dependentes em energia, entre outros. Por fim, Águas de São Pedro se encontra na região de luxo, tem condição semiestável e o comprimento do seu vetor foi de 1,02.

Para o município de Cubatão, os fluxos FEW alimento e água apresentaram consumos médios, classificados como seguros. Contudo, o fluxo FEW energia apresentou consumo superior até mesmo do que o próprio limite máximo possível estabelecido como critério para determinar as regiões da figura. Isso pode ser explicado pelas características desse município, conhecido como um polo industrial, perto de região portuária e de polos petrolíferos, explicando a grande quantidade de refinarias instaladas no município. Por outro lado, ainda é contundente a sugestão de melhores práticas no seu uso. A utilização de energia fóssil, por exemplo, poderia ser substituída por outras fontes menos poluentes, como a energia das marés, devido à sua proximidade com o mar. O valor para o potencial de aquecimento global do fluxo FEW energia para Cubatão foi de $2,66E+10$ kgCO₂-eq./ano, superior a todos os outros municípios. Em geral, o município de Cubatão está na região de luxo, possui condição semiestável e vetor com comprimento de 1,18.

Além dos 3 primeiros municípios, Santos, Águas de São Pedro e Cubatão, todos os outros 6 tiveram um baixo consumo de água, com o fluxo FEW água classificado como inseguro. Entre eles há aqueles com consumo extremamente baixo e ainda aqueles com consumos que se incentivados um pouco, podem atingir a região de segurança, como o caso de São Paulo e São Caetano do Sul. Os municípios apresentaram consumos no fluxo água similar e o fluxo energia teve pequena oscilação entre eles. Sem especificar, eles possuem hierarquia semelhante, justificando a sua proximidade geográfica, dividindo costumes e padrões de vida. Além disso, Diadema também possui características de consumo próximas de São Paulo e São Caetano do Sul. Nas Figuras 28 e 29 é possível ver essa similaridade de

consumos para cada fluxo FEW. Os municípios estão localizados na região metropolitana de São Paulo, o que não surpreende tais semelhanças referente à sua hierarquia. Os três municípios, São Paulo, São Caetano do Sul e Diadema, tiveram vetores 0,81; 0,75; e 0,71, respectivamente. Ainda estão na região de segurança, pois os fluxos FEW alimento e energia apresentaram consumos entre os limites inferior e superior, e possuem condição semiestável.

O município de Ribeirão Branco mostra características semelhantes aos três municípios anteriores (São Paulo, São Caetano do Sul e Diadema), contudo, o fluxo água para esse município requer ações mais imediatas, pois seu nível de consumo está na região de insegurança, bem no centro entre o mínimo possível e o limite inferior. Aqui devem ser adotadas políticas a curto prazo para promover o consumo hídrico direto e indireto. Da mesma forma, o município de Nova Campina apresentou a mesma classificação e fator limitante que Ribeirão Branco. Apesar disso, Nova Campina possui um nível de consumo hídrico bem próximo do mínimo possível, o que é preocupante, seu valor normalizado resultou em 0,06, sendo que o valor 0, segundo os critérios estabelecidos para determinar as regiões do CUBO, é o do país com menor IDH entre os países com IDH abaixo de 0,7. Isso requer cuidado pelos governantes para adotar políticas públicas com objetivo de buscar a resiliência urbana e condição limitante ideal ou estável para o consumo dos três recursos do FEW nexus. Os municípios de Nova Campina e Ribeirão Branco obtiveram vetor com comprimento 0,70 e 0,66, respectivamente. Ambos estão na região de segurança e têm condição limitante conhecida como semiestável.

Nenhum dos municípios foi classificado na região de insegurança, o que é visto como aspecto positivo. Da mesma forma que nenhum município resultou em uma condição instável e, para isso, dois dos três fluxos deveriam estar em uma região extrema e o outro fluxo na outra região extrema. Contudo, para 1 dos 9 municípios, cada fluxo encontrou-se em uma região diferente. O município de Barra do Turvo foi classificado na região de luxo devido ao alto consumo de energia e apresentou condição semiestável. As Figuras 29b e 29c revelam o baixo consumo de água para o município. Para essa situação é fundamental estabelecer medidas para elevar o consumo de água, sem se preocupar com a sua classificação. Uma possível justificativa para esse baixo consumo pode ser pela localização do município, onde se

encontram com maior facilidade residências em fazendas com um elevado número de nascentes e rios. Talvez essas quantidades não sejam contabilizadas pelo banco de dados, mas não cabe a este estudo avaliar tais ocorrências. Após as práticas de melhoria no consumo hídrico para Barra do Turvo, sugerem-se políticas para reduzir o consumo de energia no município que, de alguma forma, caracteriza-o como alto consumidor. A região de luxo foi resultante para o município Barra do Turno, possui fator limitante semiestável e vetor 0,85.

Um aspecto importante abordado neste trabalho refere-se à utilização do indicador IDH de países como critério para estabelecer os limites de consumo na avaliação do CUBO. A escolha dos municípios para o estudo de caso se deu a partir de diferenças no IDH, como por exemplo, São Caetano do Sul, Águas de São Pedro e Santos possuem IDH mais elevados, ocupando a primeira, segunda e terceira posição no ranking estadual, respectivamente; enquanto Ribeirão Branco, Barra do Turvo e Nova Campina estão em último, penúltimo e antepenúltimo na mesma lista, respectivamente. Os municípios de São Paulo, Diadema e Cubatão foram escolhidos aleatoriamente.

A partir da avaliação do FEW nexus para esses municípios, considerando a avaliação do modelo conceitual e da análise quantitativa e integrada (CUBO), foi possível verificar que há relação na hierarquia dos municípios encontrada neste estudo com aquela estabelecida pelo IDH, à exceção dos municípios de Águas de São Pedro e Cubatão.

Além do aspecto anteriormente estabelecido, foi possível verificar que os municípios, que fornecem os recursos alimento, energia e água, necessitam de ações mais imediatas segundo a avaliação pela região e pelo comprimento do vetor. Um exemplo disso é o município de Cubatão, que tem um papel importante no fornecimento de energia para toda a região sudeste do país. Este, por sua vez, possui um comprimento de vetor alto (1,18) impulsionado pelo consumo de energia no seu território. Embora esse município contribua com o abastecimento de energia e combustível para as demais regiões, sofre com o impacto ambiental causado pelo alto uso energético, visível através da poluição do ar e, claro, visualizado no modelo de avaliação CUBO.

A mesma circunstância é presenciada nos municípios do interior do estado, que possuem melhores condições de fornecimento de recursos hídricos, através de grandes represas. Ações são requeridas no sentido de reduzir o consumo do recurso hídrico nesses municípios, a exemplo de Águas de São Pedro e Nova Campina. Amaral et al. (2021) encontraram que os municípios altamente urbanizados e demandam mais recursos como alimento, energia e água na região macrometropolitana de São Paulo são beneficiados com melhor qualidade de vida para a sua população, quando comparados com aqueles que fornecem os recursos naturais, mesmo possuindo maior área verde e os elementos essenciais para a subsistência humana. Destacam ainda, no estudo, que o município de São Caetano do Sul, altamente urbanizado, com pouca ou quase nenhuma estrutura azul e verde e dependendo da importação dos recursos FEW, é considerada uma das cidades mais importantes do Brasil em termos de índice de desenvolvimento humano. Ao contrário do município de Natividade, provedor de serviços ecossistêmicos com uma população minúscula e um IDH muito baixo.

Isso se estende para os municípios que ocupam as 4 primeiras posições da hierarquia estabelecida a partir das 3 formas de classificação e quantificação do modelo CUBO. Os municípios de Santos, São Caetano do Sul, São Paulo e Diadema são altamente dependentes dos recursos provenientes de outras áreas. Não há a produção de alimento, a captação de água ou a geração de energia nesses territórios. Assim, o esforço se dá no sentido de importar os produtos para consumo local. Como resultado dessa avaliação, o município de Santos oferece o cenário ideal segundo os critérios utilizados neste estudo, localizado na região de segurança e com condição estável. Já os municípios de São Caetano do Sul, São Paulo e Diadema requerem esforços relacionados ao uso da água com o objetivo de mover o fluxo FEW água da região de insegurança para a região de segurança. De forma geral, são condições consideradas apenas para o elemento água. É possível verificar na avaliação conceitual (gráfico de radar), que os impactos ambientais encontrados para esses municípios são inferiores quando comparados com os demais.

Por fim, a Tabela 22 mostra a hierarquia e classificação da amostra de municípios considerados neste trabalho para a aplicação do modelo proposto: CUBO. Essa classificação foi obtida através da análise gráfica e das classificações para cada

município, incluindo a região (insegurança, segurança ou luxo) e o fator limitante (instável, semiestável e estável).

Tabela 22: Hierarquia e classificação dos municípios.

Posição	Municípios	Fluxos FEW individuais			Classificação integrada		Vetor
		F	E	W	Região	Fator limitante	
1º	Santos	Segurança	Segurança	Segurança	Segurança	Estável	0,80
2º	São Caetano do Sul	Segurança	Segurança	Insegurança	Segurança	Semiestável	0,81
3º	São Paulo	Segurança	Segurança	Insegurança	Segurança	Semiestável	0,75
4º	Diadema	Segurança	Segurança	Insegurança	Segurança	Semiestável	0,71
5º	Nova Campina	Segurança	Segurança	Insegurança	Segurança	Semiestável	0,70
6º	Ribeirão Branco	Segurança	Segurança	Insegurança	Segurança	Semiestável	0,66
7º	Barra do Turvo	Segurança	Luxo	Insegurança	Luxo	Semiestável	0,85
8º	Águas de São Pedro	Segurança	Luxo	Segurança	Luxo	Semiestável	1,02
9º	Cubatão	Segurança	Luxo	Segurança	Luxo	Semiestável	1,18

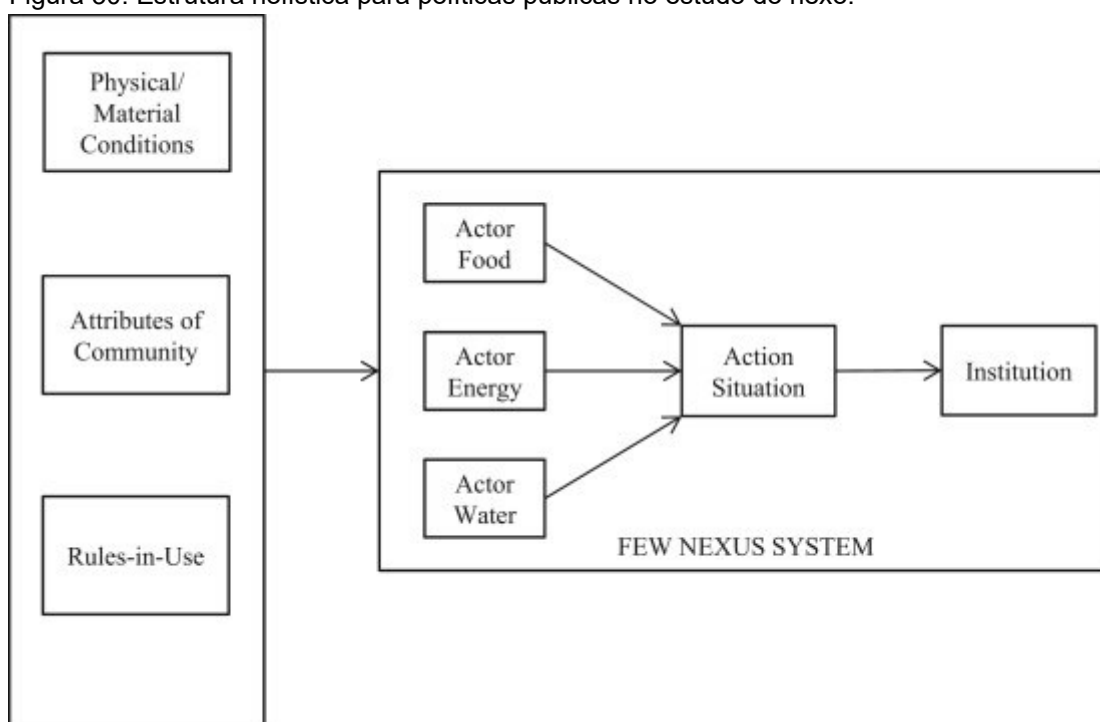
6.2.2 Importância para políticas públicas

A abordagem considerada no estudo do nexos busca compreender as relações existentes entre os recursos alimento, energia e água. É essencial entender as implicações causadas pelos consumos desses recursos em uma comunidade, seja ela uma fazenda, um município ou ainda uma macrorregião, como os países. Para isso, além de entender as inter-relações entre os consumos do FEW nexus este trabalho sugere e discute alternativas para a implementação de políticas públicas que possam culminar em melhores ações para os gestores municipais. A partir da análise de trabalhos publicados em literatura foi possível verificar que tem havido pouca pesquisa sobre sugestões e implementações de políticas públicas em relação aos assuntos do FEW nexus.

Embora o modelo de gestão municipal sofra divergências em algumas regiões em diferentes países, a estrutura para o gerenciamento dos recursos alimento, energia e água é organizada em silos (departamentos independentes) na maioria das cidades do mundo. Porém, a própria abordagem do nexos pressupõe a necessidade de uma interação entre setores. Portney et al. (2018) ressaltam que os próprios formadores de políticas podem não estar cientes das conexões, dado que as formulações de políticas são geralmente feitas em apenas um único domínio. Os domínios são aqueles denominados como ministérios e/ou secretarias governamentais. Por exemplo, o segmento hídrico para a formulação de políticas é geralmente separado dos domínios de energia e alimento, podendo levar a tomadas de decisão equivocadas, sem a visão sistêmica necessária.

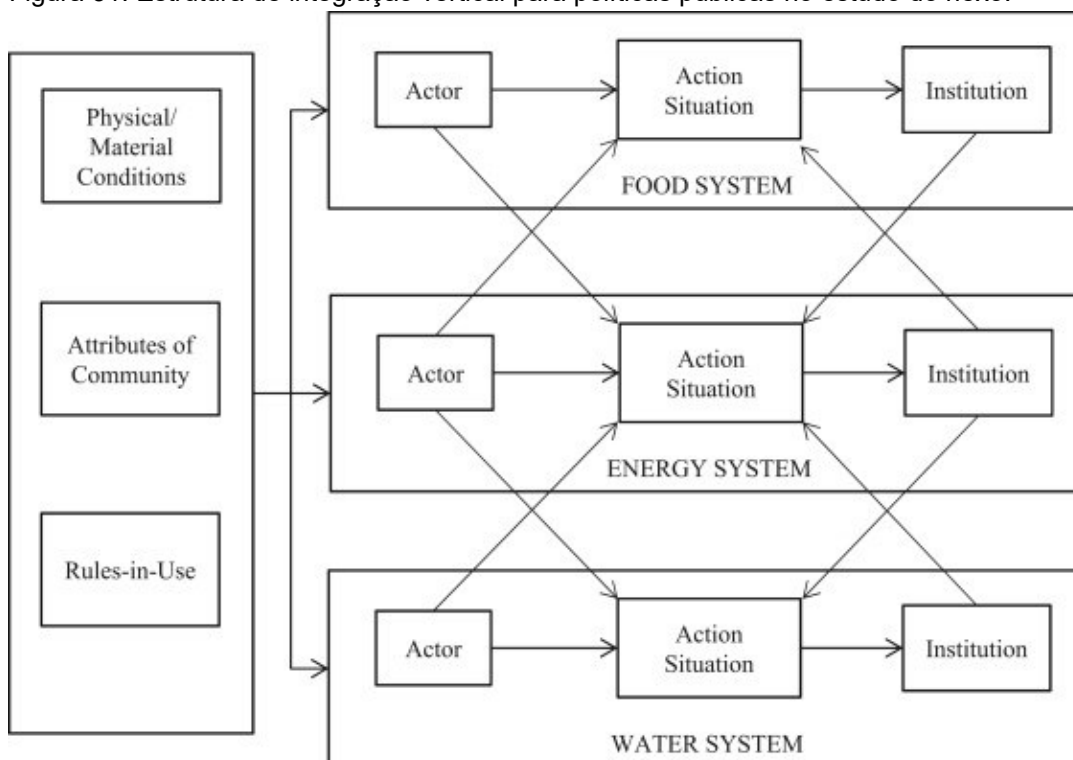
Com o objetivo de contribuir para a melhoria da gestão dos recursos alimento, energia e água em municípios, Marker et al. (2018) estudaram modelos de gestão e sugeriram uma estrutura de cooperação do FEW nexus. A proposta se deu a partir do estudo dos conceitos de análise de desenvolvimento institucional (IAD) e estruturas de gerenciamento e transição (MTF). Como resultado obteve-se uma estrutura holística (Figura 30) que descreve o nexos como um sistema único e integrado; e outra de integração vertical (Figura 31) das políticas que se baseia nas estruturas existentes e na reformulação do cenário atual.

Figura 30: Estrutura holística para políticas públicas no estudo do nexo.



Fonte: Marker et al. (2018).

Figura 31: Estrutura de integração vertical para políticas públicas no estudo do nexo.



Fonte: Marker et al. (2018).

Essa avaliação mostra que não há a necessidade de reestruturação de um governo para atender as demandas donexo. Entretanto, é importante existir interação entre os departamentos responsáveis pela tomada de decisão. Visto que há consumo de água na produção de alimentos e obtenção de energia; há consumo de energia na captação de água e transporte de alimentos, entre outros. Portanto, quando ocorre um alto consumo de água dentro de um município não necessariamente está relacionado ao consumo doméstico, industrial ou outro, mas pode estar diretamente ligado ao alto consumo na geração de energia. Da mesma forma que, quando ocorre um alto consumo de energia dentro do município, pode estar contribuindo para o transporte de água até o destino através de bombas ou nos veículos que transportam alimentos.

Entende-se que quando se trata de políticas públicas, o modelo de integração vertical pode contribuir e resultar em um melhor gerenciamento dos recursos do FEW nexos. Esse modelo contribui no nível de governança municipal. Por outro lado, as duas avaliações consideradas neste trabalho, (i) modelo conceitual e (ii) modelo quantitativo e integrado, fornecem aspectos que são suficientes para a tomada de decisão. Na verificação das relações existentes entre os três recursos do nexos, utilizando o modelo CUBO, é possível caracterizar os municípios estudados pelo nível de consumo interno dos fluxos FEW e a classificação resultante da análise das regiões da figura geométrica. Dessa forma, o balanço no consumo entre os três elementos do nexos resultando em uma região de segurança e condição estável é o resultado esperado para este estudo. Contudo, para muitas situações os níveis de consumo são assimétricos. Para as condições em que o resultado não atendeu ao objetivo (região de segurança com condição limitante estável) sugere-se:

- a) Sair da região de insegurança sem se preocupar com equilíbrio entre os fluxos FEW (fator limitante) nesse momento. Isso é uma política fundamental para curto prazo.
- b) Caso o vetor não esteja na região de insegurança e nenhum fluxo FEW também esteja nessa região, então deve-se atuar nos fluxos FEW para sair da região de luxo e ir para a região de segurança. Inicialmente, busca-se

atuar naquele fluxo FEW, que resultará em maior estabilidade, e depois nos outros fluxos gradativamente. Isso é uma política para médio prazo.

- c) Buscar a região de segurança e com condição estável. Essa é uma política para longo prazo.

Mesmo que gerais, essas sugestões são importantes para guiar políticas públicas, mas reconhece-se que sugestões/ações mais específicas podem ser fornecidas especificamente para cada estudo de caso. O modelo conceitual, com indicadores de desempenho, pode melhorar essa análise, mostrando qual a variável (direta ou indireta) está afetando o nível de utilização de um determinado fluxo FEW. A ação, dessa vez, pode ser realizada diretamente sobre o aspecto que afeta o nível de consumo.

Por fim, não é suficiente agir com boas políticas, considerando apenas um dos recursos do FEW nexus sem que os outros sejam incorporados na avaliação. Outros fatores ainda podem ser considerados na avaliação final para sugestão de políticas, incluindo o meio de transporte utilizado, melhorias nas condições de habitação, melhoria da saúde e bem-estar, infraestrutura digital e serviços eletrônicos, melhor governança da cidade e proteção dos recursos naturais. A interação entre eles mostra que há aspectos essenciais no planejamento de políticas públicas. A gestão da água, por exemplo, depende totalmente do uso eficiente da energia e do alimento. O tipo de meio de transporte está relacionado ao consumo de energia e impacto ambiental. Para isso, sugere-se que reuniões participativas com *stakeholders*, membros da comunidade e tomadores de decisão sejam feitas para discutir a real possibilidade de implementação, pois, este é um assunto de interesse público.

7. CONCLUSÕES

7.1 Modelo de avaliação: CUBO

Devido à importância na busca de um modelo de avaliação quantitativa do FEW nexus de forma integrada, o modelo proposto neste trabalho mostra-se com grande potencial para aplicações em municípios, fornecendo subsídios para tomadas de decisão em busca de municípios resilientes. O uso do CUBO, como figura geométrica, mostra-se importante para graficamente mostrar diferentes regiões de desempenho do FEW nexus, fornecendo informações de forma rápida e de fácil interpretação sobre o desempenho quantitativo e integrado dos fluxos FEW e seu nexo (representado pelo vetor FEW). Essas características apresentam-se como um avanço em relação aos métodos de avaliação disponíveis em literatura, pois usualmente não quantificam o FEW nexus (avaliam separadamente os fluxos FEW), e apresentam relações gráficas muito complexas e de difícil interpretação pelos decisores.

O modelo do CUBO possui pontuação para complexidade igual a 7. Isso significa que, comparado com as demais ferramentas disponíveis em literatura para avaliar o FEW nexus, pode ser visto como alternativa para uso por qualquer usuário, devido ao seu alto nível de simplicidade. Dessa forma, conclui-se que o CUBO supera a falta do uso dos indicadores dos ODSs e sua relação com o FEW nexus, a falta de um método de avaliação quantitativo e integrado, a falta de uma ferramenta que avalie o nexo em municípios e a falta de uma ferramenta simples e robusta. Por outro lado, como qualquer outra ferramenta, precisa-se de uma base de dados completa para alimentar o modelo.

7.2 Estudos de caso

Os dados mostram que as emissões do CO₂eq. e água direta e indireta consumida em m³H₂O_{eq.} pelo município de Santos estão fortemente relacionadas ao fluxo alimento, que demanda esses recursos em sua cadeia de produção. Dessa forma, tornam-se fundamentais a busca por estratégias para diminuir o consumo indireto de água na cadeia de alimentos e ações para reduzir a carga ambiental devido ao consumo direto de alimento, seja pela redução do consumo, mudança de estilo de vida, ou substituição de alimentos tradicionais por outros que causam menor pressão sobre o meio ambiente. Além disso, devem ser consideradas ações na busca pela redução do consumo direto de energia no município. As sugestões para políticas

públicas foram aplicadas apenas para o município de Santos (mesmo que de forma ainda superficial), pois, entende-se que elas variam para cada município.

O município de Santos, SP, apresenta uma demanda de recursos para seu desenvolvimento que classifica os fluxos alimento, energia e água na região de segurança. Comparativamente, os municípios considerados como estudo de caso neste estudo mostram-se na seguinte hierarquia em relação aos seus respectivos FEW nexus: 1º lugar para Santos (região de segurança, condição estável e 0,80 para seu vetor FEW), 2º São Caetano do Sul (segurança, condição semiestável, 0,81), 3º São Paulo (segurança, condição semiestável, 0,75), 4º Diadema (segurança, condição semiestável, 0,71), 5º Nova Campina (segurança, condição semiestável, 0,70), 6º Ribeirão Branco (segurança, condição semiestável, 0,66), 7º Barra do Turvo (luxo, condição semiestável, 0,85), 8º Águas de São Pedro (luxo, condição semiestável e vetor igual a 1,02) e 9º Cubatão (luxo, condição semiestável, 1,18).

Essa classificação é importante para que os municípios entendam os motivos pelo qual estão com baixas performances e o seu potencial de melhoria como representado pelos municípios com melhor classificação. Por fim, embora fora do escopo deste trabalho, políticas públicas foram sugeridas baseadas na avaliação do CUBO para o município de Santos. De forma geral, para o fluxo FEW alimento sugere-se o consumo dos alimentos que possuem um menor consumo indireto de água, nesse caso os vegetais, frutas e peixes; e ainda a implantação de hortas comunitárias. O peixe, pois é um alimento local, tem o menor consumo de água direto e indireto, tem o menor consumo de energia e menor potencial em causar aquecimento global entre os grupos alimentos. As hortas comunitárias contribuem com a reutilização do resíduo alimentar e promove a socialização. Para o fluxo FEW energia sugere-se o uso de fontes alternativas à eletricidade em algumas atividades, principalmente na região industrial, o porto, maior consumidor desse recurso. Já o fluxo FEW água é um aspecto positivo no município, pois ocupa a 1ª posição no ranking nacional de saneamento urbano, contudo, pode-se sugerir a captação de águas pluviais para fins não essenciais, visto que a região insular é altamente urbanizada e tem potencial para esse fim. Ressalta-se que essas sugestões são específicas para cada município e devem ser discutidas através de reuniões participativas com *stakeholders*.

8. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Aplicar o modelo para outros municípios brasileiros, do mundo, e em série histórica para analisar diferenças e dinâmicas dos municípios e, também, para avaliar a aplicabilidade do modelo CUBO proposto.
- b) Discutir profundamente sobre drivers externos como, por exemplo, características climáticas, de solo, e de topografia, sobre potencialidades e desempenho no modelo CUBO de municípios, objetivando a proposição de políticas públicas mais efetivas.

REFERÊNCIAS

- ABULIBDEH, Ammar; ZAIDAN, Esmat. Managing the water-energy-food nexus on an integrated geographical scale. **Environmental Development**, v. 33, p. 100498, 2020.
- AGENDA 2030, 2019. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/sobre/>>. Acesso em: 21 jun 2019.
- AL-ANSARI, Tareq et al. Development of a life cycle assessment tool for the assessment of food production systems within the energy, water and food nexus. **Sustainable production and consumption**, v. 2, p. 52-66, 2015.
- 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., 2014. Nexus Nirvana or Nexus Nullity? A dynamic approach to security and sustainability in the water-energy-food nexus. 2014.
- ALLWOOD, J. M. et al., 2012. Foreseer [computer software]. Disponível em: <http://www.foreseer.group.cam.ac.uk>. Acesso em: 02 dez 2020.
- AMARAL, M. H. et al. Environmental injustices on green and blue infrastructure: Urban nexus in a macrometropolitan territory. **Journal of Cleaner Production**, 289, 125829, 2021.
- Amsterdam Smart City, 2016. Disponível em: <https://amsterdamsmartcity.com/projects>. Acesso em: 12 nov 2020.
- ANA, 2015. Agência Nacional de Águas (ANA). Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/ConsultaDados.aspx>. Acesso em: 20 nov 2020.
- ARTIOLI, Francesca; ACUTO, Michele; MCARTHUR, Jenny. The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. **Political Geography**, v. 61, p. 215-223, 2017.
- ASHER, Jana et al. **A hypothetical cohort model of human development**. United Nations Development Programme, 2010.
- BERGENDAHL, John A.; SARKIS, Joseph; TIMKO, Michael T. Transdisciplinarity and the food energy and water nexus: Ecological modernization and supply chain sustainability perspectives. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 309-319, 2018.
- BIGGS, Eloise M. et al. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 389-397, 2015.
- BIZIKOVA, Livia et al. **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, 2013.
- BRASIL. Lei Complementar nº 952, de 30 de dezembro de 2016. Disciplina o gerenciamento dos resíduos sólidos que especifica e dá outras providências. Disponível em:

<https://sogj8.sogj.com.br/Arquivo/Modulo113.MRID109/Registro1257896/lei%20complementar%20n%20952%20de%2030122016.pdf>. Acesso em: 20 mai 2021.

CHIRISA, Innocent; BANDAUKO, Elmond. African cities and the water-food-climate-energy nexus: An agenda for sustainability and resilience at a local level. **En Urban Forum**. Springer Netherlands, v. 26, n. 4, p. 391-404, 2015.

CHOI, Bernard; PAK, Anita. Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness. **Clinical and investigative medicine**, v. 29, n. 6, p. 351, 2006.

City of Amsterdam, 2012. Towards the Amsterdam circular economy. Amsterdam: Report City of Amsterdam.

DAHER, Bassel et al. Modeling the water-energy-food nexus: a 7-question guideline. **Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices**, v. 229, p. 57, 2017.

DAHER, Bassel T.; MOHTAR, Rabi H. Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. **Water International**, v. 40, n. 5-6, p. 748-771, 2015.

DALLA FONTANA, Michele; BOAS, Ingrid. The politics of the nexus in the city of Amsterdam. **Cities**, v. 95, p. 102388, 2019.

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.

DAVIDSON, Debra J. The applicability of the concept of resilience to social systems: some sources of optimism and nagging doubts. **Society and natural resources**, v. 23, n. 12, p. 1135-1149, 2010.

DESA, 2018. Revision of world urbanization prospects. **Population Division of the UN Department of Economic and Social Affairs, UN, New York**. Disponível em: <https://population.un.org/wup>. Acesso em: 12 nov 2020.

DJEHDIAN, Lucas A. et al. Exposure of urban food–energy–water (FEW) systems to water scarcity. **Sustainable Cities and Society**, v. 50, p. 101621, 2019.

DUBOIS, O. et al. The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture. **Food and Agriculture Organization (FAO)**, Rome, 2014.

ERMOLIEVA, T. Yu et al. Systems analysis of robust strategic decisions to plan secure food, energy, and water provision based on the stochastic GLOBIOM model. **Cybernetics and Systems Analysis**, v. 51, n. 1, p. 125-133, 2015.

FAO, 2017. Food and Agriculture Organization. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2016. FAO, Santiago de Chile.

FERRAÇO, André Augusto Giuriatto; MORAES, Gabriela Garcia Batista Lima. A abordagem científica-instrumental do nexus water-food-energy como método para a construção de uma política ambiental na gestão dos recursos hídricos. **Revista Videre**, v. 10, n. 19, p. 53-68, 2018.

FERROUKHI, Rabia et al. Renewable energy in the water, energy & food nexus. **IRENA**, Abu Dhabi, 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**. FAO, 2014.

FRANKOWSKA, Angelina; JESWANI, Harish Kumar; AZAPAGIC, Adisa. Environmental sustainability issues in the food-energy-water nexus in the UK vegetables sector: Energy and water consumption. **Energy Procedia**, v. 161, p. 150-156, 2019.

GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, Arjen Ysbert; VAN DER MEER, T. H. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. **Ecological economics**, v. 68, n. 4, p. 1052-1060, 2009.

GHODSVALI, Maryam; KRISHNAMURTHY, Sukanya; DE VRIES, Bauke. Review of transdisciplinary approaches to food-water-energy nexus: A guide towards sustainable development. **Environmental Science & Policy**, v. 101, p. 266-278, 2019.

GIAMPIETRO, Mario; MAYUMI, Kozo; RAMOS-MARTIN, Jesus. Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. **Energy**, v. 34, n. 3, p. 313-322, 2009.

GIATTI, Leandro Luiz et al. O nexó água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 43-61, 2016.

GONDHALEKAR, Daphne; RAMSAUER, Thomas. Nexus city: operationalizing the urban water-energy-food nexus for climate change adaptation in Munich, Germany. **Urban Climate**, v. 19, p. 28-40, 2017.

GOVERNO DE SÃO PAULO, 2020. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Ranking Paulista de Energia**. Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/Portalcev2/Municipios/ranking/index.html>. Acesso em: 02 set 2019.

GWSP, 2014. **Sustainability in the water–energy–food nexus**, Bonn, Germany, 19–20 May 2014. Disponível em: http://wefconference.gwsp.org/fileadmin/WEF_Conference/Summary_Part_II.pdf. Acesso em: 27 jul 2019.

HALL, Charles AS; DAY, John W. Revisiting the Limits to Growth After Peak Oil: In the 1970s a rising world population and the finite resources available to support it were hot topics. Interest faded—but it's time to take another look. **American scientist**, v. 97, n. 3, p. 230-237, 2009.

HOEKSTRA, Arjen Y. et al. **The water footprint assessment manual: Setting the global standard**. Routledge, 2011.

HOEKSTRA, Arjen Y.; MEKONNEN, Mesfin M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, 2012.

HOFF, Holger. Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 Nexus conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. 2011.

HOWELLS, Mark et al. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 7, p. 621-626, 2013.

IBGE, 2009. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: Tabelas de composição nutricional de

alimentos consumidos no Brasil. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv50002.pdf>. Acesso em 15 dez 2020.

IBGE, 2018. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/santos.html?>>. Acesso em: 14 out 2019.

IBGE, 2020. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101704>>. Acesso em: 15 mai 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL (2020). Saneamento é saúde. Santos. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/santos-atinge-quase-100-de-coleta-de-esgoto-em-cinco-anos>. Acesso em: 15 mai 2021.

ISO, 2006a. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework**. ISO 14040:2006. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/37456.html>>. Acesso em: 10 jun 2019.

ISO, 2006b. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental Management: Life Cycle Assessment; Requirements and guidelines**. ISO 14044:2006. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/38498.html>>. Acesso em: 10 jun 2019.

JENERETTE, G. Darrel; LARSEN, Larissa. A global perspective on changing sustainable urban water supplies. **Global and planetary Change**, v. 50, n. 3-4, p. 202-211, 2006.

JESUS, Rodrigo; FREITAS, Maria Isabel Catreghini. Mapeamento da vegetação e uso da terra para subsidiar a análise de vulnerabilidade social e ambiental de Santos–SP. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 5703-5708, 2017.

KARNIB, Ali et al. A quantitative assessment framework for water, energy and food nexus. **Computational Water, Energy, and Environmental Engineering**, v. 6, n. 01, p. 11, 2017.

KIBLER, Kelly M., et al. Food waste and the food-energy-water nexus: a review of food waste management alternatives. **Waste management**, 2018, vol. 74, p. 52-62.

KRAUCUNAS, Ian et al. Investigating the nexus of climate, energy, water, and land at decision-relevant scales: the Platform for Regional Integrated Modeling and Analysis (PRIMA). **Climatic Change**, v. 129, n. 3, p. 573-588, 2015.

LEAL, Rachel Nunes et al. Conectando o nexo: percepção de jovens brasileiros sobre o nexo água-energia-alimento. **Educação em Foco**, p. 963-988, 2018.

LECK, Hayley et al. Tracing the water–energy–food nexus: Description, theory and practice. **Geography Compass**, v. 9, n. 8, p. 445-460, 2015.

LI, Guijun et al. China’s input-output efficiency of water-energy-food nexus based on the data envelopment analysis (DEA) model. **Sustainability**, v. 8, n. 9, p. 927, 2016.

- LI, Guijun et al. Developing interpretive structural modeling based on factor analysis for the water-energy-food nexus conundrum. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 309-322, 2019.
- LI, Pei-Chiun; MA, Hwong-wen. Evaluating the environmental impacts of the water-energy-food nexus with a life-cycle approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 157, p. 104789, 2020.
- LIU, Junguo et al. Challenges in operationalizing the water–energy–food nexus. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 11, p. 1714-1720, 2017.
- MAHJABIN, T. et al. Integrating embedded resources and network analysis to understand food-energy-water nexus in the US. **Science of The Total Environment**, 709, 136153, 2020.
- MAHLKNECHT, Jürgen; GONZÁLEZ-BRAVO, Ramón. Measuring the Water-Energy-Food Nexus: The Case of Latin America and the Caribbean Region. **Energy Procedia**, v. 153, p. 169-173, 2018.
- MANNAN, Mehzabeen et al. Quantifying the energy, water and food nexus: A review of the latest developments based on life-cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 300-314, 2018.
- MARCÍLIO, Maria F. F. B.; GIANNETTI, Biagio F., 2017. Verificação de premissas da contabilidade ambiental em energia: hierarquia de energia, transformidade e robustez. 179 f. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/dissertations/bueno_mff.pdf>. Acesso em: 15 mar 2020.
- MÄRKER, C., Venghaus, S., HAKE, J. F. Integrated governance for the food–energy–water nexus–The scope of action for institutional change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 97, 290-300, 2018.
- MENG, Fanxin et al. Critical review of the energy-water-carbon nexus in cities. **Energy**, v. 171, p. 1017-1032, 2019.
- MERCURE, J.-F. et al. System complexity and policy integration challenges: the Brazilian Energy-Water-Food Nexus. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 105, p. 230-243, 2019.
- MILLER-ROBBIE, Leslie; RAMASWAMI, Anu; AMERASINGHE, Priyanie. Wastewater treatment and reuse in urban agriculture: exploring the food, energy, water, and health nexus in Hyderabad, India. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 7, p. 075005, 2017.
- MOHTAR, Rabi H. The importance of the Water-Energy-Food Nexus in the implementation of The Sustainable Development Goals (SDGs). 2016.
- MOHTAR, Rabi H.; DAHER, Bassel. Water, energy, and food: The ultimate nexus. **Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering**. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2012.
- MOUMOUNI, Yacouba; AHMAD, Sajjad; BAKER, R. Jacob. A system dynamics model for energy planning in Niger. **International Journal of Energy and Power Engineering**, v. 3, n. 6, p. 308-322, 2014.

NHAMO, Luxon, et al. The Water-Energy-Food Nexus as an Adaptation Strategy for Achieving Sustainable Livelihoods at a Local Level. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 20, p. 8582.

NUZZO, Regina L. The box plots alternative for visualizing quantitative data. **Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 8, n. 3, p. 268-272, 2016.

ODUM, Eugene P. *Ecologia*. 1ª edição. Editora Guanabara. Rio de Janeiro. 1988.

OLSSON, Lennart, et al. Why resilience is unappealing to social science: Theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience. **Science advances**, 1.4, e1400217, 2015.

OPEJIN, Adenike K. et al. A Bibliometric Analysis of Food-Energy-Water Nexus Literature. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 1112, 2020.

OUR WORLD IN DATA, 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/food-supply>>. Acesso em: 11 mai 2020.

OWEN, Anne; SCOTT, Kate; BARRETT, John. Identifying critical supply chains and final products: An input-output approach to exploring the energy-water-food nexus. **Applied Energy**, v. 210, p. 632-642, 2018.

PORTNEY, K. E., et al. Awareness of the food–energy–water nexus and public policy support in the United States: public attitudes among the American people. **Environment and Behavior**, 50(4), 375-400, 2018.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SANTOS, 2019. **Conheça Santos**. Uma metrópole em crescimento com a simplicidade caiçara. Disponível em: <<http://www.santos.sp.gov.br/?q=hotsite/conheca-santos>>. Acesso em: 20 nov 2019.

PUTRA, Muhammad Panji Islam Fajar; PRADHAN, Prajal; KROPP, Jürgen P. A systematic analysis of Water-Energy-Food security nexus: A South Asian case study. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 138451, 2020.

RINGLER, Claudia et al. Global linkages among energy, food and water: an economic assessment. **Journal of Environmental Studies and Sciences**, v. 6, n. 1, p. 161-171, 2016.

RISING, James. Decision-making and integrated assessment models of the water-energy-food nexus. **Water Security**, v. 9, p. 100056, 2020.

RODRIGUES, Joana Celia Moraes et al. O nexo água-energia-alimentos aplicado ao contexto da Amazônia Paraense. 2017.

SANDERS, Kelly T.; WEBBER, Michael E. Evaluating the energy consumed for water use in the United States. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 3, p. 034034, 2012.

SCHLÖR, Holger; VENGHAUS, Sandra; HAKE, Jürgen-Friedrich. The FEW-Nexus city index–Measuring urban resilience. **Applied energy**, v. 210, p. 382-392, 2018.

SMITH, Laura; ROSENZWEIG, Lisa; SCHMIDT, Marjorie. Best practices in the reporting of participatory action research: embracing both the forest and the trees 1Ψ7. **The Counseling Psychologist**, v. 38, n. 8, p. 1115-1138, 2010.

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.

THE WORLD FACTBOOK, 2020. **Electricity consumption**. Washington, DC: Central Intelligence Agency, 2020. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2233rank.html>. Acesso em: 11 mai 2020.

TIDWELL, Vincent; MORELAND, Barbie. Mapping water consumption for energy production around the Pacific Rim. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 9, p. 094008, 2016.

UNESCO, 2015. Water for a sustainable World. The United Nations World Water Development Report 2015. WWDR. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>. Acesso em: 10 mai 2019.

UNITED NATIONS, 2019. United Nations Development Programme. Human Development Reports. 2019 Human Development Index Ranking. **Human Development Report Office**. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/content/2019-human-development-index-ranking>. Acesso em: 17 jan 2020.

VAN DER ELST, Kristel; DAVE, Nicholas. Global Risks 2011. In: **World Economic Forum**: Cologne, Germany, 2011.

VOELKER, Thomas et al. The role of metrics in the governance of the water-energy-food nexus within the European Commission. **Journal of Rural Studies**, 2019.

WEF, 2011. WORLD ECONOMIC FORUM. Water security: The water-energy-food-climate nexus. Disponível em: <http://www.weforum.org/reports/water-security-water-energy-food-climate-nexus>. Acesso em: 10 out 2019.

WEF, 2014. WORLD ECONOMIC FORUM. Part 1: global risks 2014: understanding systemic risks in a changing global environment. <http://reports.weforum.org/globalrisks-2014/part-1-global-risks-2014-understanding-systemic-risks-in-a-changing-globalenvironment/>. Acesso em: 6 ago 2020.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987. Our Common Future. Disponível em: www.un-documents.net/our-common-future.pdf. Acesso em: 15 mai 2021.

WORLD OIL OUTLOOK, 2018. **Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC)**, World Oil Outlook 2040. Disponível em: <https://woo.opec.org/pdf-download/index.php>. Acesso em: 18 mai 2020.

WORLDOMETER, 2020. Disponível em: <https://www.worldometers.info/water/>. Acesso em: 18 mai 2020.

YANG, Jie, et al. Quantifying the Sustainability of Water Availability for the Water-Food-Energy-Ecosystem Nexus in the Niger River Basin. **Earth's future**, v. 6, n. 9, p. 1292-1310, 2018.

YI, Jialin et al. Sustainability assessment of the water-energy-food nexus in Jiangsu Province, China. **Habitat International**, v. 95, p. 102094, 2020.

YUAN, Mei-Hua; CHIUEH, Pei-Te; LO, Shang-Lien. Measuring urban food-energy-water nexus sustainability: Finding solutions for cities. **Science of The Total Environment**, v. 752, p. 141954, 2020.

ZHANG, Chi et al. Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 625-639, 2018.

ZHANG, Pengpeng, et al. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 142, p. 215-224, 2019.

Anexo 1. Aquisição alimentar domiciliar per capita anual, por Grandes Regiões, segundo os grupos de produtos - Brasil - período 2017-2018.

Grupos de produtos	Aquisição alimentar domiciliar per capita anual (kg)					
	Grandes Regiões					
	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Cereais e leguminosas	27,757	26,644	31,906	26,245	22,345	32,661
Hortaliças	23,775	11,594	21,124	25,011	31,333	25,946
Frutas	26,414	13,851	23,876	26,61	31,931	27,136
Cocos, castanhas e nozes	1,154	9,53	0,381	0,346	0,438	0,317
Farinhas, féculas e massas	11,935	17,889	15,305	8,203	15,234	7,675
Panificados	17,723	14,371	19,297	18,17	17,229	14,331
Carnes	20,762	21,511	18,664	19,66	25,566	24,503
Vísceras	0,562	0,751	0,822	0,424	0,388	0,511
Pescados	2,796	9,855	4,083	1,367	1,043	1,45
Aves e ovos	15,764	19,907	18,811	12,777	16,924	14,563
Laticínios	32,211	12,304	20,061	38,449	48,271	33,44
Açúcares, doces e produtos de confeitaria	14,14	12,176	14,332	14,006	15,806	13,294
Sais e condimentos	4,506	3,285	3,436	4,87	6,492	3,974
Óleos e gorduras	6,642	5,494	5,304	7,197	7,735	7,592
Bebidas e infusões	52,475	35,738	67,517	47,412	55,195	40,473
Alimentos preparados e misturas industriais	3,992	2,635	2,412	5,118	4,617	3,768
Outros produtos	0,008	0,014	0,005	0,005	0,016	0,013

Fonte: IBGE, 2020.

Anexo 2. Rubrica do índice de complexidade.

Critério	Justificativa	Pontuação
1. A ferramenta é de acesso aberto	O custo é uma consideração significativa na definição da usabilidade de uma ferramenta (Fortmann-Roe, 2014). O acesso aberto fornece às partes interessadas um maior incentivo para utilizar uma determinada ferramenta. Junto com incentivos mais elevados, o acesso aberto pode fornecer a novos usuários e não especialistas tempo “para experimentar e aprender sobre uma ferramenta de simulação e modelagem” sem o ônus do custo (Fortmann-Roe, 2014).	[Sim - 0] [Não-1]
2. A ferramenta possui uma interface web	Ferramentas construídas com interfaces da web podem atingir um público maior e mais amplo. Isso se traduz em um maior número de usuários de ferramentas de gestão de nexos, aumentando o potencial de trazer benefícios para a sociedade, resultados mais sustentáveis na gestão de recursos e maior compreensão dos sistemas de nexos (Fortmann-Roe, 2014; Kaddoura e El Khatib, 2017). Além disso, a acessibilidade da interface da web supera os problemas de downloads de arquivos grandes e potencialmente maliciosos relacionados a pacotes de software (Fortmann-Roe, 2014). Ferramentas sem interface (ou seja, uma estrutura) exigem que o usuário final “faça a conexão entre a descrição da ferramenta e os próprios dados necessários” (Mannschatz e Meyer, 2015).	[Sim - 0] [Não-1]
3. Granularidade de dados	A granularidade de dados é a extensão dos detalhes e o foco de um ponto de dados. Em geral, os dados mais granulares permitem a obtenção de uma modelagem de sistema (s) mais precisa e completa. A desvantagem dos requisitos de dados estreitos é que eles geralmente são mais difíceis de encontrar em ambientes de código aberto e geralmente requerem o uso de ferramentas de modelagem adicionais para derivar estimativas (McCarl et al., 2017). Dados gerais referem-se a pontos de dados comumente abordados em avaliações e relatórios nacionais normalmente encontrados em bancos de dados internacionais, como os do Banco Mundial e das Nações Unidas. Exemplos de dados gerais incluem dados demográficos, produto interno bruto, importação/exportação.	Baixo [1] = alto nível; dados em nível nacional Médio [3] = geral, mas com mais dados específicos do setor Alto [4] = dados localizados do setor e dados técnicos localizados
4. Acessibilidade de dados	A acessibilidade aos dados é um grande desafio para uma modelagem precisa: os requisitos de entrada de dados para modelos de nexos geralmente superam os dados disponíveis em um ambiente de acesso aberto (McCarl et al., 2017). A acessibilidade está altamente relacionada à granularidade dos dados (pontos de dados mais difíceis de encontrar são mais provavelmente mais detalhados e difíceis de medir). Onde os dados não estão acessíveis, os dados podem ser obtidos usando métodos mais caros e demorados, como observação, experimentação, estimativa por meio do uso de outros modelos e engenharia de dados (McCarl et al., 2017).	Alto [1] = existem dados para a maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento Médio [2] = os dados são difíceis de encontrar para os países em desenvolvimento Baixo [3] = os dados são difíceis de encontrar; a derivação precisa de outras ferramentas de modelagem.

Anexo 2 (continuação).

Critério	Justificativa	Pontuação
5. Número de entrada de dados (por usuário)	Os parâmetros são definidos como os requisitos de dados de entrada para o desenvolvimento e análise do cenário. O número médio de entradas de dados pelo usuário para as ferramentas sendo avaliadas é 15.	Baixo [1]: 0–15 Médio [2]: 16–32 Alto [3]: 33+
6. Experiência no assunto	Com base em relatórios do desenvolvedor, descrição da ferramenta e público-alvo.	Baixo [1]: especialização não necessária Média [2]: requer compreensão do assunto geral Alta [3]: especialização e alta habilidade necessárias.
7. Intensidade de treinamento (para uso da ferramenta)	De uma perspectiva organizacional, o tempo para treinamento vem com custos de oportunidade, como investimento potencial em recursos de ensino e tempo longe de outras tarefas do projeto. O treinamento pode incluir módulos de tutorial online autodirigidos ou aulas de instrução presenciais. O tempo necessário para aprender e aplicar uma ferramenta com eficácia varia de acordo com a formação do usuário, tornando o tempo necessário dependente das medidas definidas. Os tempos de treinamento são derivados das documentações do modelo.	Baixo [1]: 1 dia Médio [2]: 2–3 dias Alto [3]: 1 semana
8. Cenários definidos pelo usuário	Algumas ferramentas têm cenários predefinidos que podem ser selecionados e incluídos na avaliação da modelagem para capturar diferentes externalidades, como crescimento populacional e projeções de mudanças climáticas. Outras ferramentas têm cenários definidos pelo usuário que fornecem ao usuário maior flexibilidade, mas podem exigir mais dados e tempo para definir os cenários de forma independente. Portanto, os cenários definidos pelo usuário aumentam a complexidade.	[Sim - 1] [Não/N-A - 0]

Fonte: Dargin, Daher e Mohtar, 2019.

Apêndice A. Coeficientes de Consumo direto e indireto de Água (em m³H₂O_{eq.}), de Energia Incorporada (em MJ_{eq.}) e Potencial de Aquecimento Global (em kgCO_{2-eq.}).

Descrição	Unidade	Valores para:			Nome	Produto Referência
		m ³ H ₂ O _{eq.} ^a	MJ _{eq.} ^b	kgCO _{2-eq.} ^c		
Cereais	kg (arroz)	0,9742	6,1292	2,7001	market for rice, non-basmati, GLO, (Author: [System] inactive)	rice, non-basmati [kg]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 17 entradas para arroz (principal alimento neste grupo). Como não havia dados para o Brasil, considerou-se valores Globais. Adotando a entrada que mais se aproximou da realidade brasileira.				
	kg (pão)	0,20479	8,4828	1,1449	market for breadcrumbs, GLO, (Author: [System] inactive)	breadcrumbs [kg]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 6 entradas para pão. Como não há dados para o Brasil, considerou-se valores Globais e o que mais se aproxima da realidade brasileira.				
	kg (milho)	0,019843	3,0775	0,53422	market for maize grain, organic, GLO, (Author: [System] inactive)	maize grain, organic [kg]
		Entrando com a palavra "corn" na base de dados, resultou em 35 entradas, destas apenas 3 eram valores globais (GLO) e nenhuma delas representam realmente o alimento milho para consumo. Logo, para a entrada "maize", que também significa milho em inglês, há 98 entradas. Destas, 18 são entradas globais (GLO) e 10 representam o valor buscado, porém para diferentes processos. Optou-se por obter o valor para grão de milho (maize grain, organic), o qual entende-se que é a melhor opção para este estudo.				
kg (milho)	0,18306	5,8426	0,71149	market for wheat grain, feed, GLO, (Author: [System] inactive)	wheat grain, feed [kg]	
	Para o trigo (wheat) há 59 entradas. Utilizamos o filtro para obter valores globais (GLO) e isso reduziu para 7 o número de entradas. E apenas 1 representa o trigo para consumo na forma de alimento, as outras entradas eram para semear o alimento.					
Carnes	kg (carne vermelha)	0,54672	13,624	35,072	cattle for slaughtering, live weight to generic market for red meat live weight, GLO, (Author: Emilia Moreno Ruiz inactive)	red meat, live weight [kg]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 15 entradas para Carne. Não havia valores para o Brasil. Considerou-se então dados globais. A maior parte do consumo de carnes é de origem bovina. Considerando carne vermelha, as entradas reduziram para 3.				
	kg (frango)	0,16883	14,572	2,4097	market for chicken for slaughtering, live weight, GLO, (Author: [System] inactive)	chicken for slaughtering, live weight [kg]
Aves são responsáveis pela segunda maior parte do consumo de carnes. A base de dados do Ecoinvent possui apenas 3 entradas para este item e apenas 1 se mostrou com as características semelhantes ao consumido no país.						
Frutas e verduras	kg (laranja)	0,11414	2,6876	0,3511	market for orange, fresh grade, GLO, (Author: [System] inactive)	orange, fresh grade [kg]
O banco de dados do Ecoinvent possui 11 entradas para Laranja. Filtrando para fruto fresco (pronto para consumo) as entradas reduziram para 5. Não havia dados para o Brasil, assim considerou-se valores Globais.						

Apêndice A (continuação).

Descrição	Unidade	Valores para:			Nome	Produto Referência
		m ³ H ₂ O _{eq.} ^a	MJ _{eq.} ^b	kgCO _{2-eq.} ^c		
Frutas e verduras	kg (banana)	0,1869	2,6056	0,34355	market for banana, GLO, (Author: Guillaume Bourgault inactive)	banana [kg]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 06 entradas para Banana. Não havia dados para o Brasil, assim considerou-se valores Globais. E apenas 1 atende ao procurado.				
	kg (chá)	2,6292	11,3870	2,24160	market for tea, dried, GLO, (Author: [System] inactive)	tea, dried [kg]
		Há 46 entradas para "tea" no Ecoinvent, porém apenas 6 se referem à bebida (como a consumido no Brasil). Todos com as mesmas características, logo considerou-se o único dado com valor GLO, por não haver dados para o Brasil.				
	kg (café)	0,36041	41,917	8,9962	market for coffee, green bean, GLO, (Author: [System] inactive)	coffee, green bean [kg]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 13 entradas para Café. Por não haver dados para o café tostado, considerou-se o café verde. Assim, uma das entradas se aproximou deste trabalho.				
	kg (maça)	0,17661	3,0108	0,34149	market for apple, GLO, (Author: [System] inactive)	apple [kg]
		Há 9 entradas para maçã no ecoinvent, destas apenas 1 representa o mercado para maçã (a fruta como produto alimentar).				
	kg (uva)	0,1249	3,1665	0,32086	market for grape, GLO, (Author: [System] inactive)	grape [kg]
		Para uva (grape) há 3 entradas no ecoinvent, apenas 1 representa o alimento para consumo.				
	kg (manga)	0,24081	0,92747	0,11059	market for mango, BR, (Author: Avraam Symeonidis inactive)	mango [kg]
		Há 12 entradas para manga (mango) no ecoinvent, destas apenas 1 inclui todos os processos na sua cadeia até o consumo. Este é um valor para o BR não há GLO.				
	kg (melão)	0,037261	2,5391	0,28146	market for melon, GLO, (Author: [System] inactive)	melon [kg]
		Só há 1 entrada para melão no ecoinvent. Esta representa todo sistema até o consumo final, logo, foi considerada.				
	kg (abacaxi)	0,012934	2,3212	0,26364	market for pineapple, GLO, (Author: [System] inactive)	pineapple [kg]
	Há apenas 2 entradas para abacaxi (pineapple) no ecoinvent, destas apenas 1 representa o alimento para consumo.					
kg (couve-flor)	0,019184	4,8381	0,55645	market for cauliflower, GLO, (Author: [System] inactive)	cauliflower [kg]	
	Há 2 entradas para couve-flor no ecoinvent, e 1 representa o alimento para consumo.					
kg (espinafre)	0,0064016	2,065	0,26401	market for spinach, GLO, (Author: [System] inactive)	spinach [kg]	
	Há 2 entradas para espinafre no ecoinvent, e 1 representa o alimento para consumo.					
kg (brócolis)	0,023977	5,2258	0,60099	market for broccoli, GLO, (Author: [System] inactive)	broccoli [kg]	
	Há 2 entradas para brócolis (broccoli) no ecoinvent, e 1 representa o alimento para consumo.					

Apêndice A (continuação).

Descrição	Unidade	Valores para:			Nome	Produto Referência
		m ³ H ₂ O _{eq.} ^a	MJ _{eq.} ^b	kgCO _{2-eq.} ^c		
Peixe		0,0015334	35,431	2,8572	market for marine fish, GLO, (Author: Avraam Symeonidis inactive)	fish, marine [kg]
	kg	O banco de dados do Ecoinvent possui 107 entradas para Peixe. Não havia valores para o Brasil. Considerou-se então dados globais mais próximos da realidade encontrada na região. Santos é um município litorâneo, contudo, impulsiona a pesca marítima, de forma que contribui para o maior consumo de pescados provenientes de água salgadas. Considerou-se apenas peixes de origem marinha, reduzindo para 7 entradas.				
Lácteos		0,040593	7,4579	2,5197	market for cow milk, GLO, (Author: Guillaume Bourgault inactive)	cow milk [kg]
	kg (leite)	Não há dados para a entrada "lácteos" no ecoinvent. Portanto, considerou-se leite por ser a base deste grupo de alimentos. Para este existe 55 entradas na base de dados. Não há informações para o Brasil. Considerou-se então valores globais, reduzindo para 23 entradas. Destes apenas 1 foi julgado ter descrição semelhante às estudadas neste trabalho.				
	kg (yogurt)	0,047161	11,291	2,7401	market for yogurt, from cow milk, GLO, (Author: [System] inactive)	yogurt, from cow milk [kg]
		Há 7 entradas no Ecoinvent para yogurt. Não havia dados para o Brasil. Apenas 1 deles estava dentro das características procuradas.				
kg (queijo)	0,29567	72,396	18,7770	market for cheese, from cow milk, fresh, unripened, GLO, (Author: [System] inactive)	cheese, from cow milk, fresh, unripened [kg]	
	Há 5 entradas para queijo na base de dados do Ecoinvent. Nenhum deles possuía as características do utilizado para este trabalho. Porém, utilizou-se o valor daquele que tinha maior similaridade com o consumido na região.					
Legumes	kg (feijão)	0,0010406	4,0151	0,78283	market for fava bean, organic, GLO, (Author: [System] inactive)	fava bean, organic [kg]
		Na base de dados do Ecoinvent só havia 3 entradas para legumes, porém, nenhuma delas atende às especificações deste trabalho (referente ao consumo e produção). Considerou-se então o feijão, pois é o responsável pelo maior consumo dentre os legumes, em geral, aproximadamente 75%. Para este há 197 entradas na base de dados. Das espécies de feijão que mais se aproximam do consumido no Brasil foi considerado "Fava Bean", pois este possui um processo de produção semelhante às demais espécies.				
	kg (pepino)	0,024072	29,515	4,2598	market for cucumber, GLO, (Author: [System] inactive)	cucumber [kg]
		Há 2 entradas para pepino (cucumber) no ecoinvent, e apenas 1 representa o sistema completo do alimento até consumo final.				
kg (tomate)	0,05592	6,1128	0,58421	market for tomato, fresh grade, GLO, (Author: [System] inactive)	tomato, fresh grade [kg]	
	Há 19 entradas para tomate (tomato) no ecoinvent. Apenas 1 se aproxima do sistema buscado que foi então considerado.					

Apêndice A (continuação).

Descrição	Unidade	Valores para:			Nome	Produto Referência
		m ³ H ₂ O _{eq.} ^a	MJ _{eq.} ^b	kgCO _{2-eq.} ^c		
Raízes e tubérculos	kg (batata)	0,080338	3,0467	0,38277	market for potato, GLO, (Author: [System] inactive)	potato [kg]
		Não há entradas para raízes e tubérculos na base de dados do Ecoinvent. A batata é o alimento mais consumido nesse grupo. Dessa forma, considerou-se batata como pesquisa e obtivemos 50 dados para este item. Não havia dados para o Brasil, portanto, foi adotado apenas dados globais, reduzindo para 15 entradas.				
	kg (cenoura)	0,05592	6,1128	0,58421	market for tomato, fresh grade, GLO, (Author: [System] inactive)	tomato, fresh grade [kg]
Açúcares	kg	Há 12 entradas para cenoura (carrot) no ecoinvent. Não há valores para o Brasil (BR), então foi considerado valores GLO, reduzindo a busca para 5 entradas. Entende-se que 1 delas representa o procurado.				
		0,13973	5,2448	1,0472	market for sugar, from sugarcane, GLO, (Author: [System] inactive)	sugar, from sugarcane [kg]
Azeites vegetais	kg	Considerando todo o processo de produção do açúcar até o consumidor final havia apenas 33 entradas na base de dados do Ecoinvent. Valor filtrado de 148 entradas. Considerando a origem da cana-de-açúcar reduziu para 5 entradas.				
		0,075234	24,924	9,4773	soybean oil, refined, to generic market for vegetable oil, refined, GLO, (Author: Tereza Levova active)	vegetable oil, refined [kg]
Eletricidade BR	MWh	A base de dados do Ecoinvent possui 25 entradas para azeites vegetais. Considerando de origem da soja, reduziu para 4 o número de entradas e um deles foi julgado como o ideal para este trabalho.				
		0,0009666	9,3235	0,59141	electricity production, natural gas, conventional power plant, BR-South-eastern grid, (Author: Henrique Rogério Antunes de Souza Junior active)	electricity, high voltage [kWh]
Eletricidade GLO	MWh	O banco de dados do Ecoinvent possui 3577 entradas para eletricidade. Considerou-se apenas valores para o Brasil (BR), isso reduziu o número de itens para 224. Para a rede da região Sudeste do Brasil restaram apenas 15 entradas.				
		0,0044058	8,0906	0,76897	market group for electricity, high voltage, GLO, (Author: [System] inactive)	electricity, high voltage [kWh]
Gás natural	m ³	O banco de dados do Ecoinvent possui 3603 entradas para eletricidade. Considerou-se valores Globais (GLO), reduzindo o número de entradas para 47. Filtrando para a unidade de Wh restaram 15 entradas. Das 15 entende-se que 6 representam a descrição buscada para geração de energia elétrica para regiões fora do Brasil.				
		0,0003782	43,326	0,64336	market group for natural gas, high pressure, GLO, (Author: [System] inactive)	natural gas, high pressure [m3]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 1265 entradas para Gás Natural. Filtrou-se os dados para o Brasil (BR), isso reduziu o número de itens para 46, porém nenhum deles possuía semelhança com o utilizado neste trabalho. Considerou-se então valores Globais (GLO), filtrando para 79 entradas e filtrando valores em M ³ reduziu para 6 a quantidade de dados. Daqueles, 1 está mais bem qualificado para este estudo.				

Apêndice A (continuação).

Descrição	Unidade	Valores para:			Nome	Produto Referência
		m ³ H ₂ O _{eq.} ^a	MJ _{eq.} ^b	kgCO _{2-eq.} ^c		
Etanol	L	0,050531	3,3034	0,73843	sugarcane processing, traditional annexed plant, BR, (Author: Mateus Chagas active)	ethanol, without water, in 99.7% solution state, from fermentation [kg]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 113 entradas para o Etanol. Considerou-se apenas valores para o Brasil (BR), isso reduziu o número de itens para 10. E 1 estava próximo das características do consumido na região.				
Derivados de petróleo	toe ¹ (diesel)	0,001629	53,091	0,53477	market for diesel, BR, (Author: Axel Liebich inactive)	diesel [kg]
	toe ¹ (GLP)	0,0019827	58,513	0,70737	market for liquefied petroleum gas, BR, (Author: Axel Liebich inactive)	liquefied petroleum gas [kg]
		Há 27 entradas para o GLP. Filtrando os dados para o Brasil, este valor reduziu para 3 e apenas 1 julgou-se adequado para o estudo.				
Carvão	kg	0,0202	3,0747	3,3374	market for charcoal, GLO, (Author: [System] inactive)	charcoal [kg]
Água	L	1,337E-05	0,0024112	0,0002319	tap water production, conventional treatment, BR, (Author: Laura Rubio active) (#447)	tap water [kg]
		O banco de dados do Ecoinvent possui 734 entradas para Gás Natural. Considerou-se apenas valores para o Brasil (BR), isso reduziu o número de itens para 52. A quantidade foi reduzida à 14 quando considerado apenas valores para água potável.				

Fonte de dados: Ecoinvent Database (www.ecoinvent.ch), version 3.6 (2019), Allocation at the point of substitution.

a Fatores do consumo direto e indireto de água, método "ReCiPe Midpoint (H) V1.13", "water depletion".

b Fatores de energia incorporada incluem apenas energia fóssil; método "cumulative energy demand", "fossil".

c Fatores de intensidade de potencial de aquecimento global (GWP) considerados para um impacto causado em 20 anos; método "CML2001", "climate change".

Nota: ¹tonelada de óleo equivalente (do inglês "tonne of oil equivalent").

Apêndice B: Critérios estabelecidos para definir os limites inferior e superior, mínimo e máximo: Alimento.

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (kcal/pessoa.dia)	Consumo (kcal/pessoa.ano)
1	Norway	0.954	3385	1,24E+06
2	Switzerland	0.946	3413	1,25E+06
3	Ireland	0.942	3717	1,36E+06
4	Germany	0.939	3556	1,30E+06
4	Hong Kong, China (SAR)	0.939	3194	1,17E+06
6	Australia	0.938	3311	1,21E+06
6	Iceland	0.938	3628	1,32E+06
8	Sweden	0.937	3219	1,17E+06
9	Singapore	0.935	sem dados	sem dados
10	Netherlands	0.933	3249	1,19E+06
11	Denmark	0.930	3384	1,24E+06
12	Finland	0.925	3337	1,22E+06
13	Canada	0.922	3492	1,27E+06
14	New Zealand	0.921	3156	1,15E+06
15	United Kingdom	0.920	3428	1,25E+06
15	United States	0.920	3766	1,37E+06
17	Belgium	0.919	3768	1,38E+06
18	Liechtenstein	0.917	sem dados	sem dados
19	Japan	0.915	2697	9,84E+05
20	Austria	0.914	3692	1,35E+06
21	Luxembourg	0.909	3335	1,22E+06
22	Israel	0.906	3509	1,28E+06
22	Korea (Republic of)*	0.906	sem dados	sem dados
24	Slovenia	0.902	3195	1,17E+06
25	Spain	0.893	3270	1,19E+06
26	Czechia	0.891	3276	1,20E+06
26	France	0.891	3558	1,30E+06
28	Malta	0.885	3460	1,26E+06
29	Italy	0.883	3522	1,29E+06
30	Estonia	0.882	3245	1,18E+06
31	Cyprus	0.873	2616	9,55E+05
32	Greece	0.872	3355	1,22E+06
32	Poland	0.872	3525	1,29E+06
34	Lithuania	0.869	3419	1,25E+06
35	United Arab Emirates	0.866	3366	1,23E+06
36	Andorra	0.857	sem dados	sem dados
36	Saudi Arabia	0.857	3194	1,17E+06
36	Slovakia	0.857	2769	1,01E+06
39	Latvia	0.854	3169	1,16E+06
40	Portugal	0.850	3492	1,27E+06
41	Qatar	0.848	sem dados	sem dados
42	Chile	0.847	3011	1,10E+06
43	Brunei Darussalam	0.845	sem dados	sem dados
43	Hungary	0.845	3286	1,20E+06
45	Bahrain	0.838	sem dados	sem dados
46	Croatia	0.837	3083	1,13E+06
47	Oman	0.834	2931	1,07E+06
48	Argentina	0.830	3239	1,18E+06
49	Russian Federation	0.824	3362	1,23E+06
50	Belarus	0.817	3289	1,20E+06
50	Kazakhstan	0.817	3196	1,17E+06

Apêndice B (continuação).

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (kcal/pessoa.dia)	Consumo (kcal/pessoa.ano)
52	Bulgaria	0.816	2828	1,03E+06
52	Montenegro	0.816	3481	1,27E+06
52	Romania	0.816	3525	1,29E+06
55	Palau	0.814	sem dados	sem dados
56	Barbados	0.813	2896	1,06E+06
57	Kuwait	0.808	3446	1,26E+06
57	Uruguay	0.808	3153	1,15E+06
59	Turkey	0.806	3540	1,29E+06
60	Bahamas	0.805	2043	7,46E+05
61	Malaysia	0.804	2909	1,06E+06
62	Seychelles	0.801	sem dados	sem dados
63	Serbia	0.799	2805	1,02E+06
63	Trinidad and Tobago	0.799	3043	1,11E+06
65	Iran (Islamic Republic of)	0.797	3119	1,14E+06
66	Mauritius	0.796	3127	1,14E+06
67	Panama	0.795	2839	1,04E+06
68	Costa Rica	0.794	3015	1,10E+06
69	Albania	0.791	3400	1,24E+06
70	Georgia	0.786	2872	1,05E+06
71	Sri Lanka	0.780	2613	9,54E+05
72	Cuba	0.778	3410	1,24E+06
73	Saint Kitts and Nevis	0.777	2515	9,18E+05
74	Antigua and Barbuda	0.776	2430	8,87E+05
75	Bosnia and Herzegovina	0.769	3269	1,19E+06
76	Mexico	0.767	3260	1,19E+06
77	Thailand	0.765	2827	1,03E+06
78	Grenada	0.763	2404	8,77E+05
79	Brazil	0.761	3248	1,19E+06
79	Colombia	0.761	3094	1,13E+06
81	Armenia	0.760	3078	1,12E+06
82	Algeria	0.759	3349	1,22E+06
82	North Macedonia	0.759	3000	1,10E+06
82	Peru	0.759	2769	1,01E+06
85	China	0.758	3194	1,17E+06
85	Ecuador	0.758	2586	9,44E+05
87	Azerbaijan	0.754	3103	1,13E+06
88	Ukraine	0.750	3035	1,11E+06
89	Dominican Republic	0.745	2864	1,05E+06
89	Saint Lucia	0.745	2661	9,71E+05
91	Tunisia	0.739	3467	1,27E+06
92	Mongolia	0.735	2371	8,65E+05
93	Lebanon	0.730	2880	1,05E+06
94	Botswana	0.728	2340	8,54E+05
94	Saint Vincent and the Grenadines	0.728	2960	1,08E+06
96	Jamaica	0.726	2757	1,01E+06
96	Venezuela (Bolivarian Republic of)	0.726	2247	8,20E+05
98	Dominica	0.724	2944	1,07E+06
98	Fiji	0.724	2937	1,07E+06
98	Paraguay	0.724	2740	1,00E+06
98	Suriname	0.724	2693	9,83E+05

Apêndice B (continuação).

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (kcal/pessoa.dia)	Consumo (kcal/pessoa.ano)
102	Jordan	0.723	2714	9,91E+05
103	Belize	0.720	2698	9,85E+05
104	Maldives	0.719	2252	8,22E+05
105	Tonga	0.717	sem dados	sem dados
106	Philippines	0.712	2674	9,76E+05
107	Moldova (Republic of)	0.711	2395	8,74E+05
108	Turkmenistan	0.710	2871	1,05E+06
108	Uzbekistan	0.710	3022	1,10E+06
110	Libya	0.708	sem dados	sem dados
111	Indonesia	0.707	2892	1,06E+06
111	Samoa	0.707	sem dados	sem dados
113	South Africa	0.705	2994	1,09E+06
114	Bolivia (Plurinational State of)	0.703	2354	8,59E+05
115	Gabon	0.702	2643	9,65E+05
116	Egypt	0.700	3321	1,21E+06
Mediana (em kcal/pessoa.dia) amostra 1 a 116			3140	
117	Marshall Islands	0.698	sem dados	sem dados
118	Vietnam	0.693	2938	1,07E+06
119	Palestine, State of	0.690	sem dados	sem dados
120	Iraq	0.689	2506	9,15E+05
121	Morocco	0.676	3380	1,23E+06
122	Kyrgyzstan	0.674	2798	1,02E+06
123	Guyana	0.670	2885	1,05E+06
124	El Salvador	0.667	2660	9,71E+05
125	Tajikistan	0.656	2104	7,68E+05
126	Cabo Verde	0.651	2515	9,18E+05
126	Guatemala	0.651	2549	9,30E+05
126	Nicaragua	0.651	2629	9,60E+05
129	India	0.647	2517	9,19E+05
130	Namibia	0.645	2431	8,87E+05
131	East Timor	0.626	2140	7,81E+05
132	Honduras	0.623	2552	9,31E+05
132	Kiribati	0.623	sem dados	sem dados
134	Bhutan	0.617	sem dados	sem dados
135	Bangladesh	0.614	2596	9,48E+05
135	Micronesia (Federated States of)	0.614	sem dados	sem dados
137	Sao Tome and Principe	0.609	2418	8,83E+05
138	Congo	0.608	2309	8,43E+05
138	Eswatini (Kingdom of)	0.608	2405	8,78E+05
140	Lao People's Democratic Republic (Laos)	0.604	3047	1,11E+06
141	Vanuatu	0.597	2623	9,57E+05
142	Ghana	0.596	3033	1,11E+06
143	Zambia	0.591	2013	7,35E+05
144	Equatorial Guinea	0.588	sem dados	sem dados
145	Myanmar	0.584	2701	9,86E+05
146	Cambodia	0.581	2472	9,02E+05
147	Kenya	0.579	2124	7,75E+05
147	Nepal	0.579	2866	1,05E+06
149	Angola	0.574	2270	8,29E+05

Apêndice B (continuação).

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (kcal/pessoa.dia)	Consumo (kcal/pessoa.ano)
150	Cameroon	0.563	2653	9,68E+05
150	Zimbabwe	0.563	2173	7,93E+05
152	Pakistan	0.560	2326	8,49E+05
153	Solomon Islands	0.557	2411	8,80E+05
154	Syrian Arab Republic	0.549	sem dados	sem dados
155	Papua New Guinea	0.543	sem dados	sem dados
156	Comoros	0.538	sem dados	sem dados
157	Rwanda	0.536	2215	8,08E+05
158	Nigeria	0.534	2464	8,99E+05
159	Tanzania (United Republic of)	0.528	2396	8,75E+05
159	Uganda	0.528	2144	7,83E+05
161	Mauritania	0.527	2842	1,04E+06
162	Madagascar	0.521	1903	6,95E+05
163	Benin	0.520	2756	1,01E+06
164	Lesotho	0.518	2282	8,33E+05
165	Côte d'Ivoire	0.516	2730	9,96E+05
166	Senegal	0.514	2612	9,53E+05
167	Togo	0.513	2429	8,87E+05
168	Sudan	0.507	2433	8,88E+05
169	Haiti	0.503	2164	7,90E+05
170	Afghanistan	0.496	2000	7,30E+05
171	Djibouti	0.495	2680	9,78E+05
172	Malawi	0.485	2647	9,66E+05
173	Ethiopia	0.470	2304	8,41E+05
174	Gambia	0.466	2540	9,27E+05
174	Guinea	0.466	2795	1,02E+06
176	Liberia	0.465	2132	7,78E+05
177	Yemen	0.463	2063	7,53E+05
178	Guinea-Bissau	0.461	2253	8,22E+05
179	Congo (Democratic Republic of the)	0.459	sem dados	sem dados
180	Mozambique	0.446	2304	8,41E+05
181	Sierra Leone	0.438	2449	8,94E+05
182	Burkina Faso	0.434	2720	9,93E+05
182	Eritrea	0.434	sem dados	sem dados
184	Mali	0.427	2926	1,07E+06
185	Burundi	0.423	sem dados	sem dados
186	South Sudan	0.413	sem dados	sem dados
187	Chad	0.401	2090	7,63E+05
188	Central African Republic	0.381	1758	6,42E+05
189	Niger	0.377	2579	9,41E+05
Mediana (em kcal/pessoa.dia) amostra 117 a 189			2464	

Apêndice C: Critérios estabelecidos para definir os limites inferior e superior, mínimo e máximo: Água.

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (L/pessoa.dia)	Consumo (L/pessoa.ano)	Consumo sem "outliers" (L/pessoa.dia)
1	Norway	0.954	1757	6,41E+05	1757
2	Switzerland	0.946	686	2,50E+05	686
3	Ireland	0.942	461	1,68E+05	461
4	Germany	0.939	855	3,12E+05	855
4	Hong Kong, China (SAR)	0.939		sem dados	
6	Australia	0.938	1821	6,65E+05	1821
6	Iceland	0.938	2309	8,43E+05	2309
8	Sweden	0.937	785	2,87E+05	785
9	Singapore	0.935		sem dados	
10	Netherlands	0.933	1447	5,28E+05	1447
11	Denmark	0.930	318	1,16E+05	318
12	Finland	0.925	3407	1,24E+06	3407
13	Canada	0.922	2717	9,92E+05	2717
14	New Zealand	0.921	3261	1,19E+06	3261
15	United Kingdom	0.920	348	1,27E+05	348
15	United States	0.920	3794	1,38E+06	3794
17	Belgium	0.919	1515	5,53E+05	1515
18	Liechtenstein	0.917		sem dados	
19	Japan	0.915	1736	6,34E+05	1736
20	Austria	0.914	1138	4,15E+05	1138
21	Luxembourg	0.909	208	7,59E+04	208
22	Israel	0.906	837	3,06E+05	837
22	Korea (Republic of)*	0.906	sem dados	sem dados	sem dados
24	Slovenia	0.902	1172	4,28E+05	1172
25	Spain	0.893	1924	7,02E+05	1924
26	Czechia	0.891	422	1,54E+05	422
26	France	0.891	1244	4,54E+05	1244
28	Malta	0.885	395	1,44E+05	395
29	Italy	0.883	1546	5,64E+05	1546
30	Estonia	0.882	3580	1,31E+06	3580
31	Cyprus	0.873	742	2,71E+05	742
32	Greece	0.872	2373	8,66E+05	2373
32	Poland	0.872	763	2,78E+05	763
34	Lithuania	0.869	2665	9,73E+05	2665
35	United Arab Emirates	0.866	2387	8,71E+05	2387
36	Andorra	0.857	sem dados	sem dados	sem dados
36	Saudi Arabia	0.857	1933	7,06E+05	1933
36	Slovakia	0.857	269	9,82E+04	269
39	Latvia	0.854	311	1,14E+05	311
40	Portugal	0.850	2371	8,65E+05	2371
41	Qatar	0.848	1406	5,13E+05	1406
42	Chile	0.847	5935	2,17E+06	"outlier"
43	Brunei Darussalam	0.845	sem dados	sem dados	sem dados
43	Hungary	0.845	1403	5,12E+05	1403
45	Bahrain	0.838	835	3,05E+05	835
46	Croatia	0.837	406	1,48E+05	406
47	Oman	0.834	1517	5,54E+05	1517

Apêndice C (continuação).

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (L/pessoa.dia)	Consumo (L/pessoa.ano)	Consumo sem "outliers" (L/pessoa.dia)
48	Argentina	0.830	2505	9,14E+05	2505
49	Russian Federation	0.824	1311	4,79E+05	1311
50	Belarus	0.817	421	1,54E+05	421
50	Kazakhstan	0.817	3499	1,28E+06	3499
52	Bulgaria	0.816	2142	7,82E+05	2142
52	Montenegro	0.816	706	2,58E+05	706
52	Romania	0.816	882	3,22E+05	882
55	Palau	0.814	sem dados	sem dados	sem dados
56	Barbados	0.813	803	2,93E+05	803
57	Kuwait	0.808	1171	4,27E+05	1171
57	Uruguay	0.808	3021	1,10E+06	3021
59	Turkey	0.806	2023	7,38E+05	2023
60	Bahamas	0.805	sem dados	sem dados	sem dados
61	Malaysia	0.804	1194	4,36E+05	1194
62	Seychelles	0.801	423	1,54E+05	423
63	Serbia	0.799	1457	5,32E+05	1457
63	Trinidad and Tobago	0.799	786	2,87E+05	786
65	Iran (Islamic Republic of)	0.797	3707	1,35E+06	3707
66	Mauritius	0.796	1643	6,00E+05	1643
67	Panama	0.795	822	3,00E+05	822
68	Costa Rica	0.794	1805	6,59E+05	1805
69	Albania	0.791	1173	4,28E+05	1173
70	Georgia	0.786	1206	4,40E+05	1206
71	Sri Lanka	0.780	1815	6,62E+05	1815
72	Cuba	0.778	1690	6,17E+05	1690
73	Saint Kitts and Nevis	0.777	857	3,13E+05	857
74	Antigua and Barbuda	0.776	348	1,27E+05	348
75	Bosnia and Herzegovina	0.769	254	9,27E+04	254
76	Mexico	0.767	1923	7,02E+05	1923
77	Thailand	0.765	2372	8,66E+05	2372
78	Grenada	0.763	355	1,30E+05	355
79	Brazil	0.761	844	3,08E+05	844
79	Colombia	0.761	729	2,66E+05	729
81	Armenia	0.760	2649	9,67E+05	2649
82	Algeria	0.759	674	2,46E+05	674
82	North Macedonia	0.759	731	2,67E+05	731
82	Peru	0.759	1310	4,78E+05	1310
85	China	0.758	1165	4,25E+05	1165
85	Ecuador	0.758	1965	7,17E+05	1965
87	Azerbaijan	0.754	3556	1,30E+06	3556
88	Ukraine	0.750	604	2,20E+05	604
89	Dominican Republic	0.745	2022	7,38E+05	2022
89	Saint Lucia	0.745	701	2,56E+05	701
91	Tunisia	0.739	1168	4,26E+05	1168

Apêndice C (continuação).

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (L/pessoa.dia)	Consumo (L/pessoa.ano)	Consumo sem "outliers" (L/pessoa.dia)
92	Mongolia	0.735	414	1,51E+05	414
93	Lebanon	0.730	772	2,82E+05	772
94	Botswana	0.728	255	9,31E+04	255
94	Saint Vincent and the Grenadines	0.728	214	7,81E+04	214
96	Jamaica	0.726	1276	4,66E+05	1276
96	Venezuela (Bolivarian Republic of)	0.726	2275	8,30E+05	2275
98	Dominica	0.724	773	2,82E+05	773
98	Fiji	0.724	283	1,03E+05	283
98	Paraguay	0.724	1030	3,76E+05	1030
98	Suriname	0.724	3339	1,22E+06	3339
102	Jordan	0.723	299	1,09E+05	299
103	Belize	0.720	1119	4,08E+05	1119
104	Maldives	0.719	47	1,72E+04	47
105	Tonga	0.717	sem dados	sem dados	sem dados
106	Philippines	0.712	2250	8,21E+05	2250
107	Moldova (Republic of)	0.711	706	2,58E+05	706
108	Turkmenistan	0.710	16281	5,94E+06	"outlier"
108	Uzbekistan	0.710	4754	1,74E+06	"outlier"
110	Libya	0.708	2541	9,27E+05	2541
111	Indonesia	0.707	2332	8,51E+05	2332
111	Samoa	0.707	sem dados	sem dados	sem dados
113	South Africa	0.705	791	2,89E+05	791
114	Bolivia (Plurinational State of)	0.703	579	2,11E+05	579
115	Gabon	0.702	274	1,00E+05	274
116	Egypt	0.700	2202	8,04E+05	2202
Mediana (em L/pessoa.dia) amostra 1 a 116 – sem "outliers"					1172
117	Marshall Islands	0.698	sem dados	sem dados	sem dados
118	Vietnam	0.693	2681	9,79E+05	2681
119	Palestine, State of	0.690	215	7,85E+04	215
120	Iraq	0.689	2885	1,05E+06	2885
121	Morocco	0.676	883	3,22E+05	883
122	Kyrgyzstan	0.674	4281	1,56E+06	4281
123	Guyana	0.670	5283	1,93E+06	"outlier"
124	El Salvador	0.667	959	3,50E+05	959
125	Tajikistan	0.656	4547	1,66E+06	"outlier"
126	Cabo Verde	0.651	138	5,04E+04	138
126	Guatemala	0.651	680	2,48E+05	680
126	Nicaragua	0.651	717	2,62E+05	717
129	India	0.647	1689	6,16E+05	1689
130	Namibia	0.645	426	1,55E+05	426
131	East Timor	0.626	3304	1,21E+06	3304
132	Honduras	0.623	620	2,26E+05	620
132	Kiribati	0.623	sem dados	sem dados	sem dados
134	Bhutan	0.617	1379	5,03E+05	1379

Apêndice C (continuação).

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (L/pessoa.dia)	Consumo (L/pessoa.ano)	Consumo sem "outliers" (L/pessoa.dia)
135	Bangladesh	0.614	681	2,49E+05	681
135	Micronesia (Federated States of)	0.614	sem dados	sem dados	sem dados
137	Sao Tome and Principe	0.609	551	2,01E+05	551
138	Congo	0.608	38	1,39E+04	38
138	Eswatini (Kingdom of)	0.608	2839	1,04E+06	2839
140	Lao People's Democratic Republic (Laos)	0.604	1664	6,07E+05	1664
141	Vanuatu	0.597	sem dados	sem dados	sem dados
142	Ghana	0.596	140	5,11E+04	140
143	Zambia	0.591	393	1,43E+05	393
144	Equatorial Guinea	0.588	79	2,88E+04	79
145	Myanmar	0.584	1949	7,11E+05	1949
146	Cambodia	0.581	444	1,62E+05	444
147	Kenya	0.579	225	8,21E+04	225
147	Nepal	0.579	998	3,64E+05	998
149	Angola	0.574	100	3,65E+04	100
150	Cameroon	0.563	171	6,24E+04	171
150	Zimbabwe	0.563	798	2,91E+05	798
152	Pakistan	0.560	2929	1,07E+06	2929
153	Solomon Islands	0.557	sem dados	sem dados	sem dados
154	Syrian Arab Republic	0.549	2501	9,13E+05	2501
155	Papua New Guinea	0.543	165	6,02E+04	165
156	Comoros	0.538	52	1,90E+04	52
157	Rwanda	0.536	52	1,90E+04	52
158	Nigeria	0.534	216	7,88E+04	216
159	Tanzania (United Republic of)	0.528	402	1,47E+05	402
159	Uganda	0.528	57	2,08E+04	57
161	Mauritania	0.527	1223	4,46E+05	1223
162	Madagascar	0.521	1968	7,18E+05	1968
163	Benin	0.520	50	1,83E+04	50
164	Lesotho	0.518	59	2,15E+04	59
165	Côte d'Ivoire	0.516	141	5,15E+04	141
166	Senegal	0.514	592	2,16E+05	592
167	Togo	0.513	89	3,25E+04	89
168	Sudan	0.507	2087	7,62E+05	2087
169	Haiti	0.503	405	1,48E+05	405
170	Afghanistan	0.496	2674	9,76E+05	2674
171	Djibouti	0.495	73	2,66E+04	73
172	Malawi	0.485	294	1,07E+05	294
173	Ethiopia	0.470	279	1,02E+05	279
174	Gambia	0.466	188	6,86E+04	188
174	Guinea	0.466	180	6,57E+04	180

Apêndice C (continuação).

Rank	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Consumo (L/pessoa.dia)	Consumo (L/pessoa.ano)	Consumo sem "outliers" (L/pessoa.dia)
176	Liberia	0.465	126	4,60E+04	126
177	Yemen	0.463	486	1,77E+05	486
178	Guinea-Bissau	0.461	399	1,46E+05	399
179	Congo (Democratic Republic of the)	0.459	34	1,24E+04	34
180	Mozambique	0.446	149	5,44E+04	149
181	Sierra Leone	0.438	103	3,76E+04	103
182	Burkina Faso	0.434	167	6,10E+04	167
182	Eritrea	0.434	79	2,88E+04	79
184	Mali	0.427	1076	3,93E+05	1076
185	Burundi	0.423	124	4,53E+04	124
186	South Sudan	0.413	183	6,68E+04	183
187	Chad	0.401	239	8,72E+04	239
188	Central African Republic	0.381	49	1,79E+04	49
189	Niger	0.377	230	8,40E+04	230
Mediana (em L/pessoa.dia) amostra 117 a 189 – sem "outliers"					343,5

Apêndice D: Critérios estabelecidos para definir os limites inferior e superior, mínimo e máximo: Energia.

Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m³/ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo total no país (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
1	Norway	0.954	1,22E+11	4,05E+09	2,05E+05	2,92E+11	5.337.962	54.638,41	149,694	"outlier"
2	Switzerland	0.946	5,85E+10	3,71E+09	2,24E+05	2,36E+11	8.525.611	27.672,67	75,816	75,816
3	Ireland	0.942	2,57E+10	5,24E+09	1,54E+05	1,75E+11	4.818.690	36.415,22	99,768	99,768
4	Germany	0.939	5,37E+11	9,34E+10	2,46E+06	3,03E+12	83.124.418	36.486,76	99,964	99,964
4	Hong Kong, China (SAR)	0.939	4,18E+10	3,37E+09	4,03E+05	3,27E+11	7.371.730	44.355,65	121,522	121,522
6	Australia	0.938	2,29E+11	4,53E+10	1,18E+06	1,43E+12	24.898.152	57.379,16	157,203	157,203
6	Iceland	0.938	1,77E+10	0,00E+00	2,09E+04	3,06E+10	336.713	90.930,33	249,124	"outlier"
8	Sweden	0.937	1,34E+11	7,65E+08	3,23E+05	3,42E+11	9.971.638	34.289,92	93,945	"outlier"
9	Singapore	0.935	4,77E+10	1,30E+10	1,32E+06	1,00E+12	5.757.499	174.164,04	477,162	"outlier"
10	Netherlands	0.933	1,09E+11	4,34E+10	9,55E+05	1,15E+12	17.059.560	67.515,54	184,974	"outlier"
11	Denmark	0.930	3,30E+10	3,12E+09	1,59E+05	1,64E+11	5.752.126	28.464,97	77,986	77,986
12	Finland	0.925	8,28E+10	2,35E+09	2,17E+05	2,42E+11	5.522.576	43.805,11	120,014	"outlier"
13	Canada	0.922	5,22E+11	1,24E+11	2,45E+06	3,33E+12	37.074.562	89.868,59	246,215	"outlier"
14	New Zealand	0.921	3,95E+10	5,18E+09	1,69E+05	1,98E+11	4.743.131	41.800,98	114,523	114,523
15	United Kingdom	0.920	3,09E+11	7,92E+10	1,58E+06	2,11E+12	67.141.684	31.495,31	86,289	86,289
15	United States	0.920	3,90E+12	7,68E+11	2,00E+07	2,43E+13	327.096.265	74.175,55	203,221	"outlier"
17	Belgium	0.919	8,22E+10	1,76E+10	6,49E+05	6,68E+11	11.482.178	58.140,90	159,290	159,290
18	Liechtenstein	0.917	3,94E+08	sem dados		3,94E+08	37.910	10.382,48	28,445	"outlier"
19	Japan	0.915	9,44E+11	1,27E+11	3,89E+06	4,68E+12	127.202.192	36.803,89	100,833	100,833
20	Austria	0.914	6,46E+10	9,49E+09	2,68E+05	3,29E+11	8.891.388	37.053,11	101,515	101,515
21	Luxembourg	0.909	6,48E+09	7,93E+08	5,99E+04	5,18E+10	604.245	85.808,10	235,091	"outlier"
22	Israel	0.906	5,50E+10	1,00E+10	2,42E+05	3,09E+11	8.381.516	36.882,73	101,049	101,049
22	Korea (Republic of)*	0.906					sem dados			
24	Slovenia	0.902	1,34E+10	9,06E+08	5,21E+04	5,52E+10	2.077.837	26.550,33	72,741	72,741
25	Spain	0.893	2,40E+11	3,13E+10	1,30E+06	1,37E+12	46.692.858	29.309,91	80,301	80,301
26	Czechia	0.891	6,23E+10	8,72E+09	2,14E+05	2,86E+11	10.665.677	26.772,99	73,351	73,351

Apêndice D (continuação).

Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m ³ /ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo total no país (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
26	France	0.891	4,51E+11	4,19E+10	1,71E+06	1,94E+12	64.990.511	29.910,30	81,946	81,946
28	Malta	0.885	8,13E+08	2,83E+08	4,50E+04	3,17E+10	439.248	72.118,59	197,585	"outlier"
29	Italy	0.883	2,94E+11	7,52E+10	1,24E+06	1,84E+12	60.627.291	30.369,93	83,205	83,205
30	Estonia	0.882	8,80E+09	4,81E+08	2,83E+04	3,14E+10	1.322.920	23.702,79	64,939	64,939
31	Cyprus	0.873	4,36E+09	0,00E+00	4,90E+04	3,48E+10	1.170.125	29.705,80	81,386	81,386
32	Greece	0.872	5,69E+10	4,93E+09	3,04E+05	2,97E+11	10.522.246	28.204,58	77,273	77,273
32	Poland	0.872	1,49E+11	2,01E+10	6,50E+05	7,61E+11	37.921.592	20.076,05	55,003	55,003
34	Lithuania	0.869	1,05E+10	2,49E+09	5,80E+04	7,24E+10	2.801.264	25.838,65	70,791	70,791
35	United Arab Emirates	0.866	1,13E+11	7,45E+10	8,96E+05	1,44E+12	9.630.959	149.830,89	410,496	"outlier"
36	Andorra	0.857	2,22E+08	0,00E+00	sem dado	2,22E+08	77.006	2.877,70	7,884	7,884
36	Saudi Arabia	0.857	2,96E+11	1,09E+11	3,29E+06	3,47E+12	33.702.756	103.000,79	282,194	"outlier"
36	Slovakia	0.857	2,66E+10	4,67E+09	8,59E+04	1,28E+11	5.453.014	23.559,56	64,547	64,547
39	Latvia	0.854	6,80E+09	1,22E+09	4,46E+04	4,71E+10	1.928.459	24.437,81	66,953	66,953
40	Portugal	0.850	4,69E+10	6,26E+09	2,47E+05	2,65E+11	10.256.193	25.872,00	70,882	70,882
41	Qatar	0.848	3,72E+10	3,99E+10	2,77E+05	6,24E+11	2.781.682	224.209,49	614,273	"outlier"
42	Chile	0.847	7,32E+10	5,13E+09	3,55E+05	3,46E+11	18.729.160	18.497,15	50,677	50,677
43	Brunei Darussalam	0.845	3,77E+09	3,94E+09	1,80E+04	5,58E+10	428.963	130.162,83	356,611	"outlier"
43	Hungary	0.845	3,94E+10	1,04E+10	1,68E+05	2,51E+11	9.707.499	25.895,44	70,946	70,946
45	Bahrain	0.838	2,61E+10	1,59E+10	6,10E+04	2,29E+11	1.569.446	145.948,06	399,858	"outlier"
46	Croatia	0.837	1,59E+10	2,58E+09	7,30E+04	8,80E+10	4.156.405	21.172,51	58,007	58,007
47	Oman	0.834	2,89E+10	2,19E+10	1,88E+05	3,74E+11	4.829.473	77.343,97	211,901	"outlier"
48	Argentina	0.830	1,21E+11	4,90E+10	8,06E+05	1,13E+12	44.361.150	25.487,36	69,828	69,828
49	Russian Federation	0.824	9,10E+11	4,68E+11	3,65E+06	8,03E+12	145.734.038	55.112,38	150,993	150,993
50	Belarus	0.817	3,17E+10	1,77E+10	1,41E+05	3,03E+11	9.452.617	32.066,62	87,854	87,854
50	Kazakhstan	0.817	9,42E+10	1,54E+10	2,74E+05	4,24E+11	18.319.618	23.141,38	63,401	63,401
52	Bulgaria	0.816	3,23E+10	3,31E+09	9,70E+04	1,27E+11	7.051.608	18.003,07	49,323	49,323
52	Montenegro	0.816	2,81E+09	0,00E+00	6,00E+03	6,53E+09	627.809	10.402,85	28,501	28,501

Apêndice D (continuação).

Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m³/ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo total no país (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
52	Romania	0.816	4,96E+10	1,16E+10	1,98E+05	2,93E+11	19.506.114	15.011,46	41,127	41,127
55	Palau	0.814					17.907			
56	Barbados	0.813	9,90E+08	1,98E+07	1,10E+04	8,02E+09	286.641	27.984,24	76,669	76,669
57	Kuwait	0.808	5,78E+10	2,17E+10	4,46E+05	5,60E+11	4.137.312	135.400,42	370,960	"outlier"
57	Uruguay	0.808	1,08E+10	7,08E+07	5,30E+04	4,44E+10	3.449.285	12.869,92	35,260	35,260
59	Turkey	0.806	2,31E+11	5,36E+10	9,90E+05	1,40E+12	82.340.088	17.029,82	46,657	46,657
60	Bahamas	0.805	1,65E+09	4,80E+04	2,00E+04	1,41E+10	385.637	36.535,18	100,096	100,096
61	Malaysia	0.804	1,37E+11	3,04E+10	7,04E+05	8,90E+11	31.528.033	28.228,96	77,340	77,340
62	Seychelles	0.801	3,26E+08	0,00E+00	7,30E+03	4,86E+09	97.096	50.003,60	136,996	136,996
63	Serbia	0.799	2,98E+10	2,72E+09	7,40E+04	1,04E+11	8.802.754	11.810,74	32,358	32,358
63	Trinidad and Tobago	0.799	9,87E+09	2,12E+10	5,10E+04	2,62E+11	1.389.843	188.651,60	516,854	"outlier"
65	Iran (Islamic Republic of)	0.797	2,36E+11	2,07E+11	1,80E+06	3,51E+12	81.800.188	42.852,87	117,405	117,405
66	Mauritius	0.796	2,73E+09	0,00E+00	2,70E+04	1,95E+10	1.189.265	16.379,44	44,875	44,875
67	Panama	0.795	8,71E+09	0,00E+00	1,46E+05	9,93E+10	4.176.869	23.774,03	65,134	65,134
68	Costa Rica	0.794	9,81E+09	0,00E+00	5,30E+04	4,27E+10	4.999.441	8.540,65	23,399	23,399
69	Albania	0.791	5,11E+09	5,10E+07	2,90E+04	2,36E+10	2.882.740	8.198,48	22,462	22,462
70	Georgia	0.786	1,24E+10	2,29E+09	2,05E+03	3,75E+10	4.002.942	9.362,60	25,651	25,651
71	Sri Lanka	0.780	1,27E+10	0,00E+00	1,16E+05	8,46E+10	21.228.763	3.987,42	10,924	10,924
72	Cuba	0.778	1,62E+10	1,19E+09	1,75E+05	1,37E+11	11.338.134	12.092,04	33,129	33,129
73	Saint Kitts and Nevis	0.777	1,93E+08	0,00E+00	1,70E+03	1,25E+09	52.441	23.802,94	65,214	65,214
74	Antigua and Barbuda	0.776	3,08E+08	0,00E+00	5,00E+03	3,41E+09	96.286	35.418,44	97,037	97,037
75	Bosnia and Herzegovina	0.769	1,19E+10	2,27E+08	3,20E+04	3,41E+10	3.323.925	10.252,74	28,090	28,090
76	Mexico	0.767	2,59E+11	8,16E+10	1,98E+06	2,34E+12	126.190.788	18.525,12	50,754	50,754
77	Thailand	0.765	1,88E+11	5,26E+10	1,33E+06	1,56E+12	68.863.514	22.615,93	61,961	61,961
78	Grenada	0.763	1,85E+08	0,00E+00	2,00E+03	1,43E+09	111.454	12.795,41	35,056	35,056

Apêndice D (continuação).

Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m ³ /ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo total no país (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
79	Brazil	0.761	5,09E+11	3,44E+10	2,96E+06	2,70E+12	209.469.323	12.890,64	35,317	35,317
79	Colombia	0.761	6,84E+10	1,01E+10	3,33E+05	3,80E+11	49.661.048	7.645,99	20,948	20,948
81	Armenia	0.760	5,29E+09	2,35E+09	8,00E+03	3,47E+10	2.951.745	11.746,10	32,181	32,181
82	Algeria	0.759	5,60E+10	4,13E+10	4,05E+05	7,36E+11	42.228.408	17.432,85	47,761	47,761
82	North Macedonia	0.759	6,42E+09	1,98E+08	2,10E+04	2,15E+10	2.082.957	10.326,57	28,292	28,292
82	Peru	0.759	4,46E+10	7,48E+09	2,50E+05	2,77E+11	31.989.260	8.674,27	23,765	23,765
85	China	0.758	5,56E+12	2,39E+11	1,25E+07	1,58E+13	1.427.647.786	11.053,63	30,284	30,284
85	Ecuador	0.758	2,27E+10	4,53E+08	2,65E+05	1,92E+11	17.084.358	11.227,83	30,761	30,761
87	Azerbaijan	0.754	2,02E+10	1,03E+10	1,00E+05	1,90E+11	9.949.537	19.068,49	52,242	52,242
88	Ukraine	0.750	1,33E+11	3,09E+10	2,33E+05	5,99E+11	44.246.156	13.538,70	37,092	37,092
89	Dominican Republic	0.745	1,56E+10	1,16E+09	1,34E+05	1,11E+11	10.627.141	10.430,82	28,578	28,578
89	Saint Lucia	0.745	3,43E+08	0,00E+00	3,10E+03	2,27E+09	181.889	12.462,27	34,143	34,143
91	Tunisia	0.739	1,53E+10	5,13E+09	1,02E+05	1,32E+11	11.565.201	11.397,10	31,225	31,225
92	Mongolia	0.735	5,93E+09	0,00E+00	2,70E+04	2,27E+10	3.170.216	7.155,82	19,605	19,605
93	Lebanon	0.730	1,57E+10	0,00E+00	1,54E+05	1,11E+11	6.859.408	16.221,08	44,441	44,441
94	Botswana	0.728	3,64E+09	0,00E+00	2,10E+04	1,67E+10	2.254.068	7.393,97	20,257	20,257
94	Saint Vincent and the Grenadines	0.728	1,46E+08	0,00E+00	1,62E+03	1,15E+09	110.211	10.445,51	28,618	28,618
96	Jamaica	0.726	2,85E+09	1,98E+08	5,50E+04	3,90E+10	2.934.847	13.300,11	36,439	36,439
96	Venezuela (Bolivarian Republic of)	0.726	7,20E+10	2,42E+10	6,59E+05	7,32E+11	28.887.118	25.354,26	69,464	69,464
98	Dominica	0.724	1,04E+08	0,00E+00	1,30E+03	9,10E+08	71.625	12.708,55	34,818	34,818
98	Fiji	0.724	8,50E+08	0,00E+00	1,60E+04	1,08E+10	883.483	12.199,44	33,423	33,423
98	Paraguay	0.724	1,09E+10	0,00E+00	4,30E+04	3,76E+10	6.956.066	5.402,69	14,802	14,802
98	Suriname	0.724	1,75E+09	0,00E+00	1,30E+04	9,82E+09	575.990	17.042,83	46,693	46,693
102	Jordan	0.723	1,68E+10	5,24E+09	1,39E+05	1,57E+11	9.965.318	15.804,04	43,299	43,299

Apêndice D (continuação).

Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m ³ /ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo Total no País (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
103	Belize	0.720	4,53E+08	0,00E+00	4,00E+03	2,94E+09	383.071	7.661,77	20,991	20,991
104	Maldives	0.719	3,74E+08	0,00E+00	1,10E+04	7,20E+09	515.696	13.960,55	38,248	38,248
105	Tonga	0.717	4,84E+07	0,00E+00	9,00E+02	6,07E+08	110.589	5.487,07	15,033	15,033
106	Philippines	0.712	7,83E+10	3,14E+09	4,24E+05	3,74E+11	106.651.394	3.507,20	9,609	9,609
107	Moldova (Republic of)	0.711	4,40E+09	2,52E+09	1,80E+04	4,18E+10	4.051.944	10.304,14	28,231	28,231
108	Turkmenistan	0.710	1,51E+10	3,93E+10	1,60E+05	5,23E+11	5.850.901	89.353,91	244,805	"outlier"
108	Uzbekistan	0.710	4,91E+10	4,31E+10	6,00E+04	5,34E+11	32.476.244	16.436,55	45,032	45,032
110	Libya	0.708	2,73E+10	4,45E+09	2,60E+05	2,35E+11	6.678.559	35.160,87	96,331	96,331
111	Indonesia	0.707	2,13E+11	4,23E+10	1,60E+06	1,65E+12	267.670.543	6.151,31	16,853	16,853
111	Samoa	0.707	1,23E+08	0,00E+00	2,40E+03	1,61E+09	196.129	8.219,08	22,518	22,518
113	South Africa	0.705	2,07E+11	5,07E+09	6,21E+05	6,45E+11	57.792.518	11.162,30	30,582	30,582
114	Bolivia (Plurinational State of)	0.703	7,79E+09	3,17E+09	8,30E+04	9,22E+10	11.353.142	8.124,02	22,258	22,258
115	Gabon	0.702	2,07E+09	4,01E+08	2,40E+04	2,11E+10	2.119.275	9.970,10	27,315	27,315
116	Egypt	0.700	1,60E+11	5,77E+10	8,78E+05	1,30E+12	98.423.598	13.249,93	36,301	36,301
Mediana (em kWh/pessoa.dia) sem "outliers" amostra 1 a 116										47,23
117	Marshall Islands	0.698	6,05E+08	0,00E+00	2,00E+03	1,85E+09	58.413	31.593,99	86,559	"outlier"
118	Vietnam	0.693	1,43E+11	8,10E+09	4,38E+05	4,99E+11	95.545.962	5.223,84	14,312	14,312
119	Palestine, State of	0.690		sem dados			4.862.979		sem dados	
120	Iraq	0.689	3,85E+10	2,63E+09	8,26E+05	5,78E+11	38.433.600	15.048,03	41,227	41,227
121	Morocco	0.676	2,83E+10	1,22E+09	2,78E+05	2,13E+11	36.029.093	5.923,10	16,228	16,228
122	Kyrgyzstan	0.674	1,05E+10	1,87E+08	3,70E+04	3,54E+10	6.304.030	5.618,69	15,394	15,394
123	Guyana	0.670	7,90E+08	0,00E+00	1,40E+04	9,48E+09	779.006	12.165,63	33,330	33,330
124	El Salvador	0.667	5,93E+09	0,00E+00	5,20E+04	3,82E+10	6.420.746	5.948,53	16,297	16,297
125	Tajikistan	0.656	1,30E+10	1,98E+07	2,40E+04	2,81E+10	9.100.835	3.083,01	8,447	8,447
126	Cabo Verde	0.651	3,67E+08	0,00E+00	5,60E+03	3,84E+09	543.767	7.065,89	19,359	19,359

Apêndice D (continuação).

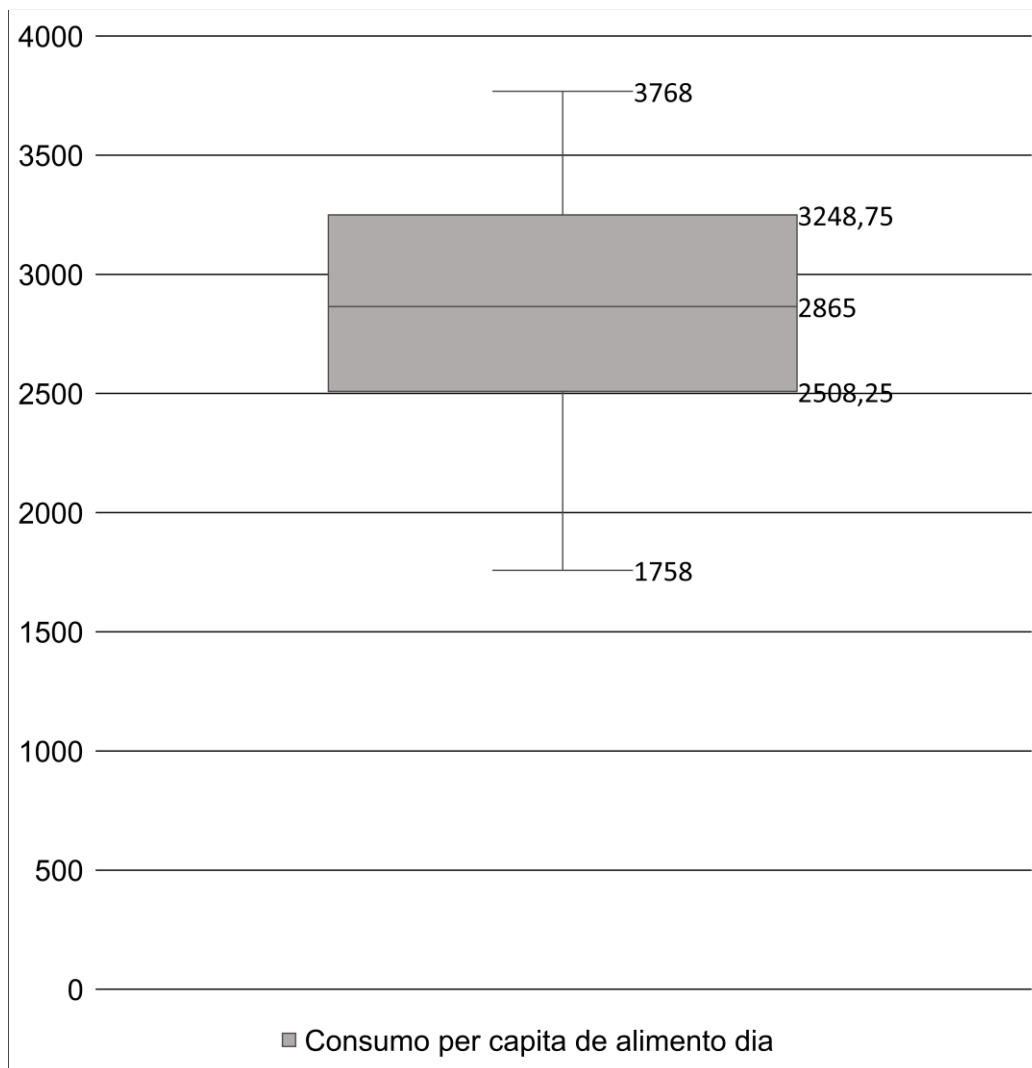
Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m³/ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo Total no País (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
126	Guatemala	0.651	1,01E+10	0,00E+00	8,90E+04	6,53E+10	17.247.849	3.787,40	10,376	10,376
126	Nicaragua	0.651	3,59E+09	0,00E+00	3,70E+04	2,65E+10	6.465.501	4.106,18	11,250	11,250
129	India	0.647	1,14E+12	5,54E+10	4,52E+06	4,52E+12	1.352.642.280	3.340,28	9,151	9,151
130	Namibia	0.645	3,89E+09	0,00E+00	2,70E+04	2,06E+10	2.448.301	8.432,17	23,102	23,102
131	East Timor	0.626	0,00E+00	0,00E+00	3,50E+03	2,17E+09	1.267.974	1.712,77	4,693	4,693
132	Honduras	0.623	7,22E+09	0,00E+00	5,90E+04	4,38E+10	9.587.522	4.571,51	12,525	12,525
132	Kiribati	0.623	2,70E+07	0,00E+00	4,00E+02	2,75E+08	115.847	2.375,29	6,508	6,508
134	Bhutan	0.617	2,18E+09	0,00E+00	3,00E+03	4,05E+09	754.388	5.362,63	14,692	14,692
135	Bangladesh	0.614	5,37E+10	2,95E+10	1,06E+05	4,26E+11	161.376.708	2.641,27	7,236	7,236
135	Micronesia (Federated States of)	0.614	1,79E+08	sem dados		1,79E+08	112.640	1.585,58	4,344	4,344
137	Sao Tome and Principe	0.609	6,14E+07	0,00E+00	1,00E+03	6,82E+08	211.028	3.231,23	8,853	8,853
138	Congo	0.608	9,12E+08	1,39E+09	1,70E+04	2,59E+10	5.244.359	4.933,19	13,516	13,516
138	Eswatini (Kingdom of)	0.608	1,43E+09	0,00E+00	5,30E+03	4,72E+09	1.136.281	4.153,59	11,380	11,380
140	Lao People's Democratic Republic (Laos)	0.604	5,47E+09	0,00E+00	1,80E+04	1,66E+10	7.061.507	2.356,44	6,456	6,456
141	Vanuatu	0.597	5,86E+07	0,00E+00	1,10E+03	7,41E+08	292.680	2.532,25	6,938	6,938
142	Ghana	0.596	9,36E+09	1,23E+09	9,00E+04	7,80E+10	28.206.728	2.765,60	7,577	7,577
143	Zambia	0.591	1,10E+10	0,00E+00	2,30E+04	2,53E+10	17.351.708	1.458,73	3,997	3,997
144	Equatorial Guinea	0.588	4,65E+08	1,19E+09	5,20E+03	1,60E+10	1.308.975	12.257,92	33,583	33,583
145	Myanmar	0.584		sem dados			53.708.320		sem dados	
146	Cambodia	0.581	5,86E+09	0,00E+00	4,50E+04	3,38E+10	16.249.792	2.078,77	5,695	5,695
147	Kenya	0.579	7,86E+09	0,00E+00	1,09E+05	7,55E+10	51.392.565	1.469,04	4,025	4,025
147	Nepal	0.579	4,98E+09	0,00E+00	2,70E+04	2,17E+10	28.095.714	773,66	2,120	2,120

Apêndice D (continuação).

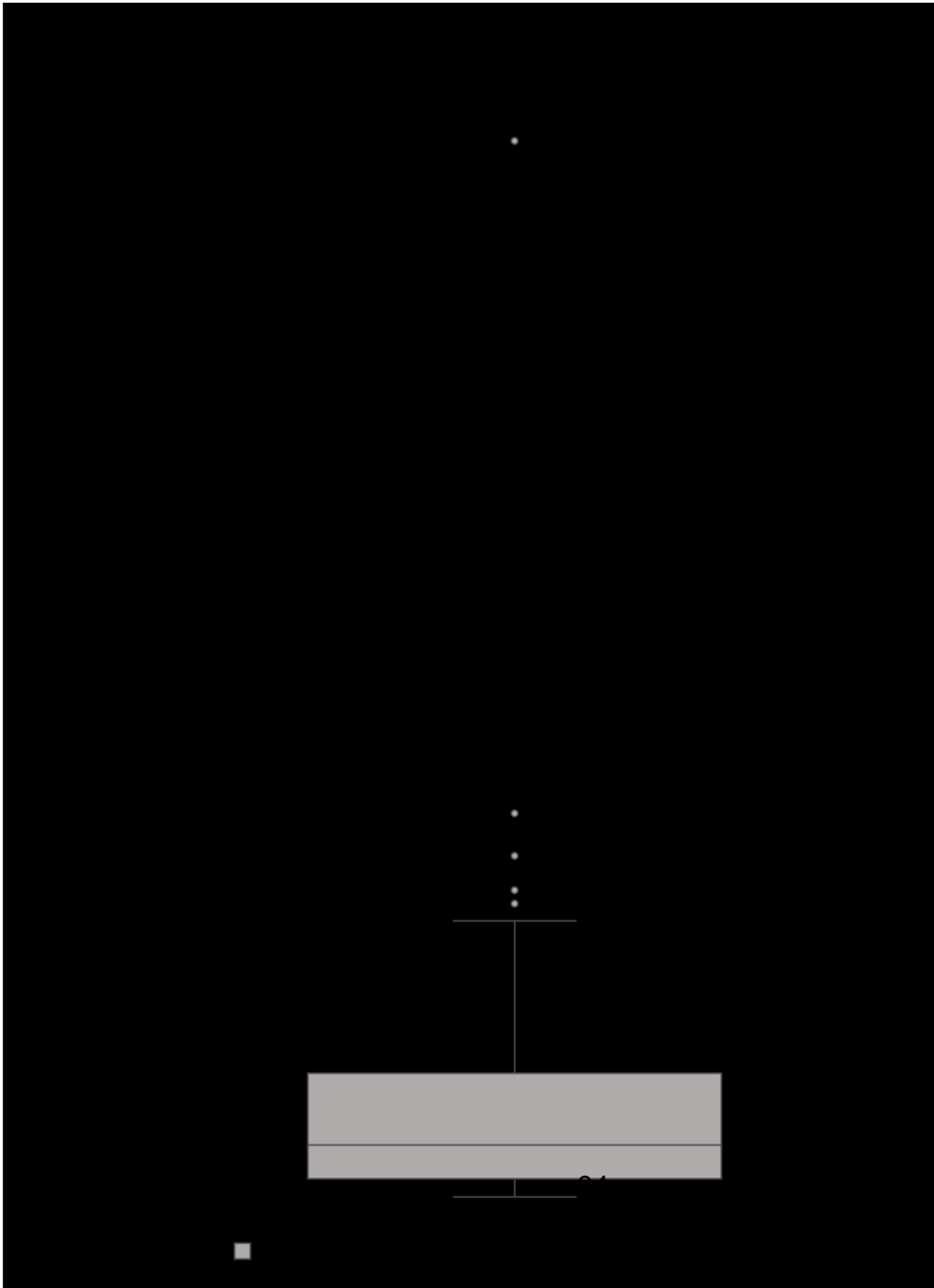
Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m ³ /ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo Total no País (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
149	Angola	0.574	9,04E+09	8,21E+08	1,30E+05	9,82E+10	30.809.787	3.188,38	8,735	8,735
150	Cameroon	0.563	6,41E+09	9,06E+08	4,50E+04	4,37E+10	25.216.267	1.734,91	4,753	4,753
150	Zimbabwe	0.563	7,12E+09	0,00E+00	2,70E+04	2,39E+10	14.438.802	1.653,29	4,530	4,530
152	Pakistan	0.560	9,23E+10	4,51E+10	5,57E+05	9,06E+11	212.228.286	4.269,07	11,696	11,696
153	Solomon Islands	0.557	9,58E+07	0,00E+00	1,60E+03	1,09E+09	652.857	1.667,42	4,568	4,568
154	Syrian Arab Republic	0.549	1,42E+10	3,74E+09	1,34E+05	1,36E+11	16.945.057	8.034,49	22,012	22,012
155	Papua New Guinea	0.543	3,24E+09	9,91E+07	3,70E+04	2,72E+10	8.606.323	3.163,40	8,667	8,667
156	Comoros	0.538	3,91E+07	0,00E+00	1,30E+03	8,46E+08	832.322	1.016,09	2,784	2,784
157	Rwanda	0.536	5,27E+08	0,00E+00	6,70E+03	4,68E+09	12.301.970	380,80	1,043	1,043
158	Nigeria	0.534	2,47E+10	1,72E+10	3,25E+05	4,06E+11	195.874.683	2.070,23	5,672	5,672
159	Tanzania (United Republic of)	0.528	5,68E+09	3,12E+09	7,20E+04	8,27E+10	56.313.438	1.468,97	4,025	4,025
159	Uganda	0.528	3,11E+09	0,00E+00	3,20E+04	2,30E+10	42.729.036	537,39	1,472	1,472
161	Mauritania	0.527	1,06E+09	0,00E+00	1,70E+04	1,16E+10	4.403.313	2.636,08	7,222	7,222
162	Madagascar	0.521	1,59E+09	0,00E+00	1,80E+04	1,28E+10	26.262.313	485,72	1,331	1,331
163	Benin	0.520	1,14E+09	0,00E+00	3,80E+04	2,47E+10	11.485.044	2.152,54	5,897	5,897
164	Lesotho	0.518	8,47E+08	0,00E+00	5,00E+03	3,95E+09	2.108.328	1.873,43	5,133	5,133
165	Côte d'Ivoire	0.516	6,25E+09	2,32E+09	5,10E+04	6,20E+10	25.069.230	2.473,79	6,778	6,778
166	Senegal	0.514	3,50E+09	5,95E+07	4,80E+04	3,39E+10	15.854.323	2.138,14	5,858	5,858
167	Togo	0.513	1,26E+09	0,00E+00	1,50E+04	1,06E+10	7.889.093	1.339,63	3,670	3,670
168	Sudan	0.507	1,21E+10	0,00E+00	1,12E+05	8,16E+10	41.801.533	1.952,46	5,349	5,349
169	Haiti	0.503	4,06E+08	0,00E+00	2,10E+04	1,34E+10	11.123.178	1.207,99	3,310	3,310
170	Afghanistan	0.496	5,53E+09	1,64E+08	3,50E+04	2,89E+10	37.171.921	778,80	2,134	2,134
171	Djibouti	0.495	3,77E+08	0,00E+00	6,36E+03	4,32E+09	958.923	4.508,68	12,353	12,353
172	Malawi	0.485	1,32E+09	0,00E+00	6,00E+03	5,04E+09	18.143.217	278,01	0,762	0,762

Apêndice D (continuação).

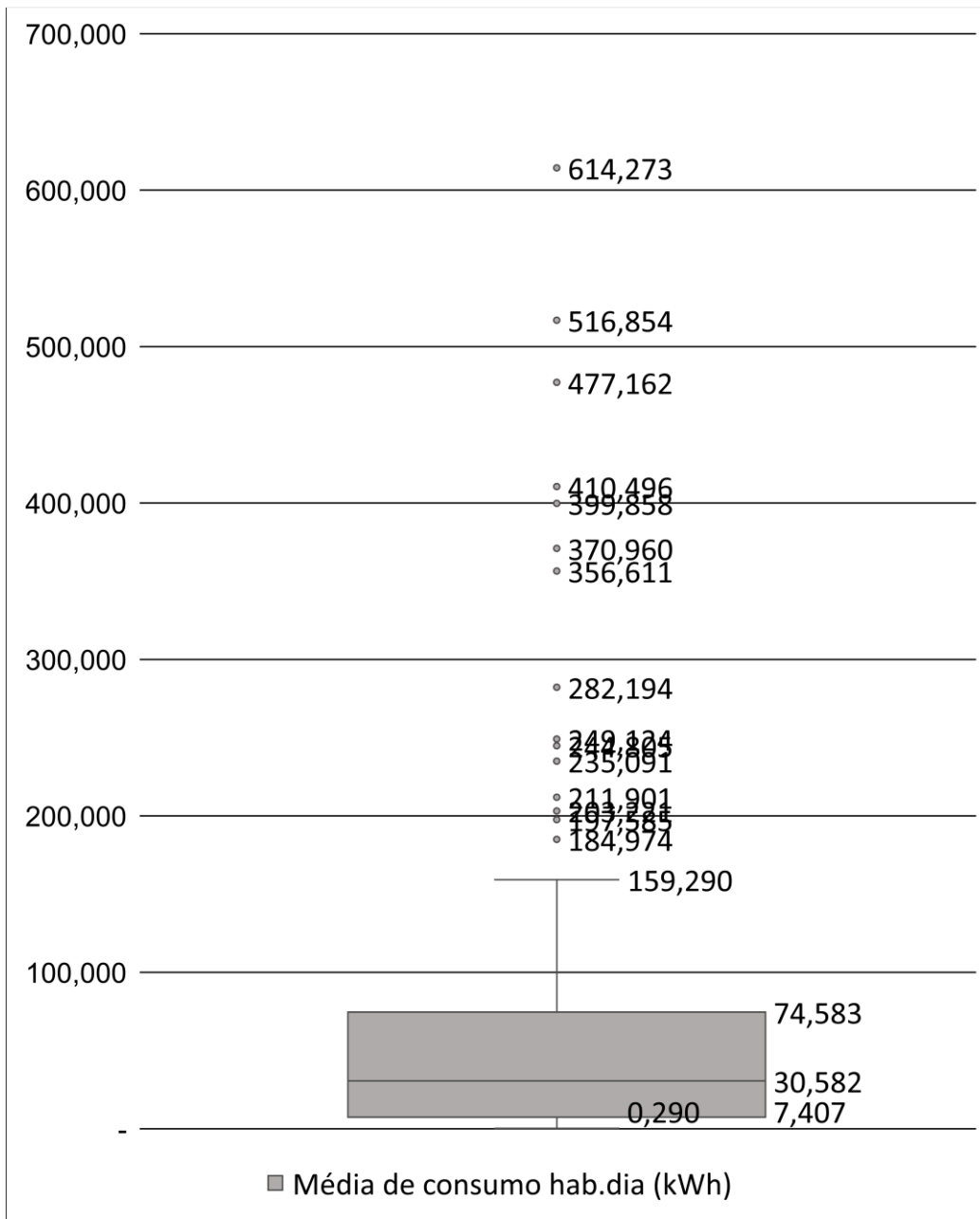
Rank (baseado no IDH)	Country	Human Development Index (HDI) (value)	Eletricidade (kWh/ano)	Gás natural (m³/ano)	derivados óleo (bbl/dia)	Consumo Total no País (kWh/ano)	População	Média de consumo (kWh/hab. ano)	Média de consumo (kWh/hab. dia)	Média de consumo sem "outliers" (kWh/hab.dia)
173	Ethiopia	0.470	9,06E+09	0,00E+00	7,40E+04	5,50E+10	109.224.414	503,36	1,379	1,379
174	Gambia	0.466	2,83E+08	0,00E+00	3,80E+03	2,64E+09	2.280.094	1.158,15	3,173	3,173
174	Guinea	0.466	5,56E+08	0,00E+00	1,90E+04	1,23E+10	12.414.293	994,47	2,725	2,725
176	Liberia	0.465	2,79E+08	0,00E+00	8,00E+03	5,24E+09	4.818.973	1.087,99	2,981	2,981
177	Yemen	0.463	3,68E+09	4,81E+08	1,04E+05	7,32E+10	28.498.683	2.569,06	7,039	7,039
178	Guinea- Bissau	0.461	3,63E+07	0,00E+00	2,70E+03	1,71E+09	1.874.303	913,20	2,502	2,502
179	Congo (Democratic Republic of the)	0.459	7,43E+09	0,00E+00	2,10E+04	2,05E+10	84.068.091	243,38	0,667	0,667
180	Mozambique	0.446	1,16E+10	1,84E+09	2,60E+04	4,68E+10	29.496.004	1.587,71	4,350	4,350
181	Sierra Leone	0.438	2,79E+08	0,00E+00	6,50E+03	4,31E+09	7.650.150	563,68	1,544	1,544
182	Burkina Faso	0.434	1,55E+09	0,00E+00	2,30E+04	1,58E+10	19.751.466	801,08	2,195	2,195
182	Eritrea	0.434	3,54E+08	0,00E+00	4,00E+03	2,84E+09	3.452.786	821,34	2,250	2,250
184	Mali	0.427	2,98E+09	0,00E+00	2,20E+04	1,66E+10	19.077.749	871,85	2,389	2,389
185	Burundi	0.423	3,83E+08	0,00E+00	1,50E+03	1,31E+09	10.524.117	124,80	0,342	0,342
186	South Sudan	0.413	3,92E+08	0,00E+00	8,00E+03	5,36E+09	10.975.927	487,96	1,337	1,337
187	Chad	0.401	2,09E+08	0,00E+00	2,30E+03	1,64E+09	15.477.729	105,68	0,290	0,290
188	Central African Republic	0.381	1,59E+08	0,00E+00	2,80E+03	1,90E+09	4.666.368	406,48	1,114	1,114
189	Niger	0.377	1,07E+09	0,00E+00	1,40E+04	9,75E+09	22.442.822	434,53	1,190	1,190
Mediana (em kWh/pessoa.dia) sem "outliers" amostra 117 a 189										5,51

Apêndice E: “Boxplot” alimento (em Kcal/pessoa.dia)

Apêndice F: “Boxplot” água (em L/pessoa.dia)



Apêndice G: “Boxplot” energia (em kWh/pessoa.dia)



Obs.: alguns pontos podem não aparecer no gráfico devido à escala.

Apêndice H. Possibilidades de classificação do FEW nexus.

Posição individual dos fluxos FEW			FEW nexus (27 possibilidades)		
F	E	W	Região	Fator Limitante	
Insegurança	Insegurança	Insegurança	Insegurança	Estável	
		Segurança	Segurança	Semiestável	
		Luxo	Luxo	Instável	
	Segurança	Segurança	Insegurança	Segurança	Semiestável
			Segurança	Segurança	Semiestável
			Luxo	Luxo	Semiestável
	Luxo	Luxo	Insegurança	Luxo	Instável
			Segurança	Luxo	Semiestável
			Luxo	Luxo	Instável
Segurança	Insegurança	Insegurança	Segurança	Semiestável	
		Segurança	Segurança	Semiestável	
		Luxo	Luxo	Semiestável	
	Segurança	Segurança	Insegurança	Segurança	Semiestável
			Segurança	Segurança	Estável
			Luxo	Luxo	Semiestável
	Luxo	Luxo	Insegurança	Luxo	Semiestável
			Segurança	Luxo	Semiestável
			Luxo	Luxo	Semiestável
Luxo	Insegurança	Insegurança	Luxo	Instável	
		Segurança	Luxo	Semiestável	
		Luxo	Luxo	Instável	
	Segurança	Segurança	Insegurança	Luxo	Semiestável
			Segurança	Luxo	Semiestável
			Luxo	Luxo	Semiestável
	Luxo	Luxo	Insegurança	Luxo	Instável
			Segurança	Luxo	Semiestável
			Luxo	Luxo	Estável

Apêndice I. Consumo de alimento, energia e água para os municípios estudados.

Recurso FEW	Unidade/ano	Municípios								
		Santos	São Paulo	São Caetano do Sul	Cubatão	Diadema	Águas de São Pedro	Ribeirão Branco	Barra do Turvo	Nova Campina
Alimento										
Cereais	kg	1,57E+07	4,43E+08	5,83E+06	4,72E+06	1,53E+07	1,23E+05	6,07E+05	2,80E+05	3,51E+05
Carnes	kg	1,42E+07	4,00E+08	5,27E+06	4,26E+06	1,38E+07	1,11E+05	5,48E+05	2,53E+05	3,17E+05
Frutas e verduras	kg	1,17E+07	3,28E+08	4,32E+06	3,50E+06	1,13E+07	9,11E+04	4,50E+05	2,07E+05	2,60E+05
Peixe	kg	5,92E+05	1,66E+07	2,19E+05	1,77E+05	5,75E+05	4,62E+03	2,28E+04	1,05E+04	1,32E+04
Lácteos	kg	1,66E+07	4,68E+08	6,16E+06	4,99E+06	1,62E+07	1,30E+05	6,41E+05	2,96E+05	3,71E+05
Legumes	kg	1,14E+07	3,20E+08	4,21E+06	3,41E+06	1,10E+07	8,87E+04	4,38E+05	2,02E+05	2,53E+05
Raízes e tubérculos	kg	1,08E+07	3,05E+08	4,01E+06	3,25E+06	1,05E+07	8,45E+04	4,17E+05	1,92E+05	2,41E+05
Açúcares	kg	2,66E+07	7,48E+08	9,84E+06	7,97E+06	2,59E+07	2,08E+05	1,02E+06	4,72E+05	5,92E+05
Azeites vegetais	kg	3,12E+06	8,76E+07	1,15E+06	9,34E+05	3,03E+06	2,43E+04	1,20E+05	5,53E+04	6,94E+04
Energia										
Eletricidade (BR)	MWh	1,39E+06	2,72E+07	7,75E+05	2,35E+06	1,07E+06	1,52E+04	1,64E+04	6,53E+03	2,40E+04
Eletricidade (GLO)	MWh									
Gás natural	m ³	1,40E+07	1,04E+09	2,97E+07	3,80E+08	2,67E+07				
Etanol	L	5,81E+07	2,20E+09	4,32E+07	5,53E+06	6,90E+07	4,31E+06	1,45E+06	1,17E+06	2,50E+04
Derivados de petróleo	toe ¹	1,74E+05	3,82E+06	5,52E+04	1,81E+05	1,05E+05	6,02E+03	5,46E+03	1,20E+04	5,18E+03
Carvão	kg									
Água										
Água	L	7,22E+10	1,45E+12	1,79E+10	1,84E+10	4,05E+10	5,68E+08	1,01E+09	2,21E+08	3,15E+08
População (2018)										
	Hab.	4,33E+05	1,22E+07	1,60E+05	1,30E+05	4,21E+05	3,38E+03	1,67E+04	7,69E+03	9,65E+03
Alimento	kcal/dia	2.836,01	2.836,01	2.836,01	2.836,01	2.836,01	2.836,01	2.836,01	2.836,01	2.836,01

Fonte: Consumo de Alimento: IBGE, 2020; Consumo de Energia: Governo de São Paulo, 2020; Consumo de Água: ANA, 2015; População: IBGE, 2018.

Nota: ¹tonelada de óleo equivalente (do inglês "tonne of oil equivalent").