

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO ASUPRO BASEADO
EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA
AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE REGIÕES**

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

MÁRCIO COSTA

São Paulo
2021

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO ASUPRO BASEADO
EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA
AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE REGIÕES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Doutor 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: Avaliação energética-ambiental de sistemas de produção utilizando abordagem sistêmica

MÁRCIO COSTA

São Paulo

2021

Costa, Márcio.

Aplicação do procedimento ASUPRO baseado em sistemas de informação geográfica na avaliação da sustentabilidade de regiões / Márcio Costa. - 2021.

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

Tese de Doutorado 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. Sustentabilidade. 2. ASUPRO. 3. SIG. 4. Análise Multicritério. 5. MATOPIBA. I. Agostinho, Feni Dalano Roosevelt (orientador). II. Título.

MÁRCIO COSTA

**APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO ASUPRO BASEADO
EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA
AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE REGIÕES**

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

Data de aprovação: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

_____/_____/_____
Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti
Universidade Paulista – UNIP

_____/_____/_____
Prof.^a Dra. Cecília Maria Villas Boas de Almeida
Universidade Paulista – UNIP

_____/_____/_____
Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno
Universidade Federal do Paraná – UFPR

_____/_____/_____
Prof. Dr. Fernando Jorge Cutrim Demétrio
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

DEDICATÓRIA

À minha mãe, pelo apoio em todos os momentos.
À minha filha, a razão maior da minha vida.
À minha família e aos amigos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pela saúde e sabedoria, pela fé e a força para lutar pelos meus sonhos.

Ao meu orientador professor Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho, pelos ensinamentos sistêmicos, pela orientação, compreensão, paciência, e por compartilhar seu conhecimento acadêmico durante todo esse tempo, parte dessa formação é mérito da sua orientação, agradeço principalmente pela amizade construída.

À minha filha, Marcela Viana Sousa Costa, minha maior expressão de amor incondicional, ser seu pai nessa vida é o maior presente que recebi de Deus. Todo meu esforço é para te fazer feliz sempre.

À minha mãe, Teresinha de Jesus Costa, pelo amor em todos os momentos, pela educação, princípios e valores de honestidade, que sempre me incentivou a estudar dizendo que era um dom de Deus.

À minha tia, Maria Arcângela Costa (*in memoriam*), pelo amor e pelo tempo de sua vida que dedicou para ajudar na minha criação.

Ao meu irmão, Flávio Fernando Costa, meu amigo e compadre que sempre me deu apoio, sem medir esforços para ajudar na minha educação, é o meu exemplo de cidadão.

Às minhas irmãs, Socorro, Célia, Márcia, Gisele e Cíntia, por fazerem parte da minha vida.

Aos sobrinhos e sobrinhas, por quem tenho muito carinho, aos demais familiares e a todos os amigos que fazem e os que fizeram parte da minha história.

Aos professores do LAPROMA – UNIP, Professora Dra. Cecília Maria Vilas Boas de Almeida por aceitar fazer parte da banca de qualificação e agora na defesa da tese, pelas suas valorosas contribuições, que certamente enriqueceram muito essa pesquisa.

Ao Professor Dr. Biagio Fernando Giannetti, pelos ensinamentos, incentivo, inspiração e amizade, pelas contribuições no exame de qualificação e por aceitar fazer parte na dessa da tese e pelo relevante papel que desenvolve à frente do nosso grupo de pesquisa.

Aos professores convidados, membros da banca (titulares e suplentes) no exame de qualificação e na defesa da tese: Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno, Dr. Fernando Jorge Cutrim Demétrio, Dr. Fábio Sevegnani, Dr. Luca Coscieme, por disponibilizar do seu tempo para leitura, e pelas relevantes contribuições apontadas no trabalho no exame de qualificação, e sua disposição em participar na defesa dessa tese.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Drs: Oduvaldo Vendrametto (coordenador), Pedro Luís, Irenilza Nãas, João Gilberto, Márcia Terra, Rodrigo Gonçalves, Sílvia Bonilla, Jair Abe e José Socomano (in memoriam).

Aos colegas do programa de pós-graduação, em especial aos amigos do Laboratório de Produção e Meio Ambiente - LAPROMA. Sintam-se todos homenageados em nome do amigo Luiz Ghelmandi Netto.

Aos amigos Estêvão Langa e Rute Wada, pelas discussões acadêmicas e pelos bons momentos de descontração.

Aos amigos Tiago Juruá, Carla Lessa e Patrícia Silva, pela amizade e apoio sempre.

Aos funcionários do PPGEF, Márcia, Vera, Juliana e Bruno.

À Universidade Paulista – UNIP, pela bolsa de estudos, financiada pelo Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares – PROSUP/CAPES, em nome da Prof.^a Dr.^a Marina Soligo (Coordenadora de Pós-graduação e Pesquisa).

Ao Professor Dr. Gengyuan Liu, pelas atividades desenvolvidas na School of Environment, Beijing Normal University, Beijing, China.

“O homem é infeliz porque não conhece a natureza”
(Demócrito)

“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve...”
(Victor Hugo)

RESUMO

Avaliar as relações sociais, econômicas e ambientais é um passo importante para apoiar decisões em direção ao desenvolvimento sustentável. Essas decisões são baseadas em modelos de avaliação e representadas através de indicadores. No entanto, a falta de critérios na escolha desses indicadores decorre pela falta de um modelo conceitual de sustentabilidade que suporte cientificamente essas escolhas. Neste sentido, este trabalho avalia a sustentabilidade de regiões com aplicação do procedimento de avaliação da sustentabilidade de sistema de produção (ASUPRO) baseado em sistemas de informação geográfica (SIG). O ASUPRO é estruturado com base no modelo PDCA (planejar, fazer, verificar e agir), e no modelo dos cinco setores (5SenSU) para escolha dos indicadores, incluindo a filosofia de programação por metas como análise multicritério. O uso do SIG permite fazer uma abordagem *topdown* através de imagens de satélites e extrair dados para calcular os indicadores ambientais. Para avaliar a sustentabilidade na região do MATOPIBA, o ASUPRO combinado com o SIG é aplicado considerando os anos 1990, 2000, 2010 e 2018, que representam períodos antes e após a ocupação do agronegócio. O Indicador Global de Sustentabilidade (WSI) mostra melhor desempenho em 2010 (3.15), comparado com 2000 (3.86), 2018 (4.03) e 1990 (4.45), indicando que o menor WSI representa maior sustentabilidade. Ações para melhorar o WSI em 2018 são sugeridas pela análise de sensibilidade, seguindo a hierarquia de reduzir o índice de GINI (30%), GWP (25%), Perda da biodiversidade, Conflitos de Terra, Perda de solo + floresta (30%), e aumentar Renda/capita, PIB/capita e eMergia (30%), IDHM e Empregos (10%). Essas ações resultam em uma eficiência de 63%, reduzindo o valor do WSI 2018 para 1.48. Além da avaliação da sustentabilidade da região do MATOPIBA, esse trabalho também contribui com a proposição do uso sinérgico do ASUPRO e SIG. O uso do SIG permite obter uma série de dados brutos que tornam possível calcular os indicadores para alimentar o modelo 5SenSu. A proposta do uso de imagens noturnas como um proxy para estimativa da emergência não renovável da natureza (N) e da economia (F) mostrou-se com grande potencial quando avaliando regiões, onde a disponibilidade de dados é escassa.

Palavras chaves: Sustentabilidade. ASUPRO. SIG. Análise Multicritério. MATOPIBA.

ABSTRACT

Assessing social, economic, and environmental relationships is an important step to support decisions towards sustainable development. These decisions are based on models that relies on indicators, however, the lack of a clear criteria in choosing indicators is a result of a lack for a conceptual model of sustainability to scientifically support such choices. In this sense, this work assess the sustainability of regions applying the sustainability assessment procedure for operations and production processes (SUAPRO) based on geographical information systems (GIS). SUAPRO is structured on the PDCA's model (plan, do, check, act), and on the five sectors sustainability model (5SenSU) for choosing the indicators, including the goal programming philosophy as multicriteria analysis. Using GIS allows a topdown approach in obtaining regional environmental indicators from satellite images. To assess the sustainability in the MATOPIBA region, SUAPRO and GIS are combined applied for the years 1990, 2000, 2010, and 2018, which represent periods before and after the expansion of agribusiness. The global sustainability indicator (WSI) shows the best performance in 2010 (3.15) in comparison to 2000 (3.86), 2018 (4.03), and 1990 (4.45), indicating that the lower WSI represents greater sustainability. Actions to improve the WSI in 2018 are suggested by a sensitivity analysis, including a reduction of GINI index (30%), GWP (25%), biodiversity loss, land conflicts, soil loss & forest (30%), and increase income/capita, GDP/capita and eMergy (30%), HDI and jobs (10%). These actions result in an efficiency of 63%, reducing on WSI 2018 value to 1.48. Besides the sustainability assessment of MATOPIBA region, this work also contributes to the proposition of synergistic use of ASUPRO and GIS. Using GIS allows obtaining a series of raw data that make possible the indicators calculation to feed the 5SenSu model. The proposal in using nightlight images as a proxy for estimating non-renewable emergy from nature (N) and from the economy (F) show its high potential when dealing with sustainability assessment of regions, where data availability is scarce.

Key-words: Sustainability. SUAPRO. GIS. Multicriteria Analysis. MATOPIBA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	24
Figura 2 – Modelos conceituais de sustentabilidade com três dimensões	28
Figura 3 – Modelos Conceituais de Sustentabilidade com quatro dimensões	29
Figura 4 – Modelos de Sustentabilidade: Fraca, Média e Forte	30
Figura 5 – Modelo dos Cinco Setores de Avaliação da Sustentabilidade-5SEnSU...58	
Figura 6 – Projeções da produção de grãos e área plantada no MATOPIBA (Safr 2015 a 2025)	65
Figura 7 – Estrutura do ASUPRO com base no PDCA	70
Figura 8 – Fluxograma dos estágios do ASUPRO.	77
Figura 9 – Mapa de uso e ocupação do solo - MATOPIBA 2018.....	79
Figura 10 – Imagem DMSP composição de luzes noturna	80
Figura 11 – Delimitação Territorial do MATOPIBA.	81
Figura 12 – Diagrama de energia da região do MATOPIBA	85
Figura 13 – Modelo de avaliação de sustentabilidade - 5SEnSU do MATOPIBA	86
Figura 14 – Potencial de aquecimento global (GPW) em tCO ₂ eq/hab. dos municípi do MATOPIBA (2000 - 2018)	90
Figura 15 – PIB per capita dos municípios do MATOPIBA em 2017.....	92
Figura 16 – Índice de GINI dos municípios do MATOPIBA (2000 - 2018).....	93
Figura 17 – Renda per capita dos Municípios do MATOPIBA (2000 - 2018)	95
Figura 18 – Índice de desenvolvimento humano municipal - IDHM dos municípi MATOPIBA (2000 – 2018)	97
Figura 19 – Número de conflitos por terra no MATOPIBA (1996 - 2016).	99
Figura 20 – Dinâmica do uso e ocupação da terra no MATOPIBA entre 1990 e 2018	101
Figura 21 – Representação esquemática do procedimento metodológico.....	103
Figura 22 – Gráfico dos indicadores ponderados de sustentabilidade (ISM)	109
Figura 23 – Indicadores de sustentabilidade por setor (ISMES)	110
Figura 24 – Indicador de sustentabilidade global (WSI)	112
Figura 25 – Índice de sustentabilidade global (WSI otimizado para 2018).....	123
Figura 26 – Luzes noturnas - DMSP do MATOPIBA (1992 - 2000)	166
Figura 27 – Luzes noturnas - DMSP do MATOPIBA (2010 - 2012)	166
Figura 28 – Valor estimado das luzes para ano 2018 (tendência)	167

Figura 29 – Coeficiente de calibração (SOL).....	167
Figura 30 – Correção das luzes (SOL/ha) e <i>Empower density</i> (sejN+F/ha).....	167
Figura 31 – Mapa das estações meteorológicas ativas no MATOPIBA	178
Figura 32 – Mapa de energia solar em sej/ha.ano do MATOPIBA	179
Figura 33 – Áreas e territórios legalmente atribuídos no MATOPIBA (2014)	180
Figura 34 – Tipos de vegetação do bioma cerrado no MATOPIBA.....	183
Figura 35 – Modelo digital de elevação do MATOPIBA	185
Figura 36 – Bacias hidrográficas no MATOPIBA.....	186
Figura 37 – Sub-bacias hidrográficas do MATOPIBA	187
Figura 38 – Zonas climáticas do MATOPIBA.....	188
Figura 39 – Período de seca no MATOPIBA.....	188
Figura 40 – Classe de solo do 1º nível do sistema brasileiro de classificação de solos no MATOPIBA.....	191
Figura 41 – Campos de petróleo e gás natural e títulos minerários no MATOPIBA.....	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ferramentas e Abordagens tradicionais para avaliação de Sustentabilidade Ambiental.....	32
Tabela 2 – Índices de sustentabilidade mais encontrados na literatura	35
Tabela 3 – Trabalhos que utilizaram eMergia e SIG para avaliar a sustentabilidade ambiental de regiões	53
Tabela 4 – Escolha de pesos método individualista.....	76
Tabela 5 – Indicadores dos Setores S1 e S2.....	90
Tabela 6 – Indicadores dos Setores S3, S4 e S5.....	100
Tabela 7 – Estatísticas das classes para 1990 e 2018 e mudança de área uso e ocupação do solo entre esses anos	102
Tabela 8 – Soma das luzes (SOL) e <i>Empower density</i> não renovável NRED (sejN+F/ha), para região do MATOPIBA.....	104
Tabela 9 – EMergia do MATOPIBA em 1990.....	105
Tabela 10 – EMergia do MATOPIBA em 2000.....	105
Tabela 11 – EMergia MATOPIBA em 2010.....	106
Tabela 12 – EMergia MATOPIBA em 2018.....	106
Tabela 13 – Indicadores de Sustentabilidade do MATOPIBA	107
Tabela 14 – Faixa de valores de incertezas para indicadores e metas do MATOPIBA.....	115
Tabela 15 – Análise de incertezas do WSI pelo método de Monte Carlo.....	116
Tabela 16 – Variação no aumento da eMergia do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI	118
Tabela 17 – Variação na redução da Perda de Solo e Floresta do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI.....	118
Tabela 18 – Variação na redução do GWP do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI	118
Tabela 19 – Variação na redução da Perda de Biodiversidade do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI.....	119
Tabela 20 – Variação no aumento do PIB/Cap do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI	119
Tabela 21 – Variação na redução do índice de GINI do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI	119

Tabela 22 – Variação de aumento no número de empregos do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI.....	120
Tabela 23 – Variação no aumento da Renda/Cap do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI	120
Tabela 24 – Variação de aumento do IDHM do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI	120
Tabela 25 – Variação na redução dos Conflitos de Terra do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI.....	121
Tabela 26 – Ação proposta de melhorias na sustentabilidade	122
Tabela 27 – Porcentagem por categoria e critério.....	157
Tabela 28 – Pesos sugeridos para serem usados no ASUPRO	157
Tabela 29 – Setor 1 - Indicadores ambientais	158
Tabela 30 – Setor 2 - Indicadores ambientais	158
Tabela 31 – Setor 3 - Indicadores econômicos	159
Tabela 32 – Setor 4 - Indicadores sociais	159
Tabela 33 – Setor 5 - Indicadores sociais	160
Tabela 34 – Memorial de cálculo eMergia.....	161
Tabela 35 – Fluxos de recursos	163
Tabela 36 – Transformidade utilizada	165
Tabela 37 – Dinâmica do uso e ocupação do solo no MATOPIBA (área em ha)	168
Tabela 38 – Perda da vegetação natural	169
Tabela 39 – Perda de solo + floresta.....	169
Tabela 40 – Total das emissões do MATOPIBA para energia, processos industriais, agropecuária e resíduos, para os anos (1990, 2000, 2010 e 2018)	169
Tabela 41 – Perda da biodiversidade.....	169
Tabela 42 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 1990	170
Tabela 43 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 2000	170
Tabela 44 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 2010	170
Tabela 45 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 2018	170
Tabela 46 – Área de cultivo de grãos no MATOPIBA (1990, 2000, 2010 e 2018) ..	171
Tabela 47 – Valores médios em sej/ha/ano para Fertilizantes, Diesel, Herbicidas e Pesticidas (1990).....	172
Tabela 48 – Valores médios em sej/ha/ano para Fertilizantes, Diesel, Herbicidas e Pesticidas (2000).....	172

Tabela 49 – Valores médios em sej/ha/ano para Fertilizantes, Diesel, Herbicidas e Pesticidas (2010).....	173
Tabela 50 – Valores médios em sej/ha/ano para fertilizantes, diesel, herbicidas e pesticidas (2018)	173
Tabela 51 – <i>Empower density</i> dos estados que formam o MATOPIBA	174
Tabela 52 – IDHM dos estados que formam o MATOPIBA (2010)	174
Tabela 53 – Índice de GINI dos estados que formam o MATOPIBA (2010)	174
Tabela 54 – Renda média per capita dos estados que formam o MATOPIBA (2010)	174
Tabela 55 – Taxa do número de empregos nos estados que formam o MATOPIBA (2010).....	175
Tabela 56 – Valor do PIB per capita dos estados que formam o MATOPIBA (2015).....	175
Tabela 57 – Fonte de dados.....	176
Tabela 58 – Indicadores normalizados (1990, 2000, 2010 e 2018).....	177
Tabela 59 – Lista das estações meteorológicas ativas no MATOPIBA.....	178
Tabela 60 – MATOPIBA número e área dos estabelecimentos por grupos de área em % (2006 e 2017).....	182
Tabela 61 – Temperatura média mensal e anual (graus celsius).....	189
Tabela 62 – Tabela de precipitação no MATOPIBA (média mensal e anual)	189
Tabela 63 – Objetivos de desenvolvimento sustentável.....	194

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ASUPRO – Procedimento de Avaliação de Sustentabilidade para Operações e Processos de Produção
- DMSP – Programa de Satélite Meteorológicos de Defesa da Força Aérea dos Estados Unidos;
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
- FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;
- FJP – Fundação João Pinheiro;
- GWP – Potencial de Aquecimento Global;
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal;
- IISD – Instituto Internacional para o Desenvolvimento;
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada;
- ISMES – Indicador de Sustentabilidade Meta do Setor;
- LCA – Avaliação do Ciclo de Vida;
- MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento;
- NOAA – National Centers For Environmental Information
- ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável;
- OLS – Operational Linescan System;
- ONU – Organização das Nações Unidas;
- PDCA – Círculo de melhoria contínua (Plan, Do, Check e Act = Planejar, Fazer, Verificar e Agir);
- PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento;
- SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
- SEEG – Sistema de Estimativas de Gases de Efeito Estufa;
- SIG – Sistemas de Informação Geográfica;
- WSI – Índice de Sustentabilidade Global.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	18
2 OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo geral	22
2.2 Objetivos específicos	22
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade.....	23
3.2 Modelos de Sustentabilidade.....	27
3.3 Indicadores para avaliar Sustentabilidade.....	33
3.4 Avaliação da sustentabilidade de regiões	40
3.5 Ferramentas e métodos para avaliação de sustentabilidade ambiental (visão Top-Down) de regiões	44
3.5.1 A pegada ecológica	44
3.5.2 Análise de fluxo de material e energia.....	45
3.5.3 Tabelas de entrada-saída.....	46
3.5.4 Contabilidade ambiental em eMergia	47
3.5.5 Índice de Sustentabilidade baseado em imagens de satélites	48
3.6 EMergia e SIG	50
3.7 Decisão Multicritério e o modelo dos cinco setores (5SenSu)	55
3.8 Região do MATOPIBA.....	63
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	70
4.1 Procedimento para avaliação da sustentabilidade de operações e processos da produção (ASUPRO)	70
4.1.1 Estágio 1 (PLAN) – Contextualizando a avaliação	71
4.1.2 Estágio 2 (DO) – Escolha e obtenção dos indicadores.....	72
4.1.3 Estágio 3 (CHECK) – Quantificando a Sustentabilidade	73
4.1.4 Estágio 4 (ACT) – Proposta de melhorias das operações e processos de produção	76
4.1.5 Fluxograma dos Estágios do ASUPRO	77
4.2 Uso do SIG como ferramenta auxiliar na obtenção de indicadores em eMergia.....	78

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1 Estágio 1 (PLAN) Contextualizando a avaliação	81
5.1.1 Período de Avaliação.....	82
5.1.2 Coleta de dados primários.....	83
5.1.3 Diagrama de Energia.....	84
5.2 Estágio 2 (DO) Escolha dos indicadores, cálculos e metas para alimentar o modelo 5SEnSU	86
5.2.1 EMergia (<i>Empower density</i>)	88
5.2.2 Biodiversidade	88
5.2.3 Emissões de Gases de Efeito Estufa-GEE.....	89
5.2.4 PIB.....	91
5.2.5 Índice de GINI.....	92
5.2.6 Emprego e Renda.....	94
5.2.7 Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM	95
5.2.8 Conflitos de Terra	97
5.2.9 Uso e Ocupação do Solo no MATOPIBA	100
5.2.10 Imagens de satélites de Luzes noturnas (DMSP-OLS).....	102
5.2.11 Resumo dos valores dos indicadores e metas selecionadas	107
5.3 Estágio 3 (CHECK) – Quantificando a Sustentabilidade do MATOPIBA	107
5.3.1 Estabelecendo Pesos para os Indicadores.....	108
5.3.2 Análise de Incertezas	112
5.4 Estágio 4 (ACT) Ações de melhorias das operações e processos de produção no MATOPIBA	116
5.4.1 Análise de Sensibilidade do WSI do MATOPIBA para o ano de 2018.....	117
5.4.2 Ações para melhoria da sustentabilidade no MATOPIBA.....	121
6 CONCLUSÕES	124
7 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS	127
REFERÊNCIAS	128
ANEXOS	156
Anexo A: Símbolos utilizados para elaborar diagrama do sistema	156
APÊNDICES	157

Apêndice A – Abordagem alternativa na escolha de pesos para indicadores, setores e / ou punições a serem usados no ASUPRO	157
Apêndice B – Planilha de cálculos indicador de sustentabilidade WSI	158
Apêndice C – Memorial de cálculo eMergia.....	161
Apêndice D – Fluxos dos recursos	163
Apêndice E – Transformidade	165
Apêndice F – Cálculo das luzes noturnas.....	166
Apêndice G – Dinâmica do uso e ocupação do solo no MATOPIBA.....	168
Apêndice H – Perda de vegetação natural e perda de solo, emissões e biodiversidade.....	169
Apêndice I – Dados perda do solo na agricultura – EMBRAPA.....	170
Apêndice J – Áreas cultivadas com grãos no MATOPIBA.....	171
Apêndice K – Fertilizantes, Diesel, Herbicidas/pesticida	172
Apêndice L – Critérios das metas estabelecidas para indicadores usados no ASUPRO.....	174
Apêndice M – Fonte de dados	176
Apêndice N – Indicadores normalizados do MATOPIBA	177
Apêndice O – Dados Estação Meteorológicas.....	178
Apêndice P – Caracterização do MATOPIBA	180
Apêndice Q – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS	194
Apêndice R – PIB percapita e IDHM por municípios do MATOPIBA.....	196
Apêndice S – Indicador de Renda percapita por municípios do MATOPIBA	205
Apêndice T – Índice de GINI por municípios do MATOPIBA	215
Apêndice U – Indicador do Potencial de Aquecimento global (GWP) por habitantes nos municípios do MATOPIBA	223

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A visão de um mundo verdadeiramente sustentável agora abrange justiça intergeracional e social, erradicação da pobreza e da fome, proteção dos direitos humanos, igualdade de gênero, resiliência às mudanças climáticas, consumo e produção sustentáveis, paz, governança e parcerias. Talvez tão significativo quanto essa visão ampliada de um mundo justo e sustentável agora se traduz em metas e indicadores mensuráveis (IISD, 2020).

O Relatório Brundtland e agenda 21 ressaltam a necessidade de pesquisar e desenvolver novas ferramentas para avaliação da sustentabilidade. Além disso, a sustentabilidade é uma meta móvel e não há nenhum estado a ser alcançado (GIBSON *et al.*, 2005) e a natureza do conceito combinada com a complexidade das questões significa que prevalece muita incerteza. Os processos de avaliação de sustentabilidade precisam acomodar a precaução e a adaptação com base na flexibilidade, na expectativa de aprender e antecipar surpresas (GIBSON, 2006).

Nesse contexto, qualquer variável, e conseqüentemente qualquer indicador (descritivo ou normativo), tem uma significância própria. A mais importante característica do indicador, quando comparado com os outros tipos ou formas de informação, é a sua relevância para a política e para o processo de tomada de decisão. Assim, para ser representativo, o indicador tem que ser considerado importante tanto por quem toma decisões quanto pelo público (GALLOPIN, 1996). Esse entendimento integrado é essencial para implementar estratégias de desenvolvimento sustentável durante o planejamento em escala regional (VARGA; KUEHR, 2007).

A escala regional é definida como a escala espacial abaixo de uma nação, geralmente incluindo duas ou mais comunidades (GRAYMORE; SIPE; RICKSON, 2008), com limites determinados naturalmente ou arbitrariamente, e cobrindo dezenas a milhares de quilômetros (CAMPBELL, 1998). Os métodos de avaliação podem ser aplicados a atividades de consumo (estilos de vida dos habitantes), atividades de produção (ou seja, atividades econômicas) ou ambas (LOISEAU *et al.*, 2012).

O setor do agronegócio, sofre pressões internacionais para reduzir o desmatamento e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a fim de mitigar a mudança do clima ainda neste século (LAPOLA *et al.*, 2014), ao mesmo tempo, precisa atender a demanda crescente da produção de alimentos. Segundo o Ministério

da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), um dos maiores e atuais desafios para o desenvolvimento brasileiro é manter o crescimento da produção agropecuária e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos sobre os recursos naturais (MAPA, 2016).

Desde 1990, o governo brasileiro reduziu seu envolvimento direto na agricultura. Por outro lado, o setor privado aumentou sua participação, e novas fronteiras agrícolas foram criadas no bioma cerrado (ALSTON *et al.*, 2016). A Fronteira agrícola é definida como uma região dominada por vegetação natural que passou a enfrentar intensa ocupação de terras ligadas à agricultura. A mais recente fronteira agrícola do cerrado é denominada de MATOPIBA¹. Nessa região, a infraestrutura é pobre, os preços das terras são baratos, e o clima e relevo são favoráveis para as atividades do agronegócio (MAPA, 2016).

Após a expansão do agronegócio na região, o governo brasileiro emitiu o Decreto Federal nº 8.447, em 6 de maio de 2015, estabelecendo um Plano de Desenvolvimento Agropecuário para o MATOPIBA. O objetivo desse decreto era promover e coordenar políticas públicas para o desenvolvimento econômico e sustentável das atividades agropecuárias na região. O plano propõe diretrizes para programas, projetos e ações federais a serem realizadas com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população local e o crescimento econômico do país (BRASIL, 2015).

Mesmo objetivando o desenvolvimento sustentável da região, o Plano de Desenvolvimento Agropecuário (PDA-MATOPIBA), vem recebendo críticas a expansão da fronteira agrícola brasileira nessa área do cerrado, por diversos impactos socioeconômicos provenientes da nova dinâmica de exploração econômica do território, principalmente pela soja (BUAINAI; GARCIA; VIEIRA FILHO, 2017). Apesar da grande importância econômica, ainda surgem questionamentos sobre até que ponto os investimentos mobilizados resultarão em atividades mais sustentáveis e em que medida o agronegócio terá força para liderar o desenvolvimento em estados reconhecidamente pobres e com uma densidade populacional elevada no meio rural (BUAINAI; GARCIA; VIEIRA FILHO, 2017). Além disso, novos modelos estão sendo utilizados para melhorar a exploração e uso da terra, e são usados para avaliar dentro das várias correntes teóricas da economia e do meio ambiente. Essas preocupações são recorrentes com o impacto do funcionamento atual do sistema econômico sobre

¹ O termo MATOPIBA é um acrônimo com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Limite regulamentado pelo Decreto Federal nº 8447/2015.

os sistemas naturais e a capacidade que o sistema natural tem para sustentar – no futuro – as atividades humanas (ANDRADE; ROMEIRO, 2009).

O desenvolvimento sustentável da região é baseado nas metas do PDA-MATOPIBA. Contudo, observam-se as projeções econômicas positivas e com baixos indicadores sociais (IPEA; PNUD; FJP, 2019), isso levanta dúvidas, se crescimento econômico contribui para aumentar sua sustentabilidade. Por outro lado, o potencial agrícola encontrado na região chama a atenção na discussão sobre a ocupação e a sustentabilidade. Para que esse plano seja bem sucedido, é importante compreender a dinâmica de ocupação dessa região e avaliar como o agronegócio contribui para sustentabilidade, considerando indicadores no aspecto econômico, social e ambiental.

Nesse sentido, as avaliações de sustentabilidade são fundamentais para apoiar políticas, estratégias e planos de ação em direção a um futuro sustentável. De acordo com Giannetti *et al.* (2019), as avaliações de sustentabilidade devem ser fundamentadas em bases científicas, no estabelecimento de definições, com base em modelos conceituais representativos e indicadores. Do ponto de vista operacional, essas considerações fomentam o debate entre os pesquisadores sobre como avaliar a sustentabilidade combinando os aspectos econômicos, sociais e ambientais da vida humana (CRACOLICI; CUFFARO; LACAGNINA, 2018; PULSELLI *et al.*, 2006, SALVATI; CARLUCCI, 2014).

Para Agostinho *et al.* (2019), operacionalizar as resoluções do Relatório de Brundtland, em direção a graus mais alto de sustentabilidade, não era tarefa fácil, assim como não é o trabalho da comunidade científica em classificar, medir e propor modelos para representar a sustentabilidade. Contudo, a maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre sustentabilidade dão maior destaque para o setor econômico, e a falta de um modelo conceitual de avaliação de sustentabilidade pode ser uma barreira ainda não superada para suportar cientificamente essas discussões.

Os estudos que avaliam sustentabilidade são baseados no uso de indicadores, e a eMergia é um dos indicadores mais importantes para avaliar a sustentabilidade de regiões. No entanto, a falta de dados torna difícil seu uso na escala regional. Recentemente há o modelo de Procedimento de Avaliação de Sustentabilidade para Operações e Processos de Produção (ASUPRO), usado para avaliar sustentabilidade, mas até o momento, esse modelo só foi aplicado em sistemas de transporte. Esta tese faz uma avaliação multicritério da região do MATOPIBA, usando o procedimento do ASUPRO, que é apoiado pelo método de gestão de quatro etapas do PDCA (planejar,

fazer, verificar e agir), inclui também os principais procedimentos encontrados na LCA ISO 14.040 (ISO, 2006), o modelo de sustentabilidade de cinco setores (5SEnSU), filosofia de programação de metas, Análise de incerteza e análise de sensibilidade, combinado com ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A combinação do procedimento do ASUPRO e SIG é proposta para superar a dificuldade de obter indicadores sobre regiões. O SIG é usado como ferramenta para criar mapas e extrair informação de dados ambientais (por exemplo, uso e ocupação do solo). Nesta tese propõe-se o uso de ferramentas de SIG como um proxy para obter dados sobre desempenho em eMergia de regiões e pode ser utilizado em qualquer *framework* para avaliar sustentabilidade. Essas informações são fundamentais para se aplicar o ASUPRO em escala regional.

Essa abordagem conceitual estruturada num *framework* de avaliação multicritério, que combina o uso do ASUPRO e SIG, ainda não foi aplicada em estudos regionais e pode ser considerada como uma alternativa inovadora para indicar diferentes perspectivas na avaliação de sustentabilidade. Dessa forma, este trabalho busca contribuir nas avaliações de sustentabilidade de regiões, aplicando o ASUPRO no MATOPIBA como estudo de caso, além de contribuir com o uso sinérgico entre o ASUPRO e SIG, onde o uso do SIG permitiu obter uma série de dados brutos que tornaram possível calcular os indicadores para alimentar o modelo 5SenSu. O uso do SIG foi fundamental para extrair dados de forma mais rápida para regiões (o que é difícil quando não tem-se banco de dados) e pode inviabilizar essas avaliações em diferentes escalas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aplicar o Procedimento de Avaliação de Sustentabilidade de Sistemas de Produção (ASUPRO), simultaneamente ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) para avaliar a sustentabilidade de regiões: o MATOPIBA como estudo de caso.

2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a dinâmica do uso do solo na região do MATOPIBA antes e após o avanço do agronegócio (anos de 1990, 2000, 2010 e 2018);
- b) Obter os indicadores de eMergia utilizados no ASUPRO através do Sistema de Informações Geográficas (SIG);
- c) Quantificar a sustentabilidade na região do MATOPIBA utilizando o ASUPRO;
- d) Discutir sobre a relação entre agronegócio e sustentabilidade na região do MATOPIBA, sugerindo ações para melhorar seu desempenho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável é a base da avaliação da sustentabilidade. O desenvolvimento sustentável foi descrito pela primeira vez pela Comissão Brundtland em 1987: como desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades (WCED, 1987).

Os princípios do desenvolvimento sustentável estiveram na base da Agenda 21, durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (ONU, 2017). As ideias ali contidas foram assimiladas pelas organizações do sistema das Nações Unidas e diferentes organizações internacionais foram progressivamente incorporadas às agendas de numerosos países. Desde então, o conceito se popularizou e segundo Sala, Farioli e Zamagni (2013), o desenvolvimento sustentável deveria ser o princípio orientador para abordar políticas e estratégias de desenvolvimento em nível global.

Toda decisão de política deve ser tomada levando em consideração não apenas a perspectiva econômica, mas pelo menos também as sociais e ambientais (BÖHRINGER; JOCHEM, 2007), apesar da consideração de novas dimensões de sustentabilidade, por exemplo as institucionais, culturais e tecnológicas, o principal esforço deve ser em identificar, compreender e medir, antes de mais nada, as dimensões econômicas, sociais e ambientais (SALA; FARIOLI; ZAMAGNI, 2013). Outro aspecto importante é a distinção dos conceitos de desenvolvimento, associado às noções de sustentabilidade e crescimento econômico, paradigma que perdurou por muitas décadas.

As Nações Unidas lançaram em 2015, um novo modelo de avaliação da sustentabilidade que resultaram nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 (Figura 1). Esses objetivos contemplam as diferentes áreas do setor social, econômico e ambiental, que precisam ser considerados de forma integrada para garantir a sustentabilidade ao longo do tempo (ONU, 2017). Os novos 17 ODS com 169 metas específicas se baseiam nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), e os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS) objetivam acompanhar a sustentabilidade do padrão de

desenvolvimento do país. Parte da estratégia de desenvolvimento sustentável é um conjunto de indicadores globais usados para monitorar e avaliar o progresso em relação aos objetivos gerais e aos objetivos específicos (ONU, 2017).

Figura 1 – Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2017).

No modelo de sustentabilidade da ONU, Os ODS, suas metas e indicadores podem ajudar a organizar ideias, ações, projetos e programas que possam realmente impactar e mudar a realidade mundial. No entanto, algumas fragilidades são apontadas por alguns autores quanto a sua implementação. Por exemplo, Wackernagel, Hanscom e Lin (2017) destacam que os ODS são objetivos de curto prazo, reivindicando esforços para abraçar de forma mais robusta a realidade de restrições de recursos e mudanças climáticas, e o desenvolvimento econômico deve entender e respeitar a Biocapacidade que sustenta a economia. Enquanto Pearson (2016) argumenta que será difícil definir uma maneira de implementar os ODS e alocar eventualmente responsabilidade durante esse processo, devido a extensão dessa agenda. Agostinho *et al.* (2019) acrescentam que os ODS da ONU são os esforços mais recente na modelagem da sustentabilidade, porém, outros esforços importantes foram realizados durante as últimas décadas.

Ao adotar a agenda 2030 e seus 17 objetivos, a comunidade mundial reafirmou seu compromisso com o desenvolvimento sustentável, a garantia de crescimento econômico sustentado à inclusão social e a proteção ambiental e de fazer isso de

forma colaborativa e em paz (ONU, 2017). A agenda 2030 é universal, transformadora e baseada em direitos, sendo um plano de ação ambicioso para países e organismos da ONU e todos os outros agentes de desenvolvimento.

As analogias entre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável avançam na direção da compreensão das inter-relações de um único sistema composto pelas atividades humanas e ambientais. Tal compreensão possui uma dupla finalidade: satisfazer a necessidade da humanidade; sustentar os sistemas que dão suporte à vida no planeta (BRINSMEAD; HOOKER, 2011; LAMBIN, 2005). Na visão de Feil e Schreiber (2017), o desenvolvimento sustentável aproxima dois ideais antagônicos – o capitalismo e a ecologia – em um objetivo comum para melhorar o nível da qualidade do sistema (sustentabilidade).

Para Moffatt (2007), o desenvolvimento sustentável garante a sustentação de uma atividade ou processo para que o sistema funcione por longo prazo. Bañon Gomis *et al.* (2011) definem o desenvolvimento sustentável como uma forma habitual de agir; por consequência, as pessoas devem ter a intenção de evitar efeitos danosos para os domínios ambientais, sociais e econômicos. Esses conceitos apontam para o progresso e desenvolvimento humano, em nível de qualidade de vida, por meio do crescimento econômico contínuo (BARTER; RUSSELL, 2012), ou seja, os impactos incidem na população humana e no seu bem-estar (MOLDAN; JANOUŠKOVÁ; HÁK, 2012).

O conceito de desenvolvimento sustentável de Ayres (1996) defende que a humanidade deve agir em relação à natureza e ser responsável pelas suas próprias gerações. Lozano (2012) destaca que o crescimento econômico deve basear-se na justiça social e na utilização eficiente dos recursos naturais. Harlow, Golub e Allenby (2013) complementa que o crescimento econômico e a modernização são características dominantes do desenvolvimento sustentável. Em outras palavras, o desenvolvimento sustentável pode ser uma estratégia utilizada em longo prazo para melhorar a qualidade de vida (bem-estar) da sociedade. Essa estratégia deve integrar aspectos ambientais, sociais e econômicos, em especial considerando as limitações ambientais, devido ao acesso aos recursos naturais de forma contínua (FEIL; SCHREIBER, 2017).

A sustentabilidade é definida por Bell e Morse (2008) e Sartori, Latronico e Campos (2014) como a capacidade do sistema global, contendo a integração do ambiental humano como um sistema indissociável, de manter sua qualidade e/ou

propriedade em um nível próximo, igual ou superior à sua média histórica, considerando-se as alterações dinâmicas provocadas pelas variáveis ao longo do tempo. Em termos ecológicos, a sustentabilidade é definida por Costanza e Patten (1995) como um sistema sustentável é aquele que sobrevive ou permanece. Biologicamente, isso significa evitar a extinção, e viver para sobreviver e se reproduzir. Economicamente, isso significa evitar colapsos, resguardar-se contra instabilidades e descontinuidades.

Por definição, a sustentabilidade está sempre ligada à temporalidade e, em particular, à longevidade. Quando um sistema atinge a sustentabilidade, não significa por um tempo infinito, mas um período que seja consistente com as escalas de tempo e de espaço (COSTANZA; PATTEN, 1995). Por exemplo, em ecossistemas maduros todos os resíduos e subprodutos são reciclados e utilizados de alguma forma no próprio sistema ou totalmente dissipados (COSTANZA, 1999).

Além disso, a sustentabilidade necessita de uma avaliação quantitativa, ou seja, quantificar ou mensurar o nível ou a qualidade de um sistema (TODOROV; MARINOVA, 2011). Essa mensuração pode ser realizada por meio de indicadores e índices (MOLDAN; JANOUŠKOVÁ; HÁK, 2012; SINGH *et al.*, 2009). A sustentabilidade pode ser resumida como um processo que mensura o grau ou nível da qualidade do sistema complexo ambiental humano com o intuito de avaliar a distância deste em relação ao sustentável. Os indicadores, por sua vez, podem identificar quais os aspectos – ambiental, social ou econômico – caso o sistema não atinja o nível sustentável desejado – são responsáveis e quais devem ser reposicionados ou corrigidos (FEIL; SCHREIBER, 2017).

Historicamente, o progresso tecnológico tem favorecido a produtividade de capital e de trabalho ao custo da produtividade do recurso. O desenvolvimento sustentável leva a uma direção oposta desse tipo de progresso técnico: um progresso que consiga mais serviços por unidade de recurso, ao invés de um que apenas utilize mais recursos para operar o sistema (DALY, 1990). Segundo Daly (1990), há dois princípios básicos a serem atendidos na sustentabilidade ambiental:

- 1º princípio: Os recursos naturais não devem ser consumidos a uma velocidade que impeça sua recuperação;
- 2º princípio: A produção de bens não deve gerar resíduos que não possam ser absorvidos pelo ambiente de forma rápida e eficaz.

A adoção desses princípios tem de estar relacionada diretamente com o respeito aos limites do meio ambiente e com a capacidade de suporte dos ecossistemas. De acordo com Giannetti *et al.* (2007), a aplicação desses princípios em nível global direciona ações locais em prol da conservação dos sistemas de sustentação da vida e da biodiversidade, do aumento de uso de recursos renováveis, diminuição da utilização de recursos não-renováveis e do respeito aos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas. No entanto, esses recursos da terra são limitados e o crescimento infinito é impossível, segundo os princípios termodinâmicos. Além disso, a demanda por recursos, a produção de resíduos e o consumo estão aumentando de modo que todos os princípios de desenvolvimento sustentável propostos por Herman Daly estão sendo violados (NICCOLUCCI *et al.*, 2012).

O avanço na classificação e modelagem da sustentabilidade pode ser considerado como um passo fundamental, nas avaliações de sustentabilidade. Para Agostinho *et al.* (2019), é necessário que os estudos encontrados na literatura apresentem claramente o modelo conceitual que sustenta seus critérios na escolha de tais indicadores. Caso contrário, essa complexidade e problemas de interpretação continuarão a existir na literatura científica e na vida real, seja pela sociedade ou tomadores de decisão.

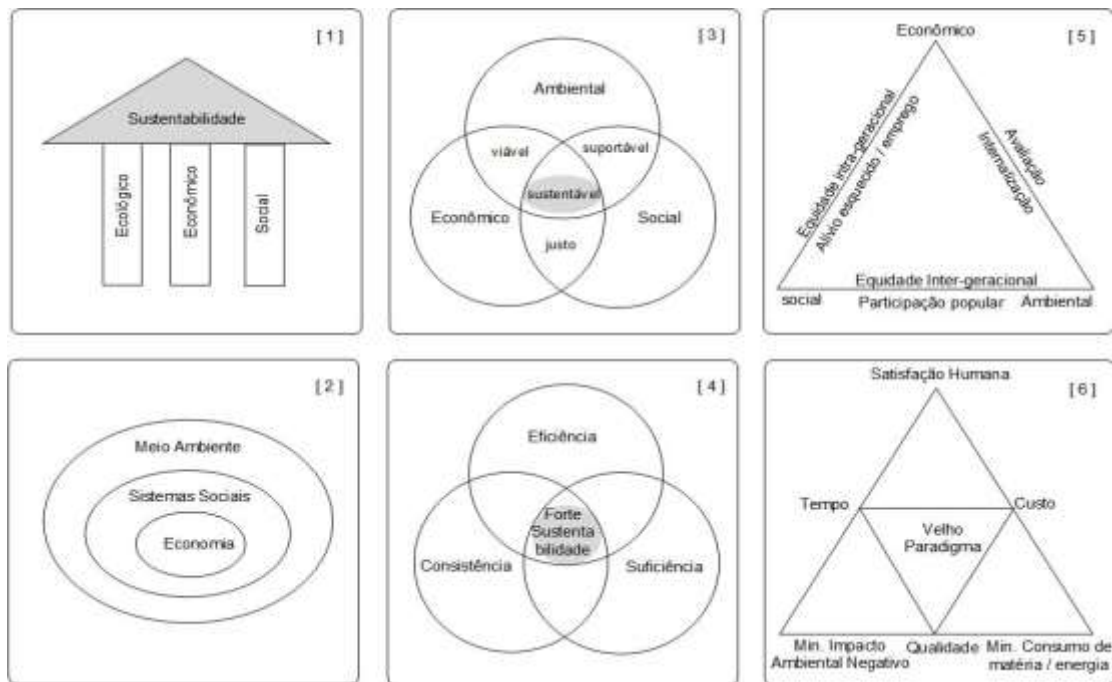
3.2 Modelos de Sustentabilidade

O significado de sustentabilidade evoluiu ao longo dos anos e tornou-se amplamente discutido ao longo do tempo, atravessando muitas disciplinas e ciências até que emergiu como uma ciência de sustentabilidade interdisciplinar, autônoma na virada do século (KATES, 2012; SPANGENBERG, 2011; TURNER II, 2010). Como consequência dessa diversidade, várias interpretações e conceitos de implementação de sustentabilidade são encontrados na literatura.

A necessidade de integração entre as três dimensões Ambiental, Econômica e Social é abordagem mais aceita de sustentabilidade, também conhecida como *Tripple Bottom Line* (ELKINGTON, 1997). Essa abordagem permite *trade-offs* entre as esferas biofísica, social e econômica (ACOSTA-ALBA; VAN DER WERF, 2011). Uma visão integrativa e holística de desenvolvimento sustentável é viável para poder sustentar o progresso humano em todo o planeta e para uma escala temporal longa (DURAN *et al.*, 2015). Alcançar um desenvolvimento sustentável se tornou o grande

desafio da humanidade. Muitas tentativas com o objetivo de entender os conceitos de sustentabilidade foram desenvolvidas, produzindo vários modelos teóricos. Um resumo esquemático dos modelos mais recorrentes na literatura é apresentado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Modelos conceituais de sustentabilidade com três dimensões



Fonte: Adaptado de Ali-Toudert e Ji (2017), que baseou-se no trabalhos de [1] Spindler (2011); [2] Costanza e Wainger (1991), Neumayer (1999); [3] Kleine (2009), Spindler (2011); [4] Bott e Grassl (2013); [5] Munasinghe (1993); [6] Augenbroe e Pearce (2010).

O desenvolvimento sustentável é representado geralmente na figura de três pilares ou três círculos, agrupando de forma explícita ou tácita as dimensões meio ambiente, economia e sociedade. No entanto, existem diferentes pontos de vista sobre a relação exibida entre esses três tópicos em questão. No modelo 1, ecologia, economia e questões sociais são consideradas relativamente independentes entre si. A base para a sustentabilidade nesse modelo é a consideração dos capitais como autônomos, com pouca ou nenhuma interação entre os elementos (ALI-TOUDERT; JI, 2017). Esse ponto de vista é amplamente contestado devido à falta de consideração das interdependências entre os elementos (SPINDLER, 2011).

O modelo 2 destaca uma diferença hierárquica em que a economia está inserida nas atividades sociais, ambas estão inseridas no elemento ambiental. A hierarquia transita da economia definida na extremidade inferior para o ambiente abrangente (COSTANZA; WAINGER, 1991; NEUMAYER, 1999).

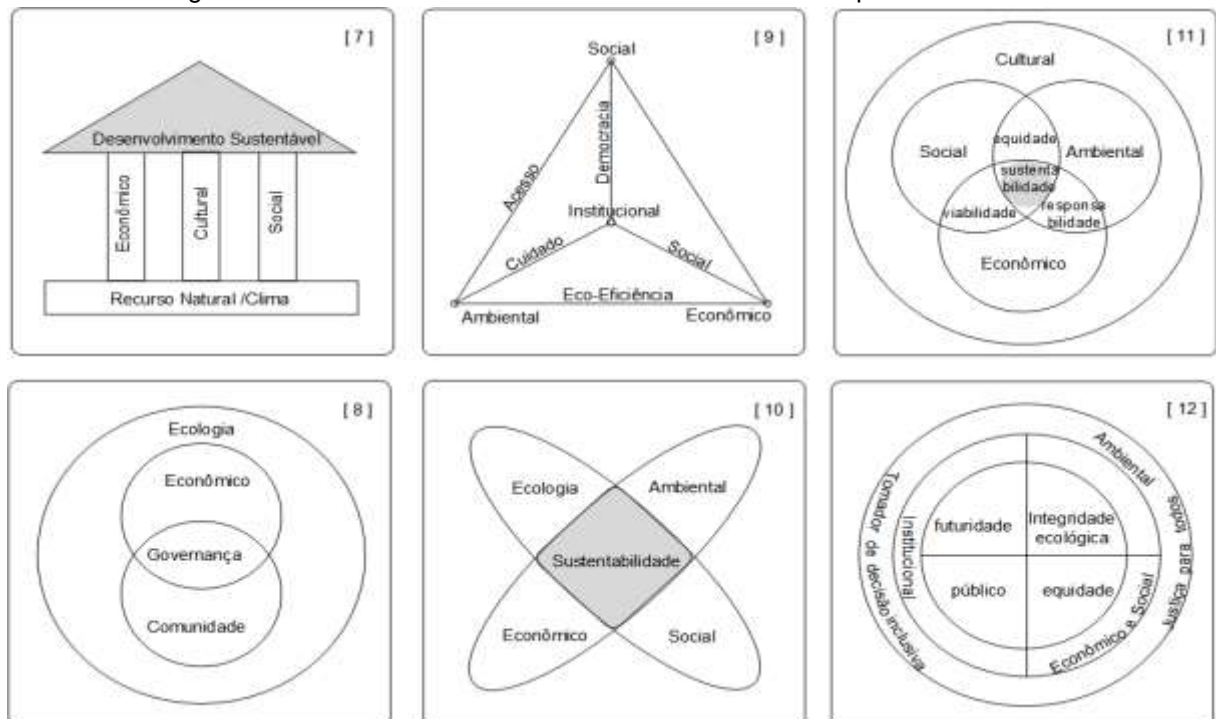
O modelo 3 é possivelmente o mais difundido, representa os elementos em um diagrama de circuito interativo (ou diagrama de venn), onde os elementos são considerados para interagir uns com os outros e a relação entre eles leva a objetivos de sustentabilidade compartilhados expressos por viabilidade, suportabilidade e equidade (KLEINE, 2009; SPINDLER, 2011).

No modelo 4, a principal diferença é considerar eficiência, suficiência e consistência como metas de desempenho, em vez das dimensões mencionadas no modelo 3; enquanto isso, as três dimensões básicas da ecologia, sociedade e economia permanecem tácitas (ALI-TOUDERT; JI, 2017).

O modelo 5 também foca as interações entre os três tópicos principais da sustentabilidade (MUNASINGHE, 1993). O modelo 6 defende a mudança de um antigo paradigma, baseado em uma consideração equilibrada de tempo, custo e qualidade, para um novo paradigma com foco na satisfação humana, consumo reduzido e impacto ambiental mínimo (ALI-TOUDERT; JI, 2017).

Mais modelos introduzem outras dimensões como pilares adicionais, principalmente modelos de 4 pólos (Figura 3).

Figura 3 – Modelos Conceituais de Sustentabilidade com quatro dimensões

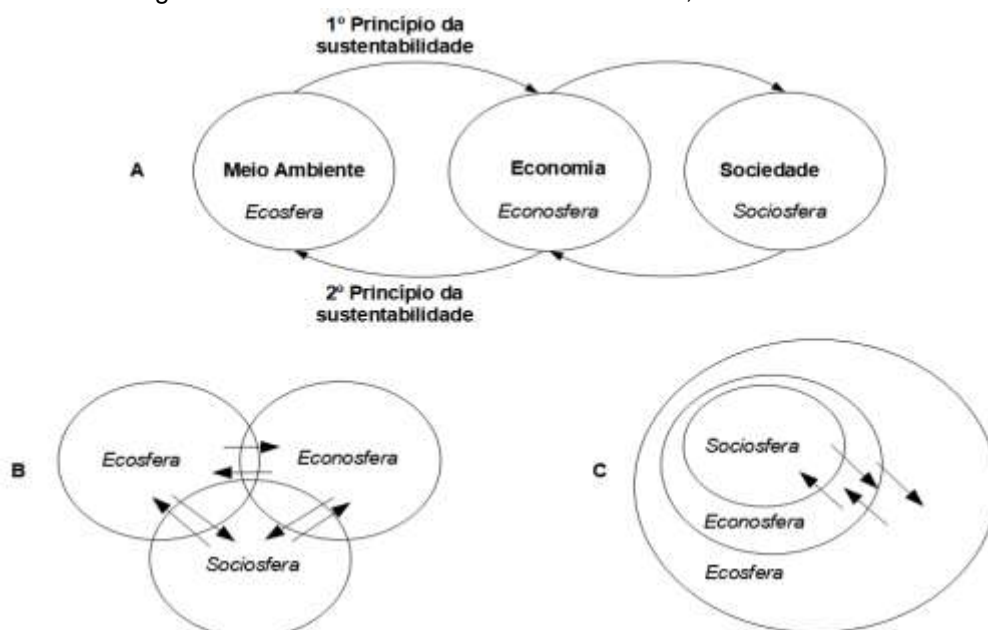


Fonte: Adaptado de Ali-Toudert e Ji (2017), que baseou-se nos trabalhos de [7] Spindler (2011); [8] Stoke (2008), Thwink (2016); [9] Spangenberg (1997), Valentin e Spangenberg (2000), Lozano (2008); [10] NZMCH (2006); [11] Hawkes (2001), Duxbury e Gillette (2007), Higgins (2015) e [12] Curwell *et al.* (2007).

Normalmente, cultura e governança são as dimensões adicionais contestadas como afetando a sustentabilidade de alguma maneira. Quando a cultura é adicionada, é vista como uma compreensão ampliada da dimensão humana representada até então pela sociedade. Este é o caso dos modelos (7, 10 e 11), a governança, por outro lado, adiciona o componente gerencial e de tomada de decisão, e introduz a responsabilidade política e institucional como um fator necessário para a implementação bem sucedida da sustentabilidade como nos modelos (8, 9 e 12). Essa é uma diversidade de termos usados na literatura para descrever o conceito de sustentabilidade. Considerando que alguns podem ser considerados intercambiáveis, como meio ambiente e ecologia, ou sociedade e comunidade (ALI-TOUDERT; JI, 2017).

De maneira geral, a economia neoclássica pressupõe que o capital natural pode ser substituído infinitamente pelo capital material (feito pelo homem). Nessa hipótese está inclusa a ideia de que o progresso tecnológico sempre superará os limites do crescimento impostos pelas reservas de recursos naturais. Por outro lado, esse estudo apresenta os três modelos de sustentabilidade fraca, média e forte, considerados nessa pesquisa (Figura 4), sendo estudados sobre a interação dos sistemas humanos (econoesfera e sociosfera) com o meio ambiente (ecosfera). Nestes modelos podem ser identificados os fluxos que se referem aos princípios de sustentabilidade de Herman Daly (GIANNETTI *et al.*, 2007).

Figura 4 – Modelos de Sustentabilidade: Fraca, Média e Forte



Fonte: Giannetti *et al.* (2007).

O modelo de sustentabilidade fraca (A) representa os sistemas humano e natural como compartimentos ilimitados em seu desenvolvimento, em que a soma de todos os capitais (ambiental, econômico e social) é mantida constante, sem diferenciação do tipo de capital (GIANNETTI *et al.*, 2007). O paradigma da "sustentabilidade fraca" afirma que o capital feito pelo homem é mais importante do que o capital natural (NEUMAYER, 1999). Em outras palavras, a sustentabilidade fraca não leva em conta os limites dos recursos naturais ou limites para o que pode ser substituído entre o capital natural e o produzido.

O modelo de sustentabilidade média (B) considera os três compartimentos (ecosfera, econosfera e sociosfera) como áreas de domínio comum, existindo outras áreas que são independentes. As interações de troca entre os sistemas (humanos) social e econômico possuem áreas que não dependem fortemente do sistema natural. Nesse modelo de sustentabilidade média, a soma dos três tipos de capital é mantida constante, porém a substituição entre os diferentes tipos de capital é parcial (GIANNETTI *et al.*, 2007).

No modelo de sustentabilidade forte (C), o meio ambiente contém os sistemas humanos, fornecendo recursos e prestando serviços ambientais. Esses recursos e serviços ambientais são a base do desenvolvimento econômico e são a fonte da real prosperidade humana. Os sistemas humanos estão contidos no sistema natural e a econosfera e a sociosfera não podem crescer além das limitações intrínsecas da biosfera (GIANNETTI *et al.*, 2007). A forte sustentabilidade, é baseada na ideia de capital natural não substituível (DOBSON, 1998). Nesse caso, não existe a substituição do capital, como nos outros modelos (fraco e médio), mas uma relação de complementação. Por exemplo, o desenvolvimento de novas fontes de energias renováveis para compensar quando uma fonte de energia é esgotada (GIANNETTI *et al.*, 2007). Em outras palavras, no modelo de sustentabilidade forte, o desenvolvimento social e econômico só pode ser alcançado se o capital natural for preservado e sua biocapacidade for respeitada.

O uso de modelos para avaliar a sustentabilidade pode fornecer informações para avaliar sistemas integrados natureza-sociedade, em curto ou longo prazo, em escalas global e local (NESS *et al.*, 2007). Uma variedade de abordagens e ferramentas é usada para discutir e avaliar sustentabilidade, e a escolha de ferramentas geralmente depende do contexto e da escala de análise (ACOSTA-MICHLIK *et al.*, 2011; BUYTAERT; CUESTA-CAMACHO; TOBÓN, 2011; US-EPA,

2013). Além disso, a avaliação de sustentabilidade pode ser uma ferramenta importante para tomada de decisão, podendo antecipar implicações de sustentabilidade em projetos, planos ou políticas (POPE; ANNANDALE; MORRISON-SAUNDERS, 2004). Baral e Holmgren (2015) propõem uma abordagem de avaliação baseada em parâmetros e indicadores por causa de sua relação com a facilidade de uso, flexibilidade e transparência. Algumas ferramentas e abordagens tradicionalmente usadas na avaliação de sustentabilidade ambiental é apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 – Ferramentas e Abordagens tradicionais para avaliação de Sustentabilidade Ambiental.

Ferramenta	Resumo de Descrição	Referência
Avaliação do Ciclo de Vida	Uma ferramenta para avaliar o desempenho ambiental, problemas e impactos do sistema de produção em forma sistêmica, desde aquisição de matéria prima até disposição final, de acordo com metas estabelecidas pelo escopo	Baelemans e Muys (1998), ISO (2006)
Avaliação de Impacto Ambiental	Uma ferramenta usada para avaliar o potencial do impacto ambiental de um projeto proposto, com o objetivo de reduzir o efeitos negativos.	UNEP (2002)
Análise Custo-Benefício	Um método para estimar o impacto total de um projeto na sociedade, calculando os custos e benefícios sociais. Os impactos ambientais são avaliados e convertidos em termos monetários.	EC (2008)
Estrutura de pressão estado-resposta	Uma estrutura usada para avaliar como a pressão das atividades humanas e econômicas, leva a mudanças nos estados ambientais que prevalecem como resultado dessa pressão e podem provocar resposta da sociedade para mudar a pressão e estado do meio ambiente.	OECD (1999)

Fonte: Adaptado de Baral e Holmgren (2015).

Seidler *et al.* (2018) identificaram vários métodos e ferramentas de avaliação de sustentabilidade voltados para o meio rural. De acordo com as autoras, a maioria das ferramentas e/ou métodos de avaliação de sustentabilidade contemplam questões relacionadas aos aspectos econômicos, sociais e ambientais. Porém, apresentam algum tipo de limitação, e que devem ser adaptadas de acordo com o objetivo a ser atingido, bem como às especificidades tanto locais como regionais.

Essa dificuldade também se aplica nas avaliações de sustentabilidade, em que um indicador único dificilmente é capaz de representar todos os aspectos de sustentabilidade (GIANNETTI *et al.*, 2015; SICHE; AGOSTINHO; ORTEGA, 2010). Para Spangenberg (2002), faltam estruturas abrangentes quanto ao número limitado de indicadores selecionados com base padronizada, transparente e metodologicamente sólida, permitindo agrupar indicadores de maneiras significativas para sugerir prioridades, com metas políticas claramente definidas. De forma geral, a definição de sustentabilidade pode ser interpretada por diferentes modelos, cuja escolha é fundamental antes de desenvolver qualquer estudo sobre sustentabilidade, bem como, quais indicadores de sustentabilidade representará os objetivos do estudo.

3.3 Indicadores para avaliar Sustentabilidade

Após a escolha ou definição do modelo conceitual de sustentabilidade que melhor representa os objetivos do estudo, a próxima etapa é escolher os indicadores que o representam. Um indicador é um ponto de referência, uma métrica ou estatística que indica o estado ou condição de algo no momento da avaliação. Os indicadores de sustentabilidade são referidos como medidas de comportamento na avaliação de sustentabilidade (JORDAN *et al.*, 2010; NESS *et al.*, 2007; SINGH *et al.*, 2009). A finalidade dos indicadores de sustentabilidade é servir como ferramentas de comunicação simplificadoras, ajudando a orientar a tomada de decisões políticas em direção ao desenvolvimento sustentável (SPANGENBERG, 2002). Alguns desses indicadores têm a capacidade de conceituar as atividades e avaliar os pontos críticos e as tendências, tornando-os úteis para as estratégias de desenvolvimento e recomendações no alcance de metas sustentáveis (SINGH *et al.*, 2009).

As metas de sustentabilidade são baseadas em: (*i*) leis físicas e limites dos sistemas naturais (no modelo de forte sustentabilidade) para apoiar as atividades humanas; e (*ii*) padrões morais e sociais aceitos em sistemas humanos (HAY; DUFFY; WHITFIELD, 2014; KAJIKAWA, 2008; WALTER; STÜTZEL, 2009). Em outras palavras, a avaliação do comportamento humano em relação às metas de sustentabilidade deve ser percebida como uma tarefa principal para métodos de avaliação de sustentabilidade em qualquer nível (HAY *et al.*, 2014; NESS *et al.*, 2007; JORDAN *et al.*, 2010), e a formulação de políticas é um dos principais objetivos desses indicadores. No entanto, eles também são usados para divulgação de

informações ambientais, econômicas, sociais ou de desenvolvimento tecnológico para o público (SMETANA *et al.*, 2015).

A dificuldade na escolha de indicadores é causada pela falta de critérios que abordem diferentes aspectos de sustentabilidade de determinado sistema, sem estabelecer um modelo conceitual representativo. De acordo com (PULSELLI *et al.*, 2015; YANG; MCKINNON; TURNER, 2015), a escolha de um método ou indicador, em vez de outros, pode ser sempre questionada, porque todos eles têm diferentes habilidades em representar os aspectos multidimensionais da sustentabilidade. Mas para Agostinho *et al.* (2019), não se trata de ter uma abordagem certa ou errada a ser considerada, e sim, da falta de um constructo para apoiar suas escolhas de modelos e indicadores que pretendem avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção. Brown *et al.* (2018) reforçam que isso talvez seja pela falta de maturidade dos métodos de avaliação multidimensional que temos disponíveis. De Luca *et al.* (2017) sugerem novos esforços para desenvolver novas ferramentas integradas.

É comum que pesquisadores desenvolvam ou utilizem indicadores compostos (aqueles que incluem duas ou mais abordagens existentes) para análise de sistemas complexos (SINGH *et al.*, 2012). Nesse sentido, Ness *et al.* (2007) realizaram uma análise detalhada das técnicas de avaliação de sustentabilidade disponíveis, com base em critérios (características temporais, o foco e a integração dos sistemas natureza-sociedade), dividindo as técnicas de avaliação de sustentabilidade em três categorias principais: indicadores/índices, avaliação relacionada ao produto e ferramentas de avaliação integradas (Tabela 2).

Tabela 2 – Índices de sustentabilidade mais encontrados na literatura

Índice de sustentabilidade	Descrição	Limitações	Referência
Produto Interno Bruto - PIB	Usado para contar os gastos do governo em serviços e guerra como uma rede positiva para a economia naquele momento. Com revisões contínuas, PIB se tornou o índice mais influente do século passado; tem sido usado como um índice composto para avaliar a saúde da economia de um país. Ele expressa o total monetário e de valor de mercado de todos os bens e serviços finais produzidos ao longo de um período de tempo específico em um país.	Embora o PIB seja o meio mais popular de medir desempenho econômico, ele ignora custos sociais, impactos ambientais e desigualdade de renda	Van den Bergh (2009), Costanza <i>et al.</i> (2014)
PIB verde	PIB verde foi uma alternativa ao PIB desenvolvido no início de 1990, em uma tentativa de levar em consideração consequências para os bens públicos e o bem-estar humano causado pelo esgotamento do meio ambiente e dos recursos naturais.	PIB verde falha em acomodar aspectos psicológico e bem-estar físico dos cidadãos	Talberth e Bohara (2006)
Índice de Sustentabilidade e bem-estar econômico (ISEW) e Indicador de Progresso Genuíno (GPI)	GPI é uma versão moderna do ISEW, proposto pela primeira vez em 1989. O GPI tem como objetivo medir o bem-estar econômico gerado pela atividade econômica, essencialmente contando a depreciação do capital comunitário. Também inclui valores imputados de bens e serviços não mercantis e ajusta para efeitos de distribuição de renda.	GPI usa inadequado métodos de avaliação sem ter uma sólida base teórica. Isto assume que o capital feito pelo homem e capital natural são substitutos.	Daly e Cobb (1989), Kubiszewski <i>et al.</i> (2013) e Costanza <i>et al.</i> (2014)
Índice de Poupança Genuína (GSI)	O GSI é um indicador simples que pode ser usado para avaliar a sustentabilidade de uma economia. Ele mede o nível de poupança após a depreciação do capital produzido e investimentos em capital humano. É responsável pelo esgotamento de minerais, energia e florestas e danos locais e poluentes atmosféricos globais	Requer histórico de dados e mais horizontes de tempo para melhor atuação	Lin e Hope (2004), Costanza <i>et al.</i> (2014)
Índice de Riqueza inclusivo (IWI)	A medição do crescimento econômico ignora o esgotamento rápido e irreversível dos recursos naturais que irá causar sérios prejuízos às gerações futuras. Além da economia tradicional e do desenvolvimento usa parâmetros do PIB e do IDH, o IWI considera uma gama completa de ativos, como manufaturados, humanos e capital natural. Também mostra o estado real da riqueza de uma nação e a sustentabilidade do seu crescimento.	Esta estrutura está repleto de limitações associadas com questionamento teórico, suposições e lacunas na disponibilidade de dados.	ONU-IHDP e UNEP (2012)

Índice de sustentabilidade	Descrição	Limitações	Referência
Pegada Ecológica (EF)	O EF é uma medida do impacto humano nos ecossistemas. Ele reflete a demanda humana por capital natural que pode ser justaposto com a capacidade de regeneração do ecossistema. EF de um país é assoma do uso de tipos de uso da terra necessários para produzir os alimentos, fibras e madeira para consumo, para absorver os resíduos emitidos ao utilizar energia e para fornecer espaço para infraestrutura.	Muito limitado em escopo e papel limitado dentro de um contexto de política.	Wackernagel e Rees (1995), Wiedmann e Barret (2010).
Índice de Sustentabilidade Ambiental – ISE e Índice de atuação do meio Ambiente (EPI)	O ESI era um índice composto desenvolvido entre 1999 e 2005. Mede a sustentabilidade do meio ambiente cobrindo as dotações de recursos naturais, níveis de poluição, contribuições para a proteção dos bens comuns globais e a capacidade da sociedade de melhorar seu desempenho ambiental ao longo do tempo. Classifica como bom desempenho dos países em questões ambientais de alta prioridade questões na proteção da saúde humana e dos ecossistemas.	O ISE não cobre uma série de problemas ambientais como qualidade de gestão de resíduos, destruição de pântanos e exposição para metais pesados	Esty <i>et al.</i> (2005) e Hsu e Zomer (2014)
Índice de Felicidade Nacional Bruto (FIB)	Cunhado em 1972 pelo Quarto Rei do Butão, FIB indica desenvolvimento equilibrado com preservação das tradições e natureza. O conceito implica que o desenvolvimento sustentável deve ter uma visão holística com abordagem para nações de progresso e dar igualdade de importância aos aspectos não econômicos do bem-estar. FIB é uma abordagem de desenvolvimento multidimensional que busca alcançar um equilíbrio harmonioso entre bem-estar material e espiritual, emocional e necessidades culturais da sociedade.	Requer uma análise subjetiva. Indicadores podem ser diferentes no contexto do país e pessoas	Ura, Alkire e Zangmo (2012), Kubiszewski <i>et al.</i> (2013) e Wang <i>et al.</i> (2014)
Índice do Planeta Feliz (HPI)	Inventado pela New Econômicos Fundation em 2006, o HPI é uma medida líder global de sustentabilidade e bem-estar. É uma nova medida de progresso que se concentra no que importa: até que ponto países oferecem vidas longas, felizes e sustentáveis para as pessoas, ou seja, bem-estar sustentável para todos. O índice ponderado dá pontuações progressivamente mais altas para nações com pegadas ecológicas mais baixas.	Muito subjetivo e controverso. Ignora questões como liberdade política, direitos humanos e direitos trabalhistas.	Johns e Ormerod (2007) e Abdallah <i>et al.</i> (2012)
Índice de sociedade Sustentável (SSI)	O SSI foi desenvolvido em 2006 com base na definição de sustentabilidade da Comissão Brundtland que inclui explicitamente os aspectos sociais e de vida humana. o SSI integra os aspectos mais importantes da sustentabilidade e qualidade de vida de uma sociedade nacional em um forma simples e transparente.	Agregação de todos os indicadores SSI em uma figura única para o SSI pode ser enganoso.	Van De Kerk e Manuel (2008), Van De Kerk e Manuel (2014)

Fonte: Baral e Holmgren (2015), adaptado de Wu e Wu (2011) e Wu (2012).

Um índice bastante utilizado é o Índice de Bem-estar Econômico Sustentável (ISEW), proposto por Daly e Cobb (1989) como um indicador único para tomada de decisão. Esse indicador mostra o quanto de degradação social ou ambiental está relacionada com o uso dos recursos locais. O ISEW foi aplicado em vários estudos de caso para países desenvolvidos, pois fornece correções para o PIB, incluindo desigualdade de renda, trabalho doméstico e danos ao capital natural. Em geral, os resultados mostram que o ISEW funcionou em paralelo com o PIB até os anos 1970, quando ocorre um declínio no bem-estar devido à perda de capital natural. No entanto, o ISEW não pretende simplesmente substituir o PIB como uma medida única de bem-estar, mas deve fazer parte de um sistema de relatório social mais holístico.

Para Lawn (2003), os economistas ecológicos desenvolveram uma série de índices semelhantes para medir e comparar os benefícios e custos do crescimento combinando o ISEW e o Indicador de Progresso Genuíno (GPI). Trabalhos, como por exemplo, o de Pulselli *et al.* (2006) mostraram como o ISEW foi calculado para a Província de Siena (Itália Central). Todo o procedimento é ilustrado passo a passo, incluindo a busca dos métodos mais adequados e precisos para obtenção de valores confiáveis para cada item que compõe o índice. Os resultados para Siena mostram que existe uma grande diferença entre o PIB local e o ISEW (cerca de 37% do PIB). O ISEW dá uma representação mais realista do bem-estar da população do que o PIB, pois inclui itens ambientais e sociais não considerados na contabilidade nacional convencional. A combinação do ISEW, com a contabilidade ambiental em eMergia (ODUM, 1996) foi proposta por Tiezzi *et al.* (2004), para medir o progresso e o Bem-Estar. Índices compostos são uma maneira de contornar o problema da grande diversidade de indicadores presentes nos painéis informativos, funcionam como uma forma de sintetizar as informações abundantes e supostamente pertinentes em um número único (VEIGA, 2010).

De maneira geral, a agregação fornece resultados mais compreensíveis (BARE *et al.*, 2000). Os indicadores podem ser agregados por meio de diferentes métodos de ponderação dentro de um único valor denominado "índice" (BOULANGER, 2004). No entanto, os autores (GILJUM *et al.*, 2011) veem a agregação como um processo subjetivo baseado em hipóteses muito fortes projetadas para fornecer resultados dentro de uma única unidade (por exemplo, a estimativa da pegada ecológica). Para Ahlroth *et al.* (2011), é necessário analisar criticamente os resultados da agregação. Por outro lado, a compreensão do método é fomentada se os resultados apresentados

estiverem ligados a um quadro de referência familiar ao público em geral (NISSINEN *et al.*, 2007). Por sua vez, Weidema *et al.* (2008) estimam que uma ferramenta simples e fácil de usar baseada em um conceito “cativante” tem mais chance de ser adotada pelo público em geral. Em outras palavras, ainda não temos um consenso entre os pesquisadores, se devem usar vários indicadores desagregados (com mais detalhes, e difícil de interpretar), ou fazer uma agregação no único índice composto (menos detalhes, porém mais fácil de interpretar).

Um exemplo de índice sintético que se concentra mais na dimensão verde é o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI) e o Índice de Desempenho Ambiental (EPI) desenvolvido pelos pesquisadores de Yale e Columbia. O Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS), proposto pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é a principal base de dados com indicadores nacionais e estaduais. De acordo com o IBGE, os indicadores possibilitam o acompanhamento da sustentabilidade do desenvolvimento brasileiro nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional, gerando uma gama abrangente de informações necessárias para conhecimento da realidade do País (IBGE, 2016).

Fleurbaey (2015) verificou se os indicadores de sustentabilidade podem ser incorporados a uma medida de bem-estar social intergeracional. Como resultado, o autor destaca que o uso de indicadores de sustentabilidade no contexto de bem-estar social é útil e pelo menos três indicadores podem ser considerados, sendo duas variantes da pegada ecológica e uma variante da economia genuína. Sterling *et al.* (2017) defendem as abordagens bioculturais como fundamentais na elaboração de indicadores para mensuração de questões ambientais e do bem-estar, visto que se baseiam em perspectivas culturais locais. Isso proporciona uma melhor compreensão sobre cumprimento de objetivos globais e facilita a formulação de políticas locais direcionadas.

Buscando compreender como atender esses objetivos, Frugoli *et al.* (2015) utilizaram 10 indicadores conhecidos e extraídos da literatura sendo eles: Produto Interno Bruto, Produto Interno Bruto per capita, Índice de Desenvolvimento Humano, Índice de Felicidade, Expectativa de Vida, Índice de Democracia, Pegada ecológica, Excesso de Biocapacidade, Índice de Bem-Estar e Índice de Sustentabilidade Ambiental, correlacionando-os com frações de recursos naturais, recursos naturais não renováveis, recursos da economia e índices em eMergia. Essa comparação proporcionou identificar possíveis combinações de indicadores que poderiam ser

utilizados para fornecer informações sobre o progresso das sociedades em direção ao desenvolvimento sustentável. Além disso, os autores constataram que nenhum dos índices avaliados é capaz de abranger aspectos do bem-estar econômico, social e ambiental, e não fornecem informações adequadas sobre a eficiência do uso dos recursos. Como solução temporária admitem a possibilidade de combinar informações dos índices socioeconômicos com índices biofísicos para melhorar a qualidade das informações.

Ainda nesse contexto de combinar o uso de vários indicadores, Yang, Mckinnon e Turner (2015) destacam que são necessários o entendimento e o gerenciamento da relação entre natureza e bem-estar humano. No entanto, em suas percepções, faltam indicadores e modelos que integram esses fatores, a coleta de dados costuma ser cara, especialmente para estudos em larga escala. A falta de dados em escala intermediária (nível regional) também pode ser um complicador. Os autores propõem um método, a partir do uso da modelagem de equações estruturais, para construir índices que integrem natureza e bem-estar humano a partir de dados existentes. Para validar sua aplicação, estabelecem um estudo empírico no Camboja, país que dispõe de um banco de dados reduzido. Para tanto, o bem-estar humano foi categorizado em 5 dimensões: material básico para uma boa vida, segurança, saúde, relações sociais e liberdade e foram selecionados 34 indicadores para análise. A modelagem de equações estruturais foi utilizada para vincular os indicadores às 5 dimensões, bem como, para estabelecer o índice composto geral.

Giannetti *et al.* (2015) discutiram os desafios existentes para medir o desenvolvimento e o bem-estar, avaliando os métodos da contabilidade ambiental em eMergia, pegada ecológica, felicidade nacional bruta, índice de bem-estar e PIB verde, e concluíram que nenhum dos métodos isoladamente parece avaliar o progresso em direção à sustentabilidade. Para isso, deve abordar a funcionalidade do ecossistema e assegurar o desenvolvimento sustentável da sociedade; os autores enfatizam a necessidade de uma abordagem multicritério para esse objetivo.

O uso do índice composto também foi considerado por Faria (2017), com o objetivo de avaliar a tendência do desempenho do Brasil de 2012 até 2022. A avaliação foi realizada usando o indicador de desempenho econômico-ambiental-social (IDEAS), para avaliar as unidades federativas brasileiras, e comparar seu desempenho com os países do BRICS e da América do Sul.

Giannetti *et al.* (2018a) avaliaram as diferentes contribuições dos sistemas e ecossistemas econômicos para o bem-estar humano, a quantidade de serviços e a efetividade na sua produção para a economia nacional, nas séries históricas (1981-2011). Os resultados mostram que o valor monetário das contribuições da natureza para o bem-estar nacional é maior do que as contribuições da economia, e os ecossistemas fornecem serviços de maneira mais eficaz e sustentável, contando com uma quantidade menor de recursos totais e usando exclusivamente recursos renováveis. O estudo aponta que as contribuições da natureza são quase constantes ao longo da série histórica, e os serviços da economia oscilam, representando uma fonte de bem-estar menos estável.

Todos esses trabalhos assinalam que esses índices alternativos sejam teoricamente sólidos, mas, para serem amplamente aceitos, requerem o desenvolvimento contínuo de métodos de avaliação mais robustos e dependendo do modelo de sustentabilidade adotado, existem inúmeros indicadores a serem utilizados para avaliar sustentabilidade. Essa escolha deve estar relacionada diretamente com a disponibilidade de dados disponíveis para cada escala de avaliação (local, nacional ou regional).

3.4 Avaliação da sustentabilidade de regiões

Sustentabilidade regional é a capacidade de um sistema regional (definido com critérios administrativos, culturais, sociais, econômicos ou outros) de sustentar a condição socioeconômica e ambiental atual com possibilidades de desenvolvimento futuro ou preservação do estado atual (SMETANA *et al.*, 2015). A avaliação da sustentabilidade realizada em escalas regionais é tida como a melhor opção, comparada com escala nacional, pois permite encontrar os vínculos entre as instituições sociais e o funcionamento ecológico por um lado e os fenômenos econômicos por outro (GRAYMORE; SIPE; RICKSON, 2008, 2010; LEIN, 2014).

Existem algumas razões para a importância da avaliação regional (região: divisão administrativa de um país, abaixo do nível nacional, mas acima do nível local ou municipal (COOKE; LEYDESDORFF, 2006). Podem ser resumidos em 2 pontos principais: (i) a governança regional enfrenta uma tarefa diversa de desenvolvimento sustentável devido às diferenças nas condições ambientais, sociais e econômicas (NEPSTAD *et al.*, 2014; TRUFFER; COENEN, 2012); (ii) os impactos regionais

específicos podem diferir dos impactos nacionais e locais em duas ou três ordens (SEDLBAUER; BRAUNE; HUMBERT, 2007). A abordagem regional, assim, tem o potencial de conceituar os desafios da avaliação do desenvolvimento sustentável de uma forma multiperspectiva e multiescalar (TRUFFER; COENEN, 2012).

Historicamente, o desenvolvimento de técnicas de avaliação de sustentabilidade se concentrou em duas escalas principais: local e nacional (usada para comparação global) (RASKIN; ELECTRIS; ROSEN, 2010). Os formuladores de políticas e profissionais exigiram uma escala maior de índices de avaliação de sustentabilidade e a ênfase principal foi feita em escala nacional (ONU, 2017), e as escalas intermediárias (regionais) tiveram menos atenção. A Comissão Europeia identificou a necessidade de avaliar o desenvolvimento regional e o seu papel nas cadeias de abastecimento globais. Van Witteloostuijn (2009) mostrou a importância do desenvolvimento regional com um paradoxo: a globalização irá desencadear a regionalização, e a regionalização irá impulsionar a globalização.

Apesar dessa necessidade urgente, não existe um sistema universal para a avaliação do desenvolvimento regional e sua sustentabilidade (DOLLERY; BYRNES; CRASE, 2007; NESS *et al.*, 2007). Uma análise das melhores práticas para avaliação de sustentabilidade é proposta por Smetana *et al.* (2015), o autor identifica as necessidades dos sistemas regionais, além de propor o conceito de metodologia de avaliação de sustentabilidade regional (RSAM), incluindo contabilidade de transferência de capital natural, social e econômica por meio de tabelas estendidas de insumo-produto e análises de ciclicidade. O RSAM reflete qualidades estáticas e dinâmicas do sistema regional para a avaliação dos caminhos de desenvolvimento e eficácia das políticas. Por outro lado, a falta de dados específicos em escala regional impossibilita o uso de algumas das ferramentas desenvolvidas por Smetana *et al.* (2015).

No geral, a complexidade dos problemas de avaliação da sustentabilidade desencadeou o desenvolvimento de uma grande variedade de indicadores e índices. As variações de seus objetivos de aplicação incluem diferentes escalas de aplicação e análise. Ao mesmo tempo, não existe uma única metodologia universal (NESS *et al.*, 2007; SINGH *et al.*, 2012) e a implementação da análise de avaliação de sustentabilidade regional deve ditar as necessidades específicas e os procedimentos de aplicação.

Na abordagem regional, os limites do sistema são estendidos e o comportamento do sistema muda de acordo com o aumento da escala (ULGIATI *et al.*, 2011). No entanto, os indicadores por si só dizem pouco sobre o quão bem um sistema está progredindo em relação à meta de sustentabilidade. Os quadros de indicadores existentes normalmente não permitem a inclusão de informações relevantes em regiões específicas. Além disso, não fornecem informações abrangentes sobre a sustentabilidade geral do sistema (VAN ZEIJL-ROZEMA; MARTENS, 2010).

A avaliação da sustentabilidade é complicada também devido à incompatibilidade de diferentes abordagens regionais, que são baseadas em várias definições de regiões (RAGAGLINI *et al.*, 2011). Um dos maiores desafios da maioria das avaliações de sustentabilidade é a falta de dados. Os indicadores regionais, com base em estimativas nacionais e globais agregadas (HEZRI; DOVERS, 2006; VAN DEN BERGH; GRAZI, 2014), são de menor precisão e não se destinam a caracterizar diferenciações regionais. Alguns métodos de avaliação de sustentabilidade realizam a ponderação de indicadores regionais e tentam tornar a avaliação mais confiável (HAUSCHILD, 2006)

Uma característica importante da avaliação de sustentabilidade é sua capacidade de fornecer aos tomadores de decisão uma avaliação dos sistemas globais e locais, considerando períodos de referência curtos e longos, a fim de determinar ações a serem implementadas em uma determinada área (NESS *et al.*, 2007). Como a sustentabilidade é uma característica complexa, a separação e seleção das regiões deve ser baseada em complexas diferenciações de fatores ambientais, sociais e econômicos. As regiões geralmente incluem um complexo de áreas rurais e urbanas, recursos naturais, população, infraestrutura, etc.

A avaliação de sustentabilidade à escala regional caracteriza-se por um sistema de ligações, transferências e *trade-offs*, cuja intensidade define a capacidade do sistema para o volume de negócios. A rotatividade de materiais e energia define a capacidade do sistema de se expandir, desenvolver rapidamente e se manter sob pressão (CAMPBELL; GARMESTANI, 2012). As diferenças ambientais, socioeconômicas e espaciais aumentam o número de conexões e compensações possíveis entre os elementos dos sistemas regionais. A escassez de recursos (naturais, sociais e econômicos) leva a um lento desenvolvimento regional, se houver. Por outro lado, a abundância de recursos tem potencial para impulsionar o

desenvolvimento regional (SMETANA *et al.*, 2015). A abundância de apenas um tipo de recurso (uma situação mais comum) poderia causar vários caminhos de desenvolvimento (GUNTON, 2003). A importância da disponibilidade de recursos e sua utilização deve ser a mais alta prioridade para a avaliação de sustentabilidade na escala regional.

As regiões são caracterizadas por capacidades limitadas de fornecimento de recursos. A limitação das capacidades baseia-se também nas habilidades do meio ambiente e da sociedade em absorver impactos de perturbações sem mudanças no estado, estrutura ou funcionamento (FOLKE *et al.*, 2010; GRAYMORE; SIPE; RICKSON, 2010). A capacidade de sustentar as qualidades do sistema sob pressão (resiliência) depende das características do sistema, como capacidade de *buffer*, diversidade, redundância, capacidade adaptativa, heterogeneidade espacial, etc. (FOLKE, 2006; FOLKE *et al.*, 2010). Apesar da resiliência do sistema, há sempre um número limitado de componentes, que podem ser removidos sem a destruição do sistema (ou mudanças nas qualidades), determinando a capacidade de carga (GRAYMORE; SIPE; RICKSON, 2010).

A avaliação de sustentabilidade deve levar em conta a quantidade de recursos (estoque) como potencial do sistema para o desenvolvimento; a qualidade dos recursos que define a velocidade potencial de reação do sistema; e a quantidade e intensidade das conexões (comércio, intercâmbio, utilização direta) entre recursos e consumidores (SMETANA *et al.*, 2015). A diferenciação de sustentabilidade regional depende da quantidade e da qualidade dos recursos disponíveis, pois a sustentabilidade de um território depende fortemente da sustentabilidade dos demais territórios com os quais interage, direta ou indiretamente (KISSINGER; REES, 2010).

Um dos fatores mais importantes são as características espaciais da região (tamanho, forma, qualidades físicas), que determinam os impactos indiretos, associados à distribuição dos fluxos de produção e consumo. É mais comum que sistemas complexos passem pelos estágios de crescimento, conservação, liberação e renovação (GARMESTANI; ALLEN; GUNDERSON, 2009; SIMMIE; MARTIN, 2010; VOINOV, 2008). Avaliar sustentabilidade de regiões é uma etapa desafiadora, quando se pretender acompanhar um cenário das mudanças que ocorre num determinado período. Superar as dificuldades na obtenção e coleta de dados é uma etapa necessária. Isso é possível com uso de ferramentas que utilizem uma abordagem de cima para baixo (visão *Top-Down*).

3.5 Ferramentas e métodos para avaliação de sustentabilidade ambiental (visão Top-Down) de regiões

Os métodos apresentados adotam uma abordagem holística e são aplicados na avaliação de territórios, que é recomendada para realizar uma avaliação ambiental de sistemas complexos (MARCHETTINI *et al.*, 2007). A estratégia *top-down* (de cima para baixo) dá uma visão global do sistema sem fornecer detalhes sobre seus diferentes componentes (LOISEAU *et al.*, 2012). Existem diversas ferramentas de avaliação da sustentabilidade de regiões com abordagem *top-down*, e as características de algumas delas são apresentadas a seguir. De forma geral, todas possuem vantagens e desvantagens, assim, como focam em diferentes aspectos da região que está sendo avaliada.

3.5.1 A pegada ecológica

O conceito de pegada ecológica foi desenvolvido por Wackernagel e Rees na década de 1990 (AYRES, 2000) em resposta às discussões sobre a noção de “capacidade de suporte”. A capacidade de suporte é definida como a população de uma determinada espécie que pode ser sustentada indefinidamente em um determinado habitat sem danificar permanentemente o ecossistema do qual depende (REES, 1992). Assim, a pegada ecológica expressa a área teórica (dada por um único indicador, ou seja, “hectare global”) utilizada pelo homem para produzir os biorecursos que consome e para assimilar os resíduos que gera (incluindo o CO₂ resultante do seu consumo de energia) (WACKERNAGEL; LEWAN; HANSSON, 1999).

A pegada ecológica da população de uma cidade ou de uma nação, é obtida somando-se a pegada ecológica de todos os seus habitantes (KITZES; WACKERNAGEL, 2009). Também pode ser calculado a partir de dados agregados sobre o consumo e a produção de uma área estudada (MONFREDA; WACKERNAGEL; DEUMLING, 2004).

Se a pegada ecológica de um território é igual à sua biocapacidade (área de terra que é ecologicamente produtiva na área de estudo), ela é considerada “equilibrada” (BAGLIANI *et al.*, 2008). Além disso, avalia para um território, os padrões de consumo humano, a disponibilidade potencial de bens e serviços ecológicos e as

pressões causadas pelas atividades humanas (PULSELLI, R.; PULSELLI, F.; RUSTICI, 2008).

Kitzes *et al.* (2009) destacam o fato de que poluentes e substâncias tóxicas não são integrados no cálculo da pegada ecológica, e da questão da biodiversidade. Assim, uma área agrícola onde são usados métodos de cultivo intensos, terá uma pegada menor para uma determinada produção do que métodos extensivos, embora possam, na realidade, encorajar práticas de produção menos sustentáveis (não considera a poluição difusa e não está relacionada com a degradação do solo), podendo implicar na sustentabilidade (FIALA, 2008). Alguns estudos de casos a nível regional são encontrados em (BAGLIANI *et al.*, 2008; GRAYMORE; SIPE; RICKSON, 2008; HUANG *et al.*, 2007; MCDONALD; PATTERSON *et al.*, 2004; ZHOU; IMURA, 2011).

3.5.2 Análise de fluxo de material e energia

A análise do fluxo de material e energia aplica a primeira lei da termodinâmica na conversação da matéria (isto é, massa e energia). Permite uma compilação coerente e abrangente de entradas e saídas, bem como estoques de materiais e energia de um sistema (HAMMER *et al.*, 2003).

Análise de fluxo de material (MFA, do inglês *material flow accounting*) pode ser usado para estabelecer os equilíbrios de material e energia de um sistema. É aplicada à escala nacional devido ao fácil acesso aos dados relevantes e à existência de um quadro metodológico desenvolvido pelo Eurostat (2011). O sistema é definido por dois tipos de limites: as fronteiras entre a tecnosfera e a ecosfera (apenas os fluxos que cruzam essas fronteiras são estudados), e as fronteiras que a separam de outras economias (identificação de importações e exportações) (LOISEAU *et al.*, 2012).

O cálculo dos fluxos de entrada e saída do sistema leva à definição de diferentes indicadores que são expressos em toneladas de materiais ou em joules. Esses indicadores fornecem uma representação global das pressões humanas na ecosfera, uma vez que se supõe uma correlação positiva entre fluxos de materiais e danos ambientais. Além disso, podem ser usados para identificar cenários de gestão de recursos, uma vez que a diminuição nas entradas deve levar a uma queda nas saídas provenientes da tecnosfera (HAMMER *et al.*, 2003).

A análise de fluxo de materiais é uma ferramenta necessária para avaliar a desmaterialização de uma economia (que permite a dissociação do bem-estar social

e econômico do uso de recursos) e sua evolução em direção à sustentabilidade (BRINGEZU, 1997). No entanto, o MFA não faz distinção entre os diferentes tipos de recursos. Cada tonelada de material tem implicitamente o mesmo impacto (SEPPÄLÄ *et al.*, 2005). Outra desvantagem é a dificuldade em identificar e quantificar fluxos indiretos que, muitas vezes, são mal estimados (BARLES, 2010). Embora o MFA tenha sido amplamente aplicado em escala nacional, alguns estudos em escalas regionais também podem ser relatados (BARLES, 2009; BROWNE; O'REGAN; MOLES, 2011).

Mesmo reconhecendo a importância desses estudos regionais, ainda não existe uma metodologia uniforme para esta escala. Hammer *et al.* (2003) mostraram que cada abordagem de fluxo de material em escala regional possui características próprias, influenciadas pelos dados estatísticos disponíveis. Consequentemente, vários estudos são simplificados e focados, por exemplo, em determinados materiais (os mais significativos em termos de volumes), tornando a análise incompleta (LOISEAU *et al.*, 2012). Além de concordar com a ausência de quadro metodológico, Binder (2007) destacou a dificuldade em aplicar os resultados do MFA na tomada de decisões em escala regional: o MFA deve fornecer mais do que simples resultados descritivos (ou seja, fluxos) para ser útil para os formuladores de políticas.

3.5.3 Tabelas de entrada-saída

A tabela de entrada-saída foi introduzida por Leontief na década de 1930 (HEIJUNGS; SUH, 2002). Essa ferramenta é frequentemente usada para estudar economias e sistemas de contabilidade nacionais, focalizando os fluxos monetários (LOISEAU *et al.*, 2012). Uma das principais vantagens do método é a capacidade de estimar fluxos diretos e indiretos entre os diferentes setores de uma economia (LAVE *et al.*, 1995). Em geral, é usado para estudar uma nação ou região (FINNVEDEN; MOBERG, 2005).

A ferramenta analítica básica é chamada de “matriz de transação”, cujos coeficientes são expressos em unidades monetárias. As colunas da matriz representam as entradas de um setor econômico de outros setores (LOISEAU *et al.*, 2012). Uma extensão ambiental pode ser adicionada a essas tabelas considerando que a quantidade de poluição gerada por um setor industrial é proporcional à sua produção. Podem ser contabilizadas as quantidades de poluentes

emitidos e de recursos naturais consumidos para cada unidade monetária de produção de um determinado setor (SUH; HUPPES, 2005).

As tabelas de entrada-saída física (PIOT, do inglês *Physical input - output table*), podem ser comparados diretamente às tabelas de insumo-produto, mas com a principal diferença de que eles lidam com fluxos físicos e não monetários. Incluem o meio ambiente como fonte de matéria-prima do lado da entrada e como “sumidouro” dos resíduos dos processos produtivos da economia (GILJUM; HUBACEK, 2009). Um “sumidouro” é definido como o local onde os resíduos e emissões de longo prazo são depositados (BRUNNER, 2004).

Todos os fluxos sem valor monetário, que não são contabilizados em tabelas monetárias, podem ser considerados pelos PIOTs. O princípio de conservação de massa é aplicado. Essas tabelas foram construídas para analisar as economias nacionais (SUH; KAGAWA, 2009), e existem alguns estudos regionais disponíveis. Por exemplo, essas tabelas foram usadas para avaliar e melhorar a gestão dos recursos hídricos de uma região espanhola (VELAZQUEZ, 2006). Esse estudo revelou que os fluxos indiretos de água são muito mais significativos do que os fluxos diretos. Sua identificação é crucial para realizar uma avaliação eficiente da gestão dos recursos hídricos (LOISEAU *et al.*, 2012).

No entanto, como os resultados são apresentados de forma agregada (todo o material é mesclado), sua aplicabilidade é limitada. Não é possível distinguir entre materiais que têm impactos ambientais diferentes (HOEKSTRA; VAN DEN BERGH, 2006). Para melhorar a utilidade dos resultados, Eurostat (2011) recomenda desagregá-los em diferentes subcategorias (por exemplo, para levar em consideração biomassa, combustíveis fósseis e minerais). Outras limitações incluem a falta de dados, de uma estrutura padronizada internacional e de discussões teóricas e aplicações práticas (SUH, 2004).

3.5.4 Contabilidade ambiental em eMergia

Energia (escrita com “m”) é a quantidade de energia solar necessária, de forma direta ou indireta, para obter um produto (bem ou serviço) num determinado processo (ODUM, 1996). As unidades de eMergia são joules de eMergia solar ou emjoules solares (sej). A eMergia reconhece padrões de hierarquia em energia e em materiais (BROWN; ULGIATI, 2004; ODUM, 1996).

A eMergia de um bem ou serviço é calculada com ajuda da “transformidade” (o quociente de sua eMergia sobre seu valor energético) ou sua “eMergia específica” (o quociente de sua eMergia sobre sua massa). Quanto mais a produção de um bem requer “transformação”, maior sua transformidade (ODUM, 1996). EMergia pode ser usada para agregar fluxos energéticos e não energéticos (incluindo serviços econômicos, como trabalho humano ou informações), com base em uma única unidade (ULGIATI; ODUM; BASTIANONI, 1994).

Os princípios contábeis usados para eMergia são baseados na abordagem *top-down* (ULGIATI; BROWN, 2002). O sistema é representado como um todo e seus subsistemas são descritos em vários graus de detalhes. Os recursos usados por um sistema e convertidos em eMergia podem ser classificados em três categorias: recursos renováveis locais (R), recursos locais não renováveis (N), recursos importados (fluxos de *feedback*, F) (ULGIATI; BROWN, 1998).

A análise em eMergia foi realizada em diferentes territórios em várias escalas, incluindo escala regional (CAMPBELL, 1998; CAMPBELL; BRANDT-WILLIAMS; MEISCH, 2005; DEMÉTRIO, 2011; DEMÉTRIO *et al.*, 2013; FARIA, 2017; PULSELLI; RUSTICI; MARCHETTINI, 2007; RIDOLF *et al.*, 2004). Assim como a valoração do ecossistema converte todos os bens e serviços em unidades monetárias (COSTANZA *et al.*, 1997; DAILY, 1997), a eMergia converte bens e serviços em unidades de energia (HAU; BAKSHI, 2004; ODUM; BROWN; BRANDT-WILLIAMS, 2000; SCIUBBA; ULGIATI, 2005; ULGIATI; BROWN, 1998).

Segundo Odum (1996), quando uma fonte de energia oferece mais eMergia do que é utilizado para obtê-la, então a economia social é abundante com altos padrões de vida. De acordo com Giannetti *et al.* (2013), esta metodologia é reconhecida como uma ferramenta robusta e importante para o diagnóstico e gestão dos sistemas naturais e humanos. O uso da contabilidade em eMergia pode ser uma alternativa para avaliar a eficiência e sustentabilidade dos sistemas, pois considera uma perspectiva do lado do doador (meio ambiente) e a biosfera como escala em sua avaliação.

3.5.5 Índice de Sustentabilidade baseado em imagens de satélites

As condições socioeconômicas são importantes para medidas quantitativas de sustentabilidade; no entanto, os dados sobre essas condições são relatados para

unidades políticas e podem não estar disponíveis para unidades em escala mais detalhada. A interpretação das condições ambientais de dados de sensoriamento remoto (por exemplo, imagens aéreas e de satélite) agora é bastante comum e fornece uma importante fonte de dados que não se limita a fronteiras políticas (MAYER; THURSTON; PAWLOWSKI, 2004).

A maioria desses dados são coletados de imagens diurnas (de modo que a vegetação e os usos da terra são óbvios), no entanto, imagens noturnas globais também estão disponíveis e fornecem informações importantes sobre as condições socioeconômicas e a atividade humana (ELVIDGE *et al.*, 1999). Em particular, a área e a intensidade da iluminação artificial podem indicar o grau de modificação do meio ambiente, uma medida indireta das emissões de gases de efeito estufa e da produtividade econômica (DOLL; MULLER; ELVIDGE, 2000). As vantagens dessas imagens incluem fornecer dados socioeconômicos para unidades políticas que não têm dados relatados e medir dados socioeconômicos para unidades que não sejam políticas (como bacias hidrográficas), permitindo indicadores ambientais e socioeconômicos a ser agregado usando a mesma resolução espacial.

As imagens noturnas não transmitem a produtividade econômica das áreas agrícolas (que raramente usam iluminação artificial), nem a produtividade que depende da importação de recursos substanciais. Usando imagens noturnas, Sutton (2003) desenvolveu um índice de sustentabilidade com base nessa abordagem, conhecido como “Eco-Value / *Night Light Environmental Sustainability Index*”. O índice é uma proporção de dois indicadores: a mudança na energia luminosa noturna medida a partir de duas imagens de satélite temporalmente distintas, dividida pela quantidade de serviços ecossistêmicos disponíveis com base nas estimativas de Costanza *et al.* (1997).

Embora o índice pudesse ser usado em qualquer escala, Sutton (2003) calculou o índice em nível nacional, calculando os serviços do ecossistema somando todos os tipos de cobertura da terra dentro de cada país, gerado a partir de imagens de satélite. Em essência, esse índice é a razão entre o consumo de uma nação e seus recursos domésticos disponíveis e é conceitualmente muito semelhante ao “déficit ecológico” calculado na análise da Pegada Ecológica. Este índice foi fortemente correlacionado com o Índice de Pegada Ecológica (a partir do qual o déficit ecológico pode ser calculado), mas não bem correlacionado com o Índice de Sustentabilidade Ambiental (SUTTON, 2003).

O estudo realizado por Coscieme *et al.* (2013) mostrou que a fração não renovável do uso nacional de eMergia está correlacionada com imagens noturnas de satélite e essa relação pode ser usada para produzir mapas de densidade de eMergia, incluindo representações espaciais de eMergia em sistemas de informações geográficas. Seguindo a mesma abordagem, Wang, Liu e Wang (2019) apresentam o método de espacialização de eMergia não renováveis, com base em dados de luzes noturnas DMSP-OLS. A região de Jing-Jin-Ji foi usada como estudo de caso, e os resultados mostraram que esse método pode gerar um mapa de alta resolução do uso de eMergia e descrever os distúrbios humanos ao meio ambiente de maneira mais precisa.

Essa seria uma tentativa de superar de maneira rápida o problema da falta de dados estatísticos. Coscieme *et al.* (2014) descobriram uma forte correlação entre os dados regionais de luzes noturnas e *Empower density* não renovável, indicando que os dados das luzes noturnas podem se tornar uma medida proxy para mapear a distribuição de eMergias não renováveis de regiões. Essas imagens são utilizadas em um grande número de estudos sobre áreas urbanas e uso de energia, bem como em uma série de outros aspectos (BENNETT; SMITH, 2017; ELVIDGE *et al.*, 2001; ELVIDGE *et al.*, 2009; JASIŃSKI, 2019; LI *et al.*, 2018; SUTTON *et al.*, 2012; TUTTLE *et al.*, 2013; XIAO *et al.*, 2018).

3.6 EMergia e SIG

Vários estudos são encontrados na literatura usando a combinação da contabilidade em eMergia e ferramentas do SIG. Por exemplo, Coelho *et al.* (1998) destacam que, devido à grande variedade brasileira de paisagens naturais, solos, relevos e condições climáticas, uma consequência natural seria a elaboração da avaliação em eMergia por regiões. A dimensão do território brasileiro mostra a necessidade inclusive de abandonar a divisão territorial por regiões e estados e passar analisar regiões a partir de sua inserção dentro das grandes bacias hidrográficas, e destas para micro bacias (menor escala) num esforço de aproximação para analisar áreas com características comuns no que se refere as principais variáveis ambientais, econômicas e sociais.

Estudos como os de Morandi *et al.* (2015) mostram que a eMergia pode ser aplicada nos mais diversos estudos e em diferentes escalas de complexidades. Os

autores avaliaram três regiões com diferentes dimensões, níveis de complexidade e de organização e diretamente relacionadas entre si, para observar quais as contribuições das regiões menores (Toscana) para o desenvolvimento econômico, social e ambiental, da maior (Itália), e quais as contrapartidas que esta última oferece.

Do ponto de vista energético, segundo Wang *et al.* (2019), a eMergia pode ser utilizada para combinar o estudo de ecossistemas e sistemas econômicos. De maneira geral, a contabilidade em eMergia tem a vantagem de ser muito informativa no estudo e planejamento de sistemas regionais e tem sido amplamente utilizada nessa escala (FANG; REN, 2017; LI *et al.*, 2014; SU *et al.*, 2015). Os sistemas regionais não são avaliados somente pela quantidade de recursos naturais disponíveis, ou pelo nível de desenvolvimento de uma cidade, mas, sim, pela capacidade que os recursos naturais possuem de suprir a região em função do padrão de consumo das pessoas.

A metodologia da contabilidade em eMergia é reconhecida como uma ferramenta robusta e importante para o diagnóstico e gestão dos sistemas naturais e humanos (GIANNETTI *et al.*, 2013). Considerando uma gestão em escala regional, as informações sobre concentração local e disponibilidade de recursos naturais precisam ser organizadas em um formato acessível e utilizável para uso a longo prazo, a fim de monitorar a eficácia das ações políticas e assegurar o planejamento nas tomadas de decisão (MELLINO *et al.*, 2014). Nesse sentido, o uso de uma estrutura SIG, pode ser considerada uma das ferramentas mais avançadas para possibilitar esse desafio de política (RANDOLPH, 2004).

O SIG é cada vez mais utilizado para a política ambiental e para o gerenciamento de ecossistemas (RAUSCHER, 1999), mapeando o valor dos serviços ecossistêmicos e a acessibilidade dos recursos (CHEN; LI; WANG, 2009; HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011). Entender como esse padrão é organizado e medir quantitativamente os fluxos ambientais pode ser útil para entender o apoio ambiental à economia local e para localizar os diferentes recursos e serviços ecossistêmicos (MELLINO *et al.*, 2014).

A integração da contabilidade ambiental em eMergia em uma estrutura SIG, pode ser uma valiosa ferramenta de gerenciamento de recursos no apoio ao planejamento do uso da terra local. Os modelos SIG são integrados a contabilidade em eMergia de regiões para gerar mapas dos padrões espaciais do capital natural e de origem humana (MELLINO *et al.*, 2014). A mudança no uso da terra afeta a saúde

ambiental humana, os sistemas hidrológicos, recursos ecológicos, consumo de energia e materiais (RANDOLPH, 2004). Uma análise cuidadosa da interação entre o capital natural e o capital produzido pelo homem é necessária para evitar que o capital natural seja superexplorado para obter benefícios econômicos atuais, afetando estilos de vida e o bem-estar das gerações futuras (MELLINO; BUONOCORE; ULGIATI, 2015).

A abordagem integrada eMergia e SIG pode ser usada para quantificar e mapear a distribuição regional dos fluxos ambientais (por exemplo: radiação solar, precipitação, vento e calor geotérmico), oferecendo uma perspectiva de eMergia (suporte ambiental) da distribuição espacial, e os fluxos naturais dentro do limite regional (MELLINO *et al.*, 2014).

A Tabela 3, apresenta alguns trabalhos que combinaram uso da contabilidade em eMergia (métrica) e o SIG como ferramenta para avaliar a sustentabilidade ambiental de regiões, em diferentes escalas que variam de países a bacias hidrográficas. A maioria desses trabalhos utilizaram o SIG apenas para espacializar os resultados dos indicadores e visualizar na forma de mapas temáticos. A espacialização desses dados também é um passo importante, não só porque permitem fazer comparações, mas também, como alternativa para monitorar o desempenho dos indicadores. A proposta dessa pesquisa é utilizar ferramentas do SIG, tanto na elaboração de mapas temáticos, como também para auxiliar na obtenção dos indicadores em eMergia, que geralmente não estão disponíveis em escala regional.

Tabela 3 – Trabalhos que utilizaram eMergia e SIG para avaliar a sustentabilidade ambiental de regiões

Referência	Métrica	Escala do estudo	Objetivo
Pulselli, Rustici e Marchettini (2007)	eMergia e SIG	Província de Cagliari na Itália	Realizar a contabilidade ambiental em eMergia na Província de Cagliari, e propor um modelo de contabilidade para sistemas regionais. Muitos dados estatísticos foram reunidos na escala dos municípios (109) para manter um nível satisfatório de exatidão na contabilidade em eMergia; os municípios foram agregados em distritos. Os resultados dão uma ideia da visão do consumo de recursos em toda a área da província, mostrando que os resultados não são homogêneos e mostram condições diferentes em áreas deferentes, com bases nos resultados essa abordagem pode ser considerada para estudos urbanos e regionais, pois permite a compreensão dos sistemas humanos em uma base regional, com a interação entre humanos e processo ecológicos pode ser expresso com fluxos de energia e matéria e que portanto, pode ser investigado como um todo.
Pulselli R., Pulselli F. e Rustici (2008)	eMergia e SIG	Província de Siena, Itália	Aplicar a contabilidade em eMergia na região para avaliar a população, atividades humanas, ciclos naturais, infraestruturas e outras configurações. O estudo afirma que o consumo de recursos devido à economia humana é uma fonte de grande preocupação devido à carga que coloca na biosfera. Índices de desempenho ambiental baseados em eMergia são avaliados, e suas intensidades em cada área são visualizadas em mapas, mostrando que a província de Siena se destaca com um baixo nível de exploração de recursos locais e a disponibilidade relativa de recursos naturais.
Agostinho (2009)	eMergia e SIG	Bacia hidrográfica	Realizar o diagnóstico ambiental dos sistemas agropecuários da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, utilizando uma combinação da Análise em eMergia e SIG. Através de mapas temáticos do uso e ocupação da terra foi calculado os fluxos em eMergia em seJ.ha.ano para os diversos usos da terra. Os índices foram utilizados para representar o desempenho da bacia: baixa sustentabilidade (%R=29%), moderado impacto ambiental (ELR=2,47), baixo rendimento líquido (EYR=1,57) e baixa relação custo/benefício (ESI=0,63). A conclusão do autor é de que, apenas o respeito à legislação ambiental não é suficiente para tornar a bacia hidrográfica sustentável, é necessário também, a redução da dependência de eMergia não-renovável em níveis próximos a 70% dos valores de 2002.
Pulselli (2010)	eMergia e SIG	Bacia hidrográfica	Integrar avaliação da contabilidade em eMergia no SIG para monitorar o uso de recursos ambientais pelas comunidades locais na região de Abruzzo (Itália). Os recursos foram quantificados e classificados de acordo com a sua origem (renovável ou não renovável, local ou externa), os fluxos emergéticos foram elaborados através do (SIG) para representar a sua distribuição espacial na região. A concentração dos fluxos emergéticos das comunidades locais, apresentou níveis variáveis de carga ambiental em diferentes áreas. Nesse sentido, o uso combinado da contabilidade em eMergia e SIG poderia, portanto, fornecer uma visão complementar de um sistema

Referência	Métrica	Escala do estudo	Objetivo
			territorial com informações aos formuladores de políticas, para melhorar o planejamento de estratégias específicas de desenvolvimento.
Demétrio (2011)	EMergia e SIG	Brasil (Estados e Regiões)	Realizar a avaliação da sustentabilidade ambiental do Brasil usando a contabilidade ambiental em eMergia, em relação aos fluxos dos recursos naturais e econômicos, destacando as diferenças entre as regiões do País. Usando dados do ano de 2007, foram calculados os indicadores (assinatura ambiental) para as regiões e para os estados do Brasil. Os indicadores em emergia de cada estado (Environmental Sustainability Index – ESI, Emergy Yield Ratio – EYR, Environmental Load Ratio – ELR), foram espacializados e apresentados através de mapas temáticos. O Emergy Money Ratio (EMR) de cada estado foi calculado para avaliar a relação entre o suporte ambiental e o desenvolvimento econômico de cada sistema regional.
Dang e Liu. (2012)	EMergia e SIG	Bacia hidrográfica	Avaliar a sustentabilidade de uma região-alvo para um programa de restauração ecológica, considerando diferentes aspectos da sociedade e do ambiente humano. A bacia hidrográfica de Yangou, foi usada como estudo de caso na região de Loess Hilly, na China, onde a eMergia foi usada para medir a base de recursos ambientais. O padrão de vida específico em termos de eMergia foi empregado para calcular a capacidade de carga no período de 1998 a 2005 e para avaliar a sustentabilidade da bacia hidrográfica.
Mellino, Buonocore e Ulgiati (2015)	EMergia e SIG	Campânia (sul da Itália)	Avaliar o capital natural e artificial na região da Campânia (sul da Itália) para gerar mapas dos padrões espaciais da distribuição do capital natural e feita pelo homem. Os estoques regionais de capital são avaliados em unidades de eMergia (seJ). O modelo é proposto como ferramenta para o planejamento ambiental e gerenciamento dos recursos, pois permite fazer uma espacialização dessas informações, para identificar áreas por exemplo de “hot spot” que requerem maior conservação. O estudo observou que desconsiderando a biodiversidade o capital artificial da região da Campânia (6.29E + 24 seJ) é cerca de 11 vezes maior que o seu capital natural (5,69E + 23 seJ).
Li <i>et al.</i> (2017)	EMergia e SIG	Bacias hidrográficas	Avaliar a sustentabilidade através do uso da terra como um indicador das atividades humanas, os serviços do ecossistema (conservação do solo, conservação da água, armazenamento de carbono, produtividade primária líquida (NPP) e produção agrícola). Foram calculados indicadores para 13 sub-bacias da Bacia do Rio Tabu em um ecótono agro-pastoral na Mongólia, para analisar as relações entre os serviços ecossistêmicos e as respostas dos serviços ao impacto da intensidade do uso da terra.

Fonte: Elaboração própria

3.7 Decisão Multicritério e o modelo dos cinco setores (5SenSu)

Mesmo existindo algumas ferramentas *top-down* para avaliar a sustentabilidade de regiões, dificilmente uma delas conseguirá, sozinha, capturar e mostrar todas as especificidades da região estudada, o que mostra a importância de abordagens multicritério. O problema de usar o critério único para avaliar a sustentabilidade é abordado por Ulgiati, Raugei e Bargigli (2006), propondo o modelo de avaliação multicritério de sustentabilidade (SUMMA), enfatizando que os impactos a montante e a jusante devem ser contabilizados ao avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção. Sugerem que os indicadores sejam da contabilidade ambiental em eMergia, avaliação do ciclo de vida, energia incorporada e avaliações exergéticas, como principais. No entanto, SUMMA não faz referência aos indicadores para o setor econômico e social, pois o modelo conceitual de sustentabilidade é o chamado 'forte'. Quanto mais critérios traduzidos em indicadores forem adicionados a cada situação, mais holísticas e abrangentes devem ser as ferramentas de tomada de decisão apoiada por modelos multidimensionais científicos (SCOTT; HO; DEY, 2012).

Outra ferramenta holística para tomada de decisão, é o modelo conceitual de sustentabilidade *input-state-output* (ISO), destacando as relações mútuas entre os diferentes indicadores que alimentam o sistema (COSCIEME *et al.*, 2013; PULSELLI; COSCIEME; BASTIANONI, 2011). Para os autores, o modelo (ISO) representa a relação de como os ecossistemas efetivamente transformam recursos, auto-organizam-se através de processos e produzem bens e serviços, que são os benefícios fundamentais para o bem-estar social. Ainda assim, para Agostinho *et al.* (2019), tanto o SUMMA como o ISO, reivindicam a necessidade de uma perspectiva multicritério na avaliação de sustentabilidade.

De acordo com Giannetti *et al.* (2019), uma decisão sobre a sustentabilidade baseada em uma visão multicritério usando dados de diferentes fontes, sobre diferentes focos e que envolvem várias partes interessadas pode ser traduzida como tomada de decisões multicritério (MCDM) ou análise de decisão multicritérios (MCDA). O MCDM é definido como um ramo da pesquisa operacional que busca alcançar resultados ótimos em sistema complexos, onde vários indicadores, objetivos e critérios estão envolvidos (KUMAR *et al.*, 2017).

Muitos outros autores apoiam o uso da análise multicritério para a avaliação de sustentabilidade em uma escala regional (AGOSTINHO *et al.*, 2018; AGOSTINHO; ORTEGA, 2012; CABELLO *et al.*, 2014; KURKA; BLACKWOOD, 2013; SINGH *et al.*,

2012). A necessidade de uma perspectiva multicritério na avaliação de sustentabilidade, também tem sido considerada importante por estudiosos de sustentabilidade como Costanza *et al.* (2014) e de economistas como Daly Herman e Economics (2003).

Uma variedade de modelos de avaliação multicritérios são encontrados na literatura, bem como esforços para o desenvolvimento de ferramentas integradas para apoiar na escolha de modelos e de indicadores. A análise de múltiplos critérios (MCDA) também é uma ferramenta sólida para a tomada de decisões de sustentabilidade integrada. Além disso, a combinação de MCDA e SIG são capazes de cobrir as necessidades de avaliação de variações espaciais precisas em escala regional (GRAYMORE; WALLIS; RICHARDS, 2009).

Ibáñez-Forés, Bovea e Pérez-Belis (2014) realizaram uma revisão de literatura focada em métodos, incluindo o MCDM para selecionar opções de uma perspectiva de sustentabilidade. Os métodos MCDM foram identificados como os mais aplicados nessa área. Lahdelma *et al.* (2000) e Huang, Keisler e Linkov (2011) analisaram o papel das metodologias de Tomada de Decisão Multi-Critérios (MCDM) na resolução de questões ambientais e identificaram suas vantagens na tomada de decisão pública em que a função dos *stakeholders* (partes interessadas), foi identificada como um papel essencial.

Uma aplicação focada no MCDM para o setor de bioenergia foi proposta por Scott, Ho e Dey (2012) e Nikolaou, Tsalis e Evangelinos (2019) propuseram uma estrutura para medir o desempenho da sustentabilidade corporativa ao projetar um índice composto de sustentabilidade baseado na abordagem de linha de base tripla e nos princípios de sustentabilidade forte, em que os limites podem ser associados ao conceito de capacidade de carga, padrões mínimos de segurança e capital crítico.

Millward-Hopkins *et al.* (2018) propuseram um modelo multidimensional que incluindo os domínios social, ambiental, técnico e econômico, para avaliar os sistemas de recuperação de recursos sob a avaliação do fluxo de materiais e do ciclo de vida. Enquanto, Saad, Nazzal e Darras (2019) desenvolveram uma estrutura para avaliação da sustentabilidade dos processos de fabricação por meio de uma abordagem multicritério, incluindo indicadores de emissões, consumo de recursos e conservação de habitats naturais, custo econômico, lucro e investimento, número de funcionários, clientes e comunidade.

Uma abordagem multicritério é sempre importante para apoiar a escolha dos indicadores. Entretanto, a falta de um forte modelo conceitual de sustentabilidade

capaz de atribuir as multifunções de cada uma das três dimensões (ambiental, social e econômica) é reconhecida por Giannetti *et al.* (2019). Os autores apresentaram o modelo conceitual de sustentabilidade dos cinco setores (5SEnSU), como alternativa para superar esse problema. A aplicação do modelo 5SEnSU apoia interpretações e decisões com base em uma perspectiva mais holística e abrangente, para avaliar sustentabilidade dos sistemas de forma integrada.

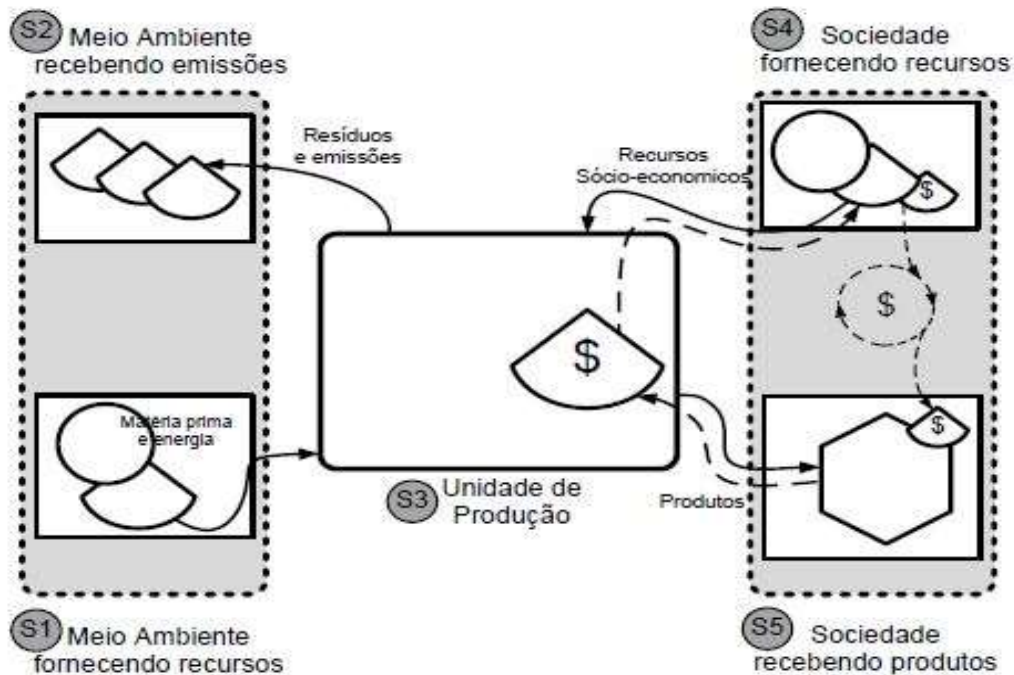
O modelo conceitual de sustentabilidade dos cinco setores (5SEnSU), considera os cinco setores, e a multidimensionalidade como característica importante, pois abrange aspectos do meio ambiente, economia e da sociedade de maneira integrada, superando as limitações dos estudos de métrica única. Segundo os autores, o modelo é uma metáfora aos cinco sentidos do ser humano, que pode assumir múltiplas visualizações. Do ponto de vista do ambiente natural, o setor é fornecedor de recursos e receptor de resíduos; no setor econômico é a unidade de produção (bens e serviços); e o setor social o fornecedor de trabalho e insumos e consumidor de bens e serviços (GIANNETTI *et al.*, 2019).

Segundo Giannetti *et al.* (2019), o modelo 5SEnSU está alinhado com muitos outros modelos de avaliação da sustentabilidade, por exemplo o *Input-State-Output* (ISO), as relações mútuas entre diferentes indicadores são investigadas, e também indica a necessidade de uma perspectiva multicritério na avaliação de sustentabilidade. O aspecto multicritério também é reconhecido por Pulselli *et al.* (2019), acrescentando o modelo de entrada-estado-produto, podendo ser aplicado para investigar sistemas econômicos (por exemplo, as economias nacionais ou regionais) em relação ao seu nível de sustentabilidade.

Uma das principais funções do modelo 5SEnSU é na escolha dos indicadores. Isso sugere que as regras originais das funções, álgebra e definições dos setores devem ser mantidas, a fim de respeitar seus procedimentos e significados originais. Os indicadores sociais, econômicos e ambientais devem ser considerados para preservar as características multidimensionais do modelo, respeitando tanto quanto possível a mesma janela de tempo. Deve-se buscar um equilíbrio em termos do número de indicadores selecionados por cada setor, a fim de evitar “preferências presumidas” para um setor específico (GIANNETTI *et al.*, 2019).

A simbologia utilizada no modelo 5SEnSU (Figura 5), segue o mesmo método da contabilidade em EMergia desenvolvida por Odum (1996). Uma lista dos símbolos da linguagem dos sistemas energéticos encontra-se no Anexo A.

Figura 5 – Modelo dos Cinco Setores de Avaliação da Sustentabilidade-5SEnSU



Fonte: Giannetti *et al.* (2019).

A concepção do modelo 5SEnSU é baseada em seis axiomas básicos sobre os limites dos recursos naturais em relação aos ritmos que esses recursos são explorados e consumidos para garantir sua sustentabilidade. São eles:

- 1) Nenhum recurso deve ser usado a uma taxa maior do que a sua taxa de geração (GOODLAND, 1995; GOODLAND; DALY, 1996);
- 2) Nenhum contaminante deve ser produzido a uma velocidade mais elevada do que pode ser reciclado, neutralizado ou absorvido pelo ambiente (GOODLAND, 1995; GOODLAND; DALY, 1996);
- 3) Nenhum recurso não renovável deve ser usado mais rápido do que o tempo necessário para substituí-lo por um recurso renovável (GOODLAND, 1995; GOODLAND; DALY, 1996);
- 4) Deve haver um equilíbrio entre o meio ambiente como fornecedor de recursos e como um receptor de resíduos e poluentes, com as boas práticas de produção mais limpa, cuidados e conservação ambiental em vigor (GIANNETTI *et al.*, 2019).
- 5) A produção de bens e serviços deve ser limitada às restrições impostas pela exploração sustentável dos recursos naturais e consumo responsável da sociedade, o que garante a sua sustentabilidade (GIANNETTI *et al.*, 2019);

- 6) Para o ser humano como um ser social, sua relação como fornecedor de mão-de-obra e receptor de produtos e serviços do setor econômico deve ser justa e benéfica (GIANNETTI *et al.*, 2019).

O conjunto de indicadores utilizados no modelo devem ser multimétrico, representando por exemplo os fluxos de energia, massa, dinheiro, força de trabalho, etc. Permitindo a combinação de vários indicadores com variados pesos. O modelo contempla os três pilares de sustentação da sustentabilidade:

- (i) O meio ambiente (setor 1) - tem uma função de origem fornecendo matérias-primas para suportar as funções da unidade de produção (setor 3);
- (ii) O meio ambiente (setor 2) - tem uma função de sumidouro, sendo o receptor dos resíduos e emissões gerados pelas atividades da unidade de produção;
- (iii) No setor econômico (setor 3) - a unidade de produção, fornece produtos que serão consumidos pela sociedade que paga por eles.
- (iv) O setor social (setores 4 e 5) – tem as funções de fornecedor e consumidor. A sociedade do setor 4 fornece recursos socioeconômicos à unidade de produção no setor 3, como mão de obra e conhecimento, e recebe bens e produtos no setor 5. Essas atividades são conduzidas pelos seres humanos, com a circulação de dinheiro apenas do lado direito do diagrama. As trocas no lado esquerdo do diagrama contemplam apenas fluxos de materiais, pois os recursos fornecidos pelo ambiente são vistos como “recursos livres”, já que não há um pagamento feito pela unidade de produção ao meio ambiente como contrapartida aos serviços de diluição e decomposição (GIANNETTI *et al.*, 2019).

O modelo 5SEnSU foi usado por Giannetti *et al.* (2019) para avaliar o grau de sustentabilidade dos Países que formam a União Econômica Mercosul. Como resultado foi apresentado um ranking de sustentabilidade alvo dos países. De acordo com o modelo 5SEnSU, o Uruguai foi o país com melhor desempenho no alvo da sustentabilidade. Os autores destacam que o modelo 5SEnSU é capaz de mostrar as relações entre os seres humanos e o ambiente natural, fornecendo uma sólida base

científica para avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção em qualquer escala, incluindo análises regionais.

Langa (2019) utilizou o 5SEnSU como modelo representativo da economia de Moçambique, combinando indicadores da contabilidade em EMergia e Alvo de Desempenho Econômico-Ambiental-Social (IDEAS), para medir a desigualdade no uso dos recursos. O trabalho avaliou o desempenho da relação entre Moçambique e os demais países que formam o bloco econômico da Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (SADC). O modelo 5SEnSU foi usado na escolha dos indicadores quantificados em eMergia. Os resultados mostraram que existem altas desigualdades nos cenários das trocas entre setores social, econômico e ambiental, e grandes desigualdades nos desempenhos entre Moçambique e os países considerados.

Cha (2020) utilizou o modelo 5SEnSu como abordagem mista quantitativa e qualitativa com o objetivo de avaliar a sustentabilidade dos produtores de queijo artesanal no Vale da Canastra (MG), considerando aspectos sociais, ambientais e econômicos, orientado numa perspectiva de estratégia micro e macro da região. Seis produtores de queijo artesanal com capacidade distinta de produção e características econômicas, que correlacionam a adoção de tecnologias foram avaliados. O modelo 5SEnSU foi usado para escolha dos indicadores, sendo dois indicadores por cada setor. Os resultados mostraram que o menor produtor e o produtor com maior capacidade técnica foram classificados em posição semelhante de sustentabilidade, quando considerados os aspectos nas três dimensões (ambiental, econômico e social). Em uma perspectiva mais ampla, o objetivo do estudo foi toda a população de produtores de queijo do Vale da Canastra. Os resultados mostraram que o processo de agrupamento indicou uma alta homogeneidade das fazendas dentro de três *clusters*, e diferenças significativas nos tipos de fazendas foram caracterizados por diferenças relevantes em termos de disponibilidade de recursos. Os indicadores com maior impacto na concepção de estratégias em nível da fazenda foram identificados, afetando diretamente a escolha dos insumos em termos de um conceito integrado e amplo de sustentabilidade de longo prazo.

Moreno García *et al.* (2021) utilizaram o modelo 5SEnSU apoiado na filosofia da Programação de Metas como ferramenta de análise multicritério para avaliar a sustentabilidade da cadeia produtiva agrícola do arroz no Brasil e em Cuba. Um indicador sintético de sustentabilidade foi construído para apoiar a tomada de decisão

e contribuir com a sustentabilidade ambiental, econômica e social da cultura do arroz. Como resultados, a sustentabilidade é quantificada com base no indicador de meta de sustentabilidade por cenários (quanto menor melhor), sendo (9.920) para o Brasil e de (17.729) para Cuba, o que significa maior sustentabilidade para o Brasil. Os indicadores mostram que o Brasil apresenta maior sustentabilidade ambiental, pois tem maior disponibilidade de recursos ambientais para o cultivo do arroz, apresentando menor carga ambiental relativa, melhor desempenho econômico e produtivo. No entanto, apresenta pior nível de emprego e política salariais e maior satisfação da demanda social por arroz. Por outro lado, Cuba mostra um déficit de recursos ambientais para a cultura do arroz, maior carga ambiental relativa, baixo desempenho econômico e produtivo, melhor política de emprego e salários, aliados a um descontentamento da demanda social por arroz.

Segundo Giannetti *et al.* (2019), o uso do modelo pressupõe ao analista que, além de selecionar indicadores, é recomendado o uso da programação por metas como abordagem multicritério, para determinar valores máximo e mínimos, metas ou metas de cada indicador, a direção desejada e seus valores ponderados. A programação por meta ou *Goal Programming* – GP foi inicialmente introduzido por Charnes, Cooper e Ferguson em 1950 (CHARNES; COOPER; FERGUSON, 1955). Trata-se de uma abordagem multicritério muito utilizada na prática empresarial e na pesquisa científica.

GP é uma técnica popular e amplamente utilizada para estudar problemas de decisão diante de múltiplos objetivos conflitantes, é utilizado como uma das técnicas da pesquisa operacional, envolve soluções de problemas que contêm não somente uma função objetivo, mas também várias metas que se deseja atingir (JAYARAMAN *et al.*, 2015). Diferentemente da programação linear, o GP não resolverá um problema apresentando somente uma solução ótima, mas sim, apresentará uma série de soluções variadas do problema para que o tomador de decisão possa encontrar/escolher aquela que melhor lhe atender (DALMÁCIO *et al.*, 2008). Mais detalhes da aplicação do GP podem ser encontrados no estudo realizado por Antanasijević *et al.* (2017), que utilizou a GP para avaliar o desempenho da sustentabilidade dos países europeus, aplicando a técnica de análise diferencial multicritério em 2004 e 2014, com o objetivo de avaliar o progresso em sustentabilidade de 30 países.

Reconhecendo a importância do modelo 5SEnSU para avaliar a sustentabilidade, Agostinho *et al.* (2019) propuseram um novo procedimento para apoiar uma avaliação de sustentabilidade de bens e serviços, incluindo o modelo conceitual do 5SEnSU em seu *framework*. O procedimento de avaliação de sustentabilidade para os processos de operação e produção (ASUPRO) é estruturado e baseado no método de gerenciamento de quatro etapas do PDCA (planejar, fazer, verificar e agir), combinado com os principais procedimentos encontrados na LCA ISO 14.040 (ISO, 2006), na filosofia de programação por metas, análise de incertezas e análise de sensibilidade.

O ASUPRO foi usado por Agostinho *et al.* (2019) para avaliar a sustentabilidade de dois sistemas de transporte (rodoviário e ferroviário) como opções para transportar a soja brasileira dos principais produtores no estado do Mato Grosso para o porto de Santos no estado de São Paulo. O objetivo do estudo foi avaliar qual a opção de transporte de soja apresenta maior sustentabilidade, bem como onde os esforços devem ser aplicados na melhoria por meio de políticas públicas ou privadas em direção a níveis mais elevados de sustentabilidade.

Neste estudo, o ASUPRO é utilizado para avaliar sustentabilidade de uma região. No entanto, para avaliar regiões é necessário um grande número de dados, que nem sempre estão disponíveis em escala intermediária (região ou bacia hidrográfica). Por exemplo, os recursos naturais não são uniformemente distribuídos pela paisagem e, como consequência diferentes áreas suportam diferentes desafios de desenvolvimento social e econômico (MELLINO; BUONOCORE; ULGIATI, 2015). A falta de dados em escala regional (e também em escalas menores) gera um problema para o desenvolvimento de estudos sobre o desempenho em eMergia de regiões, muitas vezes até impossibilitando o estudo. Para superar este obstáculo, a integração de métodos de contabilidade ambiental em uma estrutura SIG é sugerida neste trabalho com uma alternativa de ferramenta de gerenciamento de recursos em apoio ao planejamento de uso da terra.

A abordagem proposta utiliza a avaliação em eMergia integrada em uma estrutura SIG para quantificar os fluxos ambientais renováveis (radiação solar, precipitação, vento e calor geotérmico), recursos não renováveis e da economia para região do MATOPIBA, através do uso de imagens noturnas de satélites, como alternativa para falta de dados em escala regional para alimentar o modelo do ASUPRO. Esses aspectos são detalhadamente apresentados na seção 'métodos'.

3.8 Região do MATOPIBA

A região do MATOPIBA é o foco deste trabalho e, como estudo de caso, sua descrição é apresentada na seção de métodos. De qualquer forma, devido à sua complexidade social, econômica e ambiental, aliado ao crescente número de publicações focadas nesta região, alguns dados publicados na literatura são aqui apresentados para melhor caracterizar esta região.

Em meados da década de 1980, o Brasil iniciou a criação de uma nova fronteira agrícola, com a exploração de partes de algumas áreas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Essa região é conhecida como MATOPIBA, e passou por intensas transformações sociais e ambientais com o surgimento de grandes projetos agropecuários (EMBRAPA, 2018).

A transformação do território é caracterizada pela migração de agricultores provenientes do Sul do país, que foram atraídos pelas terras baratas e aspectos climáticos favoráveis à produção de grãos. As ocupações nessa região, apresentam relatos de 1960, e as primeiras pesquisas para viabilidade agrícola por volta de 1970 (EMBRAPA, 2018). A territorialização do MATOPIBA pode ser considerada como processo gradual de ocupação, que se iniciou pelo oeste da Bahia, onde seu acesso foi facilitado pelos programas de incentivo de ocupação do cerrado brasileiro, com a construção de Brasília e de rodovias interligando o Nordeste à capital do país.

Na configuração dessa fronteira agrícola, o sul do Maranhão é a segunda região a passar pelo processo de ocupação, e adoção da agricultura em grande escala (PEREIRA, 2019). O agronegócio avançou pelo cerrado, até chegar ao Piauí no ano de 1990. No Tocantins, o processo de inserção nessa configuração foi diferente, por conta de sua localização estratégica se tornou rota de exportação e entreposto da produção oriunda do Centro-Oeste, que sempre buscou uma alternativa ao Porto de Paranaguá e o teve com a inauguração do Porto de Itaqui, em São Luís no Maranhão (PEREIRA, 2019).

De acordo como o relatório da OECD/FAO (2015), o destaque da região se inicia a partir da década de 1990, diante de um cenário de políticas neoliberais, os cerrados das regiões Norte e Nordeste passaram a ser explorados de maneira mais efetiva. Além disso, o capital privado passou a ser o protagonista, assumindo o controle da produção agrícola a montante, fornecendo crédito e insumos, e a jusante, na distribuição e processamento de grãos. Contudo, é a partir dos anos 2000 que a

expansão da atividade agrícola aconteceu de modo mais acentuado com utilização da mecanização, fertilizantes e corretivos para o solo, com transformações na economia, e aumento da participação na produção agrícola nacional (EMBRAPA, 2018).

A dinâmica de ocupação ocorreu de forma gradual na região, com destaque para o estado da Bahia, onde os primeiros projetos se instalaram. Do ponto de vista histórico, a expansão da agricultura mecanizada nos cerrados baianos iniciou-se na década de 1980, e suas áreas, antes consideradas marginais, foram transformadas em áreas altamente produtivas, dinamizando e modernizando a economia regional (PEREIRA, 2019). No Piauí, a ocupação foi iniciada na década de 1970, com projetos de cultura de caju e pecuária (LEITE *et al.*, 2014). Somente na década de 1990, as mudanças de uso da terra foram intensificadas em decorrência da produção de grãos (AGUIAR; MONTEIRO, 2005). Em razão da produção de soja, a região sul maranhense passou a transformar suas estruturas agrárias tradicionais de subsistência em agricultura tecnificada, acompanhada pelo melhoramento na estrutura viária do estado (LEITE *et al.*, 2014).

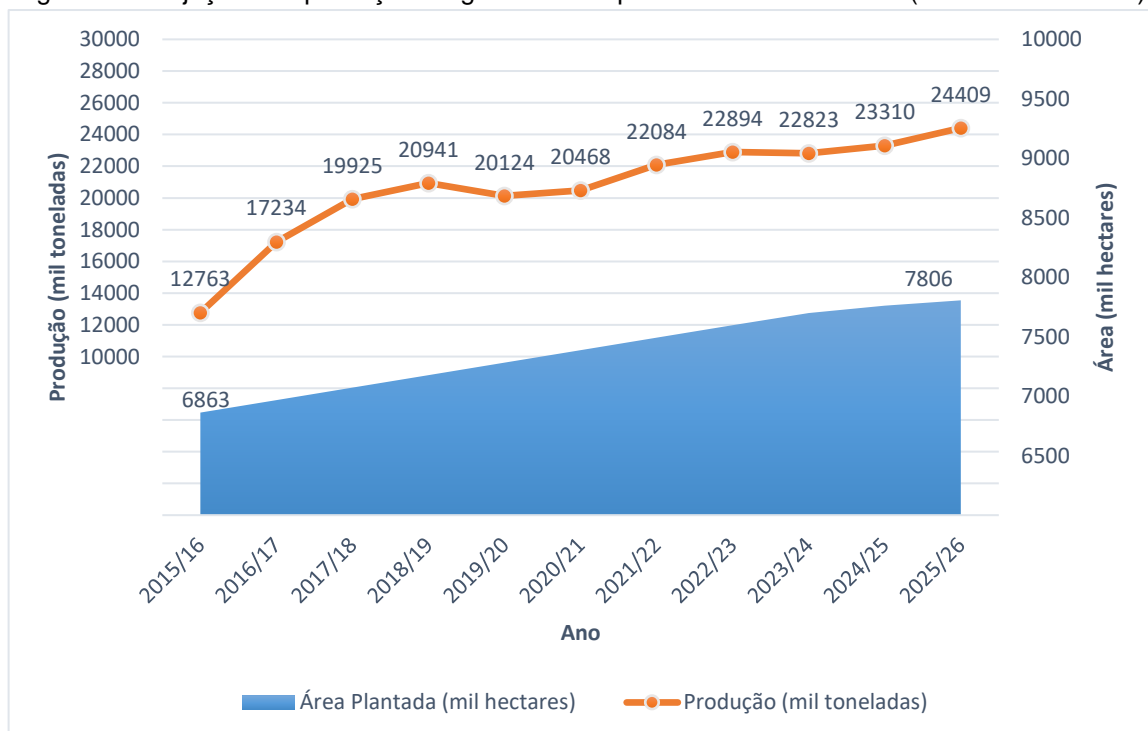
A produção de grãos no MATOPIBA ganha destaque nos municípios baianos, no ano safra 1990/91 (com 278 mil hectares) em comparação aos demais estados, Maranhão, 5 mil ha e o Tocantins, 4 mil ha. O Piauí não apresenta registro de produção nesse período. Os dados referentes ao ano safra 2000/01 (CONAB, 2020), representa a dinâmica do crescimento da atividade agropecuária e o avanço sobre o bioma cerrado. O Piauí aparece nas estatísticas com uma área de 62 mil ha, atrás do Tocantins com 66 mil ha, mantendo a tendência de crescimento. O destaque é para o estado do Maranhão que passou de 5 para 210 mil ha, e a Bahia que dobrou sua área plantada atingindo os 691 mil ha.

Grande parte dessa produção tem sido destinada prioritariamente aos mercados internacionais (XAVIER, 2019). O autor destaca que essa fronteira agrícola reproduz um padrão de acumulação que tem, na exportação de bens primários, seu fundamento, chamando de padrão exportador de especialização produtividade. Na visão de Rasmussen e Lund (2018), essa dinâmica de fronteiras dissolve as ordens sociais existentes, como sistemas de propriedade, direitos, contratos sociais e abre o território para novas formas de controle. Por outro lado, Buainai, Garcia e Vieira Filho (2018) dizem que a dinâmica econômica da agropecuária no MATOPIBA é central na orientação das decisões dos agentes privados, na promoção do desenvolvimento regional e na formulação de políticas públicas mais adequadas à realidade local.

A região apresenta muitas especificidades, uma vez que dentro do imenso território há uma enorme disparidade social, econômica e produtiva (PORCIONATO; CASTRO; PEREIRA, 2018). Porém, apesar da deficiência em infraestrutura, a região apresenta características biofísicas importantes tais como: relevo propício à mecanização, tipos de solo e regime de chuvas favoráveis ao uso de técnicas mais modernas de produtividade (MAPA, 2015). De acordo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), grande parte deste impulso na produtividade de grãos se deve ao acesso às tecnologias hoje empregadas, como o uso de híbridos e cultivares adaptados às condições edafoclimáticas, além de boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes, corretivos e defensivos e sistemas conservacionistas de manejo como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária-floresta (EMBRAPA, 2018).

No MATOPIBA, a área plantada de grãos está se expandindo como mostra as projeções do gráfico (Figura 6), passando de 6,8 para 7,8 milhões de hectares (13,7%) entre 2015/16 e 2025/26, e a soma da produção de grãos nos estados que compreendem a região deve passar de 12,7 para 24,4 milhões de toneladas, variação de 91,3%, correspondendo a um aumento de 16% em relação ao período 2014/2015 (MAPA, 2016).

Figura 6 – Projeções da produção de grãos e área plantada no MATOPIBA (Safrá 2015 a 2025)



Fonte: Embrapa (2018). Elaborado com base nas projeções da produção.

Segundo o Ministério de Agricultura e Abastecimento (MAPA), um dos principais problemas que pode afetar essas projeções, são as precárias condições de logística, especialmente transporte terrestre, portuário, comunicação e, em algumas áreas ausência de serviços financeiros (MAPA, 2016).

Diante do cenário de incertezas, resolveu-se avaliar a dinâmica de ocupação da região iniciada em 1990, passando pelo ano 2000, que consolida a vocação agropecuária da região, o ano 2010 que teve os melhores índices de produtividade por hectares, e por fim, o ano de 2018. Nos quatros períodos analisados, a região do MATOPIBA, manteve seu crescimento na produtividade de grãos, em especial a soja.

A produção do MATOPIA, ultrapassou a média do Brasil, o que mostra a melhoria da eficiência de produtividade. O avanço da área plantada colocou o MATOPIBA em destaque no cenário agrícola nacional, com 11% dos 115 milhões de toneladas de soja produzidos na safra 2017/2018, mantendo as expectativas de crescimento econômico. Uma comparação da produtividade média da soja no Brasil e no MATOPIBA é apresentada para os quatros períodos analisados. Em 1990 a produtividade da soja no Brasil foi de 1.580 kg/ha, e no MATOPIBA de 1.368 kg/ha; em 2000, no Brasil 2.751 kg/ha, MATOPIBA, 2.200 kg/ha; em 2010, no Brasil 3.115 kg/ha, MATOPIBA, 3.116 kg/ha; em 2018, no Brasil, 3.206 kg/ha, MATOPIBA, 3.053 kg/ha. Cabe destacar que, em 2010, a produtividade do MATOPIBA, ultrapassou a média da produção nacional. Entretanto, de acordo com a EMBRAPA, manter esses indicadores de produtividade é um desafio. No MATOPIBA, os rendimentos oscilam entre 2000 a 4.500 kg/ha, com a produtividade média ainda abaixo da média nacional, que é 3.206 kg/ha (CONAB, 2020).

As condições atuais e os efeitos dos cenários de mudanças climáticas sobre a produtividade da soja cultivada na região de MATOPIBA foram avaliadas no estudo de (DA SILVA *et al.*, 2019). Segundo os autores, o aumento da concentração de CO₂ e da temperatura, projetada pelos modelos climáticos avaliados e o cenário de progressão, contribuem para o aumento da produtividade de soja até o final deste século.

Com relação as condições do mercado de trabalho, Serigati *et al.* (2017) avaliaram que a dinâmica observada do agronegócio no MATOPIBA, não difere muito daquela observada no agronegócio brasileiro. A agricultura continua sendo o segmento que responde pela maior fração da população ocupada no MATOPIBA. Entretanto, essa participação vem caindo nos últimos anos. De 2012 a 2016, a

população ocupada na agricultura nessa região encolheu de 1,8 milhão de pessoas para 1,5 milhão, reduzindo a população ocupada no agronegócio (GARCÍA; VIEIRA FILHO, 2017).

No MATOPIBA, o principal agente atuante na expansão do capital é (capital estrangeiro), especialmente fundos de investimentos que especulam com terras agrícolas e as transformam em ativo financeiro. O estado é essencial no processo de controle do território, atuando como agente de fiscalização, como também por meio de políticas públicas e legislações (PITTA; MENDONÇA; BOECHAT, 2017). Na visão de Pereira (2019), tais características contribuem para o desenho de uma região que somente existe pela necessidade de novas áreas para a produção agrícola e também para a especulação fundiária, visto que ainda não se identificou a discussão de políticas para além do enfoque agrícola.

O estado efetiva sua participação na consolidação e incentivo à criação dessa região, com a publicação do Decreto 8.447, de 2015, que criou o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA (PDA-MATOPIBA), dentre outros aspectos destacam-se os seguintes parágrafos:

- § 1º O PDA-MATOPIBA foi publicado por ato do Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que definiu os municípios dos estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Tocantins incluídos na sua área de abrangência.
- § 2º O PDA-MATOPIBA orientará programas, projetos e ações federais relativos a atividades agrícolas e pecuárias a serem implementados na sua área de abrangência e promoverá a harmonização daqueles já existentes, observadas as seguintes diretrizes:
- (i) Desenvolvimento e aumento da eficiência da infraestrutura logística relativa às atividades agrícolas e pecuárias;
 - (ii) apoio à inovação e ao desenvolvimento tecnológico voltados às atividades agrícolas e pecuárias;
 - (iii) Ampliação e fortalecimento da classe média no setor rural, por meio da implementação de instrumentos de mobilidade social que promovam a melhoria da renda, do emprego e da qualificação profissional de produtores rurais.

O PDA-MATOPIBA tinha como objetivo principal promover o desenvolvimento agropecuário da região, com destaque para os itens que precisavam de maior atenção

para promover o desenvolvimento do território, e conseqüentemente cumprir com as metas estabelecidas pelo Governo:

1. Necessidade de melhoria da infraestrutura;
2. Assistência técnica não alcança todos os produtores;
3. Baixa eficiência de parte dos sistemas de irrigação utilizados;
4. Baixa produtividade dos animais e plantas;
5. Baixa qualidade da produção, principalmente dos pequenos produtores;
6. Produtos que ainda não aproveitam o potencial da Indicação Geográfica;
7. Baixo nível de organização e cooperação dos produtores;
8. Elevado nível de informalidade no beneficiamento;
9. Irregularidade na oferta de frutas em decorrência das variações climáticas;
10. Mão-de-obra pouco capacitada;
11. Dificuldades no acesso ao crédito rural;
12. Formação de reserva alimentar deficiente;

O § 3º do Decreto 8.447, destaca que a implementação do PDA-MATOPIBA deverá observar a cooperação entre órgãos e entidades federais e entre esses e os órgãos e entidades dos demais entes federativos e a participação dos setores organizados da sociedade local.

Muitos estudos evidenciam a expansão acelerada da soja, outros, em contrapartida, demonstram as disparidades resultantes da prosperidade da produção; entre elas, a concentração da renda, pois mesmo com o crescimento econômico, a região sofre com graves problemas sociais e convive paralelamente com a prosperidade do agronegócio e o problema de miséria e pobreza crônica da população local. A potencialidade agrícola pode ser agravada pelo elevado grau de degradação do solo e das práticas de manejo adotadas na região. Nesse aspecto, os dados do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2016) revelam que a região sofre um processo de desertificação com a perda da floresta, e representa uma consequência do uso inadequado do solo pela sociedade.

Os estoques de terras com alta aptidão agrícola no MATOPIBA foram estimados por Rudorff *et al.* (2015), e as áreas com remanescentes de vegetação nativa somam 5,4 milhões de hectares. A área inapta com remanescentes de vegetação nativa foi estimada em 18,1 milhões de hectares. Diante desse cenário, é possível observar que os resultados revelam que, no MATOPIBA, a área para

expansão da agricultura talvez esteja esgotando em remanescentes de vegetação nativa. Isto significa que a expansão deverá ocorrer a partir das mudanças nos usos econômicos das terras, por exemplo, pastagens. Cabe destacar que as estimativas não consideram as áreas de reserva legal e de preservação permanentes (BRASIL, 2017). Contudo, mesmo a ocupação das pastagens pela agricultura do agronegócio, se não for corretamente manejada, implica em custos ambientais com a perda da Biodiversidade em médio e longo prazo.

Portanto, essa complexidade existente no MATOPIBA, torna essa região importante para ser considerada como estudo de caso. O binômio desenvolvimento econômico vs. desenvolvimento sócio-ambiental é avaliado para discutir em que extensão essa relação afeta a sustentabilidade do MATOPIBA, e se o agronegócio realmente traz sustentabilidade.

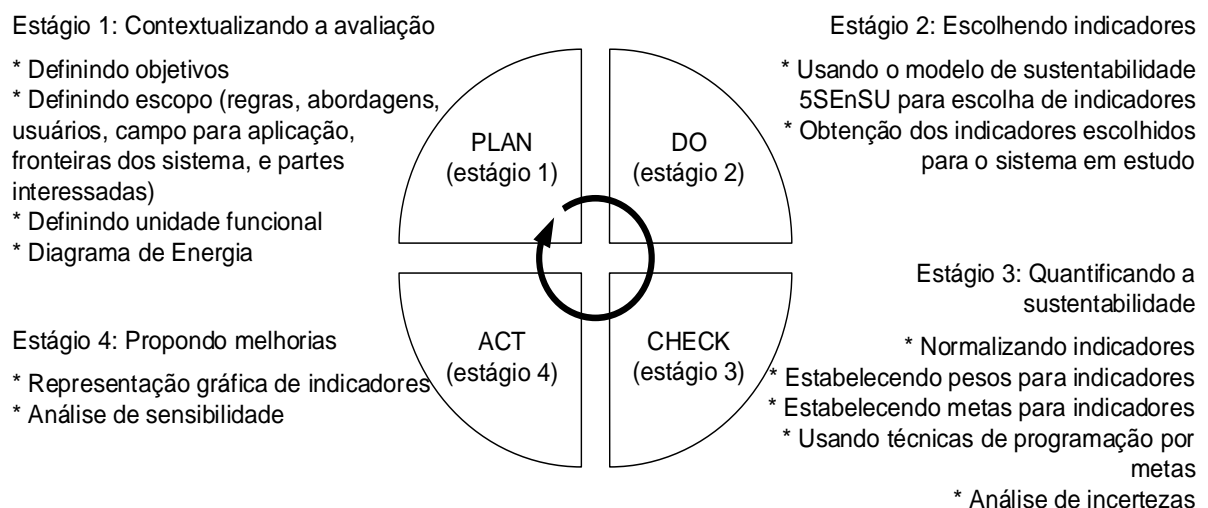
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Procedimento para avaliação da sustentabilidade de operações e processos da produção (ASUPRO)

O ASUPRO, proposto por Agostinho *et al.* (2019), foi utilizado para comparar duas opções de transporte de soja no Brasil por meio rodoviário e ferroviário, para avaliar qual o modal era o mais sustentável. Nesta tese, o ASUPRO será aplicado em nível regional, para comparar a sustentabilidade da região do MATOPIBA em diferentes anos, onde as três dimensões da sustentabilidade (meio ambiente, economia e sociedade) representadas por meio de um conjunto específico de indicadores.

A estrutura do ASUPRO está dividida em quatro estágios, e utiliza a base teórica do método de gerenciamento do PDCA (planejar, fazer, checar e agir) (Figura 7), tal como alguns padrões do método LCA de acordo com a ISO 14040 (ISO, 2006) comparativamente, inclui a definição de metas, análise de inventário, avaliação de impacto e avaliação de melhoria.

Figura 7 – Estrutura do ASUPRO com base no PDCA



Fonte: Agostinho *et al.* (2019).

O procedimento metodológico do PDCA, inicia no planejamento (estágio 1) com a contextualização da avaliação, o estágio 2 inclui a escolha e o cálculo dos indicadores, no estágio 3 é quantificado a sustentabilidade, e finalmente no estágio 4, faz-se a gestão com a proposição de melhorias. Trata-se, portanto, de um processo

de melhoria contínua, previsto na metodologia do PDCA onde o ciclo pode ser repetido periodicamente para melhoria do sistema. A sequência dos estágios é detalhadamente apresentada nos itens a seguir.

4.1.1 Estágio 1 (PLAN) – Contextualizando a avaliação

De acordo com o procedimento, a contextualização da avaliação deve seguir todos os critérios do procedimento respeitando a sequência dos estágios. O objetivo e escopo devem ser consistentes com a aplicação pretendida e devem ser claramente definidos; deve-se declarar inequivocamente a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, para quem se pretende comunicar os resultados do estudo. Na definição do escopo, alguns aspectos devem ser considerados e claramente descritos, incluindo a identificação das operações e processos de produção avaliados (sistema), o estabelecimento de uma unidade funcional representativa (quando for necessário). É desejável que o escopo seja bem definido para garantir que alguns detalhes sobre o estudo, como sua extensão e profundidade, sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido

Para estudos comparativos, a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes devem ser consideradas, incluindo limites do sistema, qualidade dos dados, procedimentos de alocação, regras de decisão na avaliação das entradas e saídas durante a fase de inventário. Quaisquer diferenças entre sistemas com respeito a estes parâmetros devem ser identificadas e relatadas.

As fronteiras do sistema determinam quais unidades ou processos devem ser incluídas na avaliação. Diversos fatores determinam os limites do sistema, incluindo a aplicação pretendida do estudo, as suposições feitas, os critérios de corte, as restrições e o público-alvo pretendido. A seleção de entradas e saídas, o nível de agregação numa categoria de dados e a modelagem do sistema devem ser consistentes com o a finalidade do estudo. O analista é livre para estabelecer os limites do sistema, mas os critérios usados para escolha devem ser justificados.

A definição da unidade funcional é outro critério importante na contextualização. Segundo Goldstein *et al.* (2013), a unidade funcional é a base da comparação para dois sistemas de produção, seja para produtos ou para serviços fornecidos. De acordo com a ISO 14040 (ISO, 2006), a unidade funcional é um desempenho quantificado de um sistema de produção para uso como unidade de referência. O objetivo principal é

fornecer uma referência à qual as entradas e saídas são relacionadas. A unidade funcional permite a adoção de estratégias de gestão para níveis mais elevados de sustentabilidade, incluindo operação, verificação e ações corretivas.

Na última etapa do estágio 1, para realizar todos os aspectos necessários dentro da contextualização, recomenda-se a elaboração de um diagrama de energia utilizando os símbolos da contabilidade ambiental em eMergia (anexo A) como propostos por Odum (1996). O diagrama é um modelo conceitual dos sistemas avaliados e sua relação com o ambiente natural e a sociedade. O diagrama de energia é fundamental para o analista entender o que está sendo avaliado e para o leitor rapidamente visualizar o sistema como um todo (AGOSTINHO *et al.*, 2019). O diagrama indica os fluxos que compõem o sistema, sejam eles de recursos naturais renováveis (R), recursos não renováveis (N) ou de recursos provenientes da economia (F).

4.1.2 Estágio 2 (DO) – Escolha e obtenção dos indicadores

A escolha dos indicadores para avaliação de sistemas é um processo complexo, já que o número de indicadores deve ser o mínimo possível para reduzir complexidade e facilitar sua obtenção, mas tantos quanto forem necessários (BOSSSEL, 1999). Bonisoli, Galdeano-Gómez e Piedra-Munoz (2018) estudaram diversos autores e chegaram a oito critérios para a escolha dos indicadores: disponibilidade de dados, relevância, válidos analiticamente, flexível para mudanças, mensuráveis, relevantes para políticas, implementável e de fácil entendimento.

No ASUPRO, a escolha dos indicadores baseia-se no modelo de sustentabilidade de cinco setores (5SEnSU) apresentado na Figura 5. Os indicadores podem ser escolhidos de acordo com a expertise do analista, porém sempre levando em consideração as particularidades do caso em avaliação e o modelo 5SenSu. Outras alternativas da escolha de indicadores são baseadas em reuniões participativas, em que especialistas de diferentes áreas do conhecimento podem obter um acordo comum (exemplo, uso do método Delphi), bem como planos e relatórios governamentais.

Os indicadores desempenham três papéis importantes nas avaliações de sustentabilidade: (i) auxiliam a descrever as condições de sistemas complexos e interdependentes; (ii) dependendo dos mecanismos de realimentação, os indicadores

facilitam a avaliação de desempenho de várias formas de administração e políticas implementadas para atingir a sustentabilidade; (iii) alertam os usuários para mudanças nos sistemas sociais, culturais, econômicos e ambientais (MCCOOL; STANKEY, 2004).

Os critérios na escolha de indicadores podem incluir: a) mensurável – o valor do indicador pode ser obtido por experimentação; pode ser calculado a partir de valores dos indicadores relacionados; ou pode ser calculado usando dados de inventário; b) relevante – o indicador é relevante para o sistema em estudo; c) compreensível – o indicador pode ser facilmente comunicado e entendido pelas partes interessadas; d) confiável – a definição do indicador não é arbitrária e seu valor pode ser obtido a partir de uma metodologia confiável (utilizável); e) dados acessíveis – os dados devem ser acessíveis para derivar seus valores; f) orientado para longo prazo – o indicador permanece relevante para aplicações futuras (JOUNG *et al.*, 2013). Além de considerar todos esses critérios, o modelo 5SenSu será a base para escolha dos indicadores.

4.1.3 Estágio 3 (CHECK) – Quantificando a Sustentabilidade

A principal característica do ASUPRO é ter uma abordagem multimétrica, dessa forma os indicadores com diferentes unidades devem ser normalizados, e com isso permitir comparações. Existem vários métodos de normalização de dados (por exemplo, a normalização linear ou mínima-máxima). Matematicamente, é usada para padronizar o intervalo de variáveis independentes, para que a contribuição de cada variável seja semelhante no resultado final. A normalização é o processo de trazer algo para uma condição ou estado normal (AGOSTINHO *et al.*, 2019).

De acordo com Ulgiati *et al.* (2011), três diferentes procedimentos de normalização, podem ser aplicados dependendo do caso a ser investigado: a) normalização baseada no escore padrão, cada valor individual é subtraído pela média aritmética e dividido pelo desvio padrão; b) normalização com referência ao impacto total gerado, para cada indicador i,j , o impacto total é calculado adicionando-se os valores em todos os conjuntos de dados, então, o valor do indicador i,j para um determinado conjunto de dados é dividido pelo impacto total i,j para calcular sua fração ou porcentagem; c) normalização com referência ao primeiro ano de investigação, todos os valores são divididos pelo valor do primeiro ano de investigação.

O ASUPRO não faz nenhuma restrição, deixando o analista livre para escolher a abordagem que julgar mais apropriada para apresentar seus dados. Uma vez normalizados, é sugerido a utilização do diagrama de radar para representação dos indicadores. Indicadores que devem ser maximizados (maior melhor) podem ser diretamente representados no gráfico, mas aqueles indicadores que devem ser minimizados (menor melhor), eles devem ser invertidos, o que significa multiplicar por $1/\text{indicador}$. Dessa forma, o melhor desempenho entre os sistemas apresentado pelo diagrama de radar é representado pela maior área (desempenho de sustentabilidade mais alta). Esta primeira análise permite identificar de forma visual o sistema com melhor desempenho geral.

A segunda etapa do estágio 3 inicia com a atribuição de pesos aos desvios dos indicadores e/ou setores, o analista pode aplicar pesos baseados na sua própria experiência e conhecimento do sistema, ou com bases em sugestões de especialistas, ou ainda se utilizando de literatura (principalmente relatórios governamentais e/ou literatura científica). Uma abordagem alternativa na escolha de pesos (Apêndice A, Tabela 27) é sugerida com base na perspectiva cultural do analista, incluindo critérios igualitário, hierárquico ou individualista, tal como abordado no cálculo Eco indicador 99 (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2000). Entretanto, quando o diagrama de radar fornece áreas semelhantes, ou quando vários sistemas estão sendo avaliados ao mesmo tempo, torna-se difícil identificar qual deles possui a maior área. Outra situação pode ser a necessidade do analista de saber qual o sistema está mais próximo ou mais distante dos objetivos pré-definidos para cada indicador, em vez de tomar a decisão apenas baseada na análise comparativa, utilizando-se dos indicadores de forma absoluta. Essas características reivindicam um método multicritério para suportar uma integração de indicadores com unidades, escalas, metas ou limites diferentes (AGOSTINHO *et al.*, 2019).

A filosofia de programação de metas é a recomendada dentro do ASUPRO, seguindo a modelagem de programação de metas proposta por Giannetti *et al.* (2019), como segue:

O procedimento utiliza dois indicadores para avaliar o nível de sustentabilidade. O primeiro, chamado indicador de sustentabilidade meta por setor (ISMES), considera N_{ijk+} ; N_{ijk-} como variáveis de desvio negativas do indicador positivo e negativo, respectivamente, P_{ijk+} ; P_{ijk-} como variáveis de desvio positiva do indicador positivo e negativo, respectivamente, e G_{jk+} ; G_{jk-} como valores da meta para o indicador

positivo ou negativo, respectivamente. Também considera W_{jk+} e W_{jk-} , que são os valores ponderados ou “pesos” para cada indicador. Quanto menor for o valor do ISMES, melhor é o desempenho daquele indicador ou indicadores pertencentes aos setores ambiental, social e econômico. O segundo indicador, denominado indicador de sustentabilidade global do sistema (WSI), é o somatório de todos os indicadores ISMES. Como o WSI considera os desvios relativos às metas e seus respectivos pesos, quanto menor for o seu valor, maior será a sustentabilidade do sistema estudado.

De acordo com ESI (2005), diferentes métodos para determinação de pesos têm sido desenvolvidos, incluindo ferramentas estatísticas e opiniões de especialistas baseadas em julgamento próprio. Segundo Oliveira *et al.* (2016), pesos determinados estatisticamente têm a vantagem de serem considerados neutros. Entretanto, pesos estatísticos nem sempre refletem as prioridades dos analistas. Para Oliveira *et al.* (2016), a ponderação de pesos pode ser feita de três diferentes formas: (i) pelos valores assumidos pelo analista de acordo com sua experiência sobre o tema; (ii) através de uma abordagem junto à comunidade especializada utilizando métodos de diagnóstico participativo objetivando o consenso; (iii) pela utilização de dados quantitativos relativos a trabalhos publicados.

Os critérios para os pesos adotam o grau de importância estimados pela escala de Saaty (2001). Entretanto, a escolha dos pesos segue a mesma abordagem de Agostinho *et al.* (2019), que consideram o conceito de sustentabilidade forte, em que os sistemas humanos estão contidos no sistema natural e o capital econômico e social não podem crescer além das limitações intrínsecas, dessa forma, adotando o grau de extrema importância de peso para todos os indicadores pelo critério individualista (Apêndice A, Tabela 28).

O primeiro passo é definir valores dos pesos para cada setor, ambiental, econômico, e social. Considerando os seguintes critérios: (i) para minimizar o valor do indicador, aplica-se o peso maior para o desvio negativo referente ao indicador e o menor valor para o desvio positivo, o valor do peso atribuído ao desvio negativo sempre deve ser maior do que o valor do desvio positivo; (ii) para maximizar o valor do indicador, aplica-se peso maior para o desvio positivo. Nesse caso, o valor do peso atribuído ao desvio positivo deve sempre ser superior ao valor do peso atribuído ao desvio negativo. Os resultados dos pesos adotados por critérios são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Escolha de pesos método individualista

Critérios	Perspectivas cultural do analista	Setor Ambiental	Setor Econômico	Setor Social
		Peso desvio desejado	Peso desvio desejado	Peso desvio desejado
Igualitário	As reservas ambientais não podem ser controladas, mas os desejos podem.	4.5	1.8	2.7
Hierárquico	Desejos e necessidades não podem ser controlados, mas as reservas ambientais podem.	3.6	1.8	3.6
Individualista	A exaustão do combustível fóssil não é percebida como um problema atual, mas a diminuição dos recursos minerais o é.	2.3	1.8	4.9

Fonte: Agostinho *et al.* (2019).

A subjetividade para o estabelecimento de pesos, dentro do método multicritério é reconhecida, e como alternativa do ASUPRO é sugerida e destacada a importância de se fazer uso da análise de incerteza em qualquer avaliação de sustentabilidade, como reconhecido por De Luca *et al.* (2017) e Millward-Hopkins *et al.* (2018). Dentro do modelo do ASUPRO, recomenda-se o método de abordagem estocástica de Monte Carlo. A simulação de Monte Carlo é realizada por meio de um add-in Excel (BARRETO; HOWLAND, 2006), variando aleatoriamente os pesos (ou punições) dentro do intervalo estabelecido. O estabelecimento de um intervalo para valores de peso segue os mesmos critérios de escolha dos indicadores e metas. Explicação do uso da simulação de Monte Carlo pode ser encontrada em Barreto e Howland (2006), Agostinho e Siche (2014) e Agostinho *et al.* (2019).

4.1.4 Estágio 4 (ACT) – Proposta de melhorias das operações e processos de produção

O último estágio do ASUPRO, como parte final do método de gerenciamento do PDCA, são as propostas de melhorias através da identificação dos indicadores que apresentaram o melhor desempenho na fase de diagnóstico.

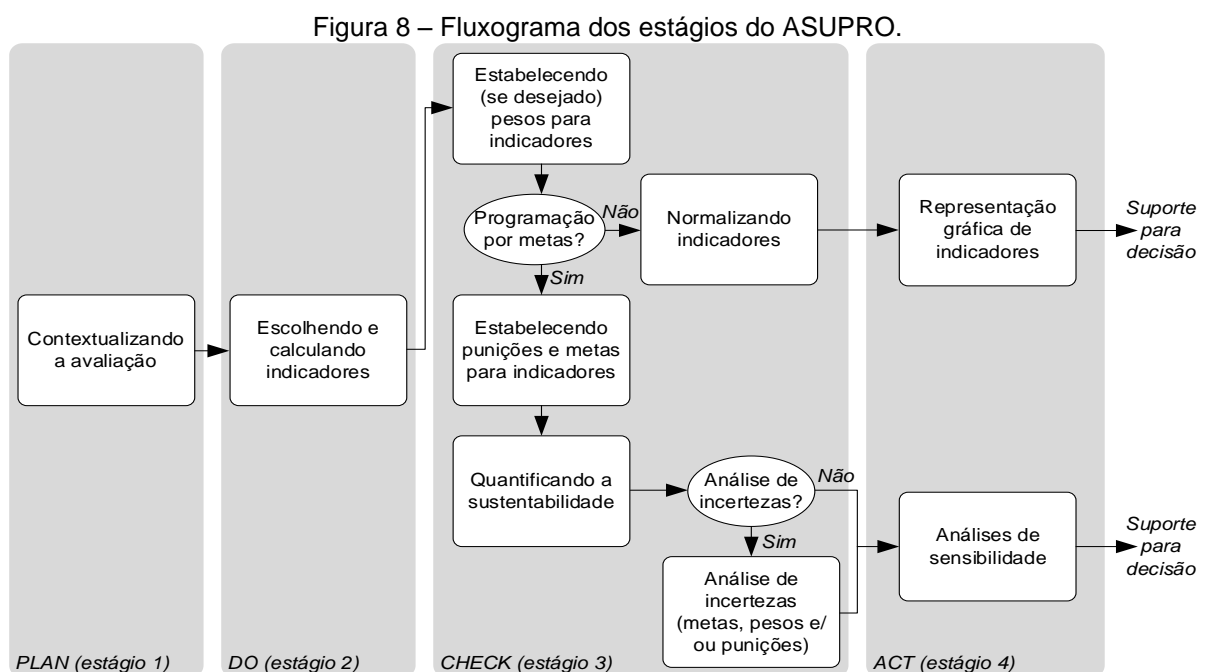
O ASUPRO permite duas abordagens diferentes na proposição de melhorias: (i) quando o analista decide não usar a programação de metas, as propostas podem ser levantadas pela leitura direta do diagrama de radar; (ii) quando o analista decide

usar a programação de metas, uma análise de sensibilidade pode ser realizada sobre o WSI. Enquanto o primeiro é uma abordagem rápida e simples, ele não permite quantificar as mudanças necessárias para um resultado otimizado, apenas escolher qual indicador deve ser melhorado. Por outro lado, a aplicação de uma análise de sensibilidade permite compreender não apenas qual o indicador deve ser priorizado, mas também quantos indicadores devem ser melhorados para um resultado otimizado, fazendo uso da análise de sensibilidade.

No ASUPRO, a análise de sensibilidade é usada para medir diferentes valores de uma variável independente, ou seja, os indicadores que alimentam o modelo 5SEnSU, afetam um valor dependente específico (WSI), diminuindo ou aumentando o valor dos indicadores em unidades percentuais. A partir dessa abordagem, uma hierarquia de ações pode ser fornecida para apoiar os tomadores de decisão, indicando quais indicadores devem ser priorizados e que medidas (AGOSTINHO *et al.*, 2019).

4.1.5 Fluxograma dos Estágios do ASUPRO

A Figura 8 apresenta um fluxograma dos estágios do ASUPRO, em que o analista no estágio 3 tem alternativas de decidir se a programação por metas e análise de incertezas são etapas necessárias no estudo.



Fonte: Agostinho *et al.* (2019).

Quando a programação de metas é considerada desnecessária, os indicadores são normalizados e apresentados em um diagrama de radar e usados para apoiar decisões. Nesse caso, os indicadores de sustentabilidade meta por setor (ISMES) e o indicador de sustentabilidade global (WSI) não são calculados, e as discussões e interpretações devem se basear apenas no gráfico de radar. Quando a programação de metas é considerada necessária, uma análise de incerteza deve ser aplicada e, em seguida, uma análise de sensibilidade é realizada para fornecer sugestões detalhadas aos tomadores de decisão em direção a níveis mais altos de sustentabilidade para os sistemas avaliados.

4.2 Uso do SIG como ferramenta auxiliar na obtenção de indicadores em eMergia

O planejamento territorial regional requer a disponibilidade de dados e ferramentas a serem integradas em sistemas de informação complexos (MELLINO *et al.*, 2014), e o uso da ferramenta SIG é cada vez mais utilizado para política ambiental e para gerenciar serviços ecossistêmicos, podendo ser considerada uma das ferramentas mais avançadas para possibilitar e facilitar esse desafio de política (RANDOLP, 2004; RAUSCHER, 1999).

Os diferentes tipos e quantidades de energia recebidos pelos ecossistemas e organismos da terra não são espacialmente uniformes, devido às características irregulares do ambiente natural, gerando padrão espacial da paisagem (HUANG *et al.*, 2001; LEE; BROWN, 2009). Medir quantitativamente os fluxos ambientais pode ser útil para entender o apoio ambiental à economia local (MELLINO *et al.*, 2014).

A estrutura SIG utilizada para extrair e quantificar dados de uso de ocupação do solo no MATOPIBA são da plataforma online do projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil – MapBiomias (Figura 9). O projeto MapBiomias envolve uma rede colaborativa com vários especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine*² para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (MAPBIOMAS, 2019).

² Uma plataforma de escala planetária para dados e análise da ciência da terra, desenvolvido pela infraestrutura de nuvem da Google, lançado em 2008.

Figura 9 – Mapa de uso e ocupação do solo - MATOPIBA 2018.



Fonte: MapBiomias (2019).

Essa base de dados foi utilizada para quantificar as classes de uso existentes no MATOPIBA. Os dados com informações anuais de uso e cobertura da terra estão disponíveis a partir de 1985 até os dias atuais. É uma ferramenta rápida (com alto poder de processamento em nuvem), acessível a todos usuários (por meio de cadastro) e sem custo para gerar mapas de cobertura e análise temporal de qualquer região do Brasil, e permite fazer o cruzamento dos planos de informação em diferentes escalas (por exemplo, estados, municípios ou bacia hidrográfica).

O uso do SIG também é fundamental para extrair as informações dos dados das luzes noturnas de satélites, operado pelo Programa de Satélite Meteorológicos de Defesa da Força Aérea dos EUA (DMSP). O *Operational Linescan System* (OLS) é um sistema de seis satélites com dados de luzes noturnas. Essa plataforma fornece uma série de dados de imagens noturnas disponíveis de 1992 a 2013 (ELVIDGE *et al.*, 2009). As luzes noturnas são disponibilizadas em uma grade variando de -180° a 180° de longitude e de -65° a 75° de latitude (Figura 10).

As imagens (DMSP) composição de luzes noturnas, são processadas e disponibilizadas sem a cobertura de nuvens, pelo *National Centers For Environmental Information* – NOAA. O número digital com valores que variam de 0 (áreas totalmente escuras, por exemplo, em ambientes rurais e selvagens) a 63 pixel (brilho máximo

detectável por sensor, por exemplo, em áreas urbanas densamente povoadas). O Pixel é caracterizado pelo seu valor numérico digital (DN) (TUTTLE *et al.*, 2013).

O conjunto de imagens utilizadas são para dos anos 1992, 2000, 2010, 2012 e 2013, e foram utilizadas e processados em ambiente SIG do software QGIS® 3.10, como alternativa de proxy para calcular os recursos não renováveis e da economia (N+F) da região do MATOPIBA.

Figura 10 – Imagem DMSP composição de luzes noturna

Average Visible, Stable Lights, & Cloud Free Coverages						
Year\Sat.	F10	F12	F14	F15	F16	F18
1992	F101992	-----	-----	-----	-----	-----
1993	F101993	-----	-----	-----	-----	-----
1994	F101994	F121994	-----	-----	-----	-----
1995	-----	F121995	-----	-----	-----	-----
1996	-----	F121996	-----	-----	-----	-----
1997	-----	F121997	F141997	-----	-----	-----
1998	-----	F121998	F141998	-----	-----	-----
1999	-----	F121999	F141999	-----	-----	-----
2000	-----	-----	F142000	F152000	-----	-----
2001	-----	-----	F142001	F152001	-----	-----
2002	-----	-----	F142002	F152002	-----	-----
2003	-----	-----	F142003	F152003	-----	-----
2004	-----	-----	-----	F152004	F162004	-----
2005	-----	-----	-----	F152005	F162005	-----
2006	-----	-----	-----	F152006	F162006	-----
2007	-----	-----	-----	F152007	F162007	-----
2008	-----	-----	-----	-----	F162008	-----
2009	-----	-----	-----	-----	F162009	-----
2010	-----	-----	-----	-----	-----	F182010
2011	-----	-----	-----	-----	-----	F182011
2012	-----	-----	-----	-----	-----	F182012
2013	-----	-----	-----	-----	-----	F182013

F15 2003 Nighttime Lights Composite



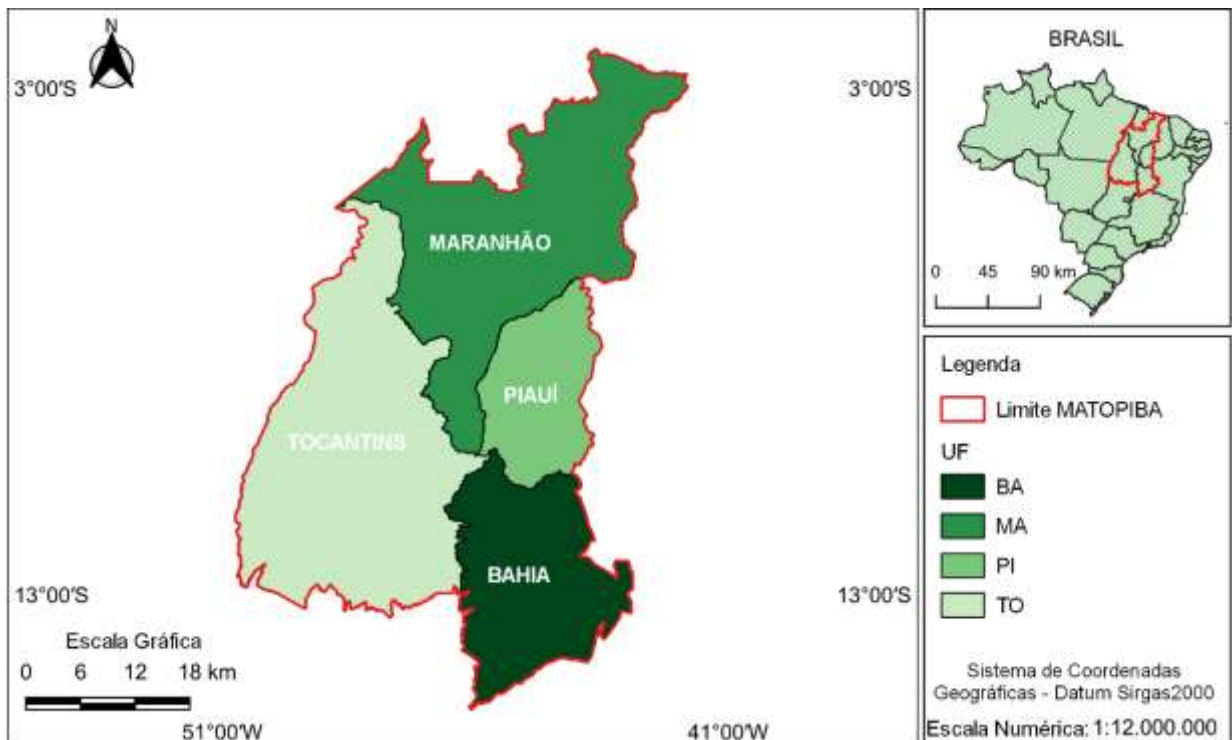
Fonte: National Centers For Environmental Information – NOAA. Disponível em: <https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estágio 1 (PLAN) Contextualizando a avaliação

A fronteira do sistema MATOPIBA é o limite geográfico (Figura 11), localizado entre os meridianos 50° 45' e 41° 45' de longitude oeste e os paralelos 2° 15' e 15° 15' de latitude Sul. A delimitação desse polígono foi incluída como uma das atividades previstas num acordo de cooperação técnica celebrado entre o Ministério do Desenvolvimento Agrário, através do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), e a EMBRAPA, através do Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE)³.

Figura 11 – Delimitação Territorial do MATOPIBA



Fonte: IBGE (2014). Elaboração própria.

³ O Grupo de Inteligência Territorial Estratégica - GITE, realizou a estruturação de uma base de dados dos quatro Estados, incluindo temas como biomas, dados agrícolas, limites estaduais, microrregiões e municípios, em ambiente de um sistema de informação geográfica (SIG) a partir das informações do Ministério do Meio Ambiente (MMA), do Sistema de Recuperação Automática do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (SIDRA/IBGE) e da Embrapa/Agrotec, além dos dados de infraestrutura logística do Ministério dos Transportes (MT), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da Secretaria do Programa de Aceleração do Crescimento (SEPAC) do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG).

Um dos principais critérios utilizados nessa delimitação territorial foi o bioma cerrado, que representa a maior parte, com uma área de aproximadamente 67 milhões de hectares (91%) da área total do MATOPIBA. Outros remanescentes de biomas também aparecem como Amazônia e Caatinga representam ~7,3% (5 milhões de hectares) e 1,7% (1 milhão de hectares) respectivamente (MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2014).

O MATOPIBA é composto por 31 microrregiões administrativas, formadas por municípios dos quatro estados da federação: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, onde os 337 municípios somam uma área de 73.143.845,00 ha (Setenta e três milhões, cento e quarenta e três mil, oitocentos e quarenta e cinco hectares), com uma população de 6,3 milhões de habitantes. Desse total 3,7 milhões (58,4%) vivem no Maranhão, 1,5 milhão no Tocantins (24,2%), 835 mil na Bahia (13,2%) e 263 mil no Piauí (4,2%) (IBGE, 2016).

As partes interessadas e relacionadas com esse estudo de caso são órgãos de governos (Federal, Estadual e Municipal), e as empresas privadas que atuam diretamente no agronegócio da região, podendo fazer uso desse estudo como informação para tornar a atividade mais sustentável, as Instituições de ensino e pesquisa, e a sociedade civil organizada, através das ONG's, usando os resultados para aprofundar as discussões científicas no estudo da sustentabilidade. Mais detalhes como a caracterização agrária, ambiental, solo e clima encontram-se no apêndice P.

5.1.1 Período de Avaliação

A escolha do período de avaliação compreende os anos de 1990, 2000, 2010 e 2018. Apesar do processo de ocupação da região ter iniciado na década de 70/80, somente a partir de 1990 é que a região inicia de fato a produção de grão, porém ainda muito incipiente. De 2000 a 2010, a região se caracteriza como fronteira agrícola, com destaque do agronegócio na produção em grande escala, 2018 foi ano escolhido depois da regulamentação do PDA-MATOPIBA. Buscou-se com esse intervalo avaliar a dinâmica de ocupação, antes e após o avanço do agronegócio nessa região. O segundo critério foi a disponibilidade de dados disponível no censo agropecuário do IBGE, que acontece a cada 10 anos.

5.1.2 Coleta de dados primários

Os dados estatísticos (alfanuméricos) foram obtidos de relatórios disponíveis dos órgãos oficiais como os Censos Agropecuários, Produção Agrícola Municipal, ambos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Atlas do Desenvolvimento Humano, do Programa da Nações Unidas (PNUD), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), Mistérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (SEEG) vinculado ao Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI). Os indicadores socioeconômicos foram coletados a nível municipal (337 municípios), depois foram agregados e considerado seus valores medianos para cada ano. Quando não foi possível obter os dados primários, foram estimados usando a análise de tendência no Excel. Para facilitar o entendimento, todos os detalhes de cálculos são fornecidos durante as discussões.

O inventário dos dados com valores médios de insolação (J/m^2 ano), temperatura ($^{\circ}C$), evapotranspiração potencial (mm), precipitação acumulada (mm) e intensidade do vento (m/s) foram extraídos do relatório Normal Climatológico do Brasil, de 1981 a 2010, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Os dados das estações meteorológicas utilizados foram manipulados em ambiente SIG e encontram-se no Apêndice O (Tabela 64). A Figura 33 apresenta a distribuição espacial das estações ativas utilizadas para o MATOPIBA.

Dados de altitude média foram extraídos das imagens SRTM (Apêndice P, Figura 36), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial-INPE, através da plataforma do programa TOPODATA, que disponibiliza as imagens SRTM, com resolução espacial de 90m (SRTM-NASA), divididas na articulação de folhas do Brasil, reprojetaas na resolução espacial de 30m. Perdas de solo e floresta foram extraídos dos mapas com a cobertura do uso e ocupação da terra na plataforma MapBiomas, que disponibiliza imagens classificadas do uso e cobertura do solo brasileiro de 1985 a 2020 (MAPBIOMAS, 2019); Imagens noturnas de satélites (DMSP-OLS), são encontradas em uma grade variando de -180° a 180° de longitude e de -65° a 75° de latitude, cobrindo basicamente todas as regiões habitadas na terra, com resolução de 30 segundos de arco, ou aproximadamente $1km^2$ no equador (ELVIDGE *et al.*, 2001). Essas imagens foram utilizadas como alternativa para calcular os recursos (N+F) da região do MATOPIBA, com base no método proposto por

Agostinho *et al.* (2021). Os dados biofísicos disponibilizados no formato Shapefile⁴ foram manipulados usando o Software de Informações Geográficas de acesso livre – QGIS⁵ (versão 3.10).

5.1.3 Diagrama de Energia

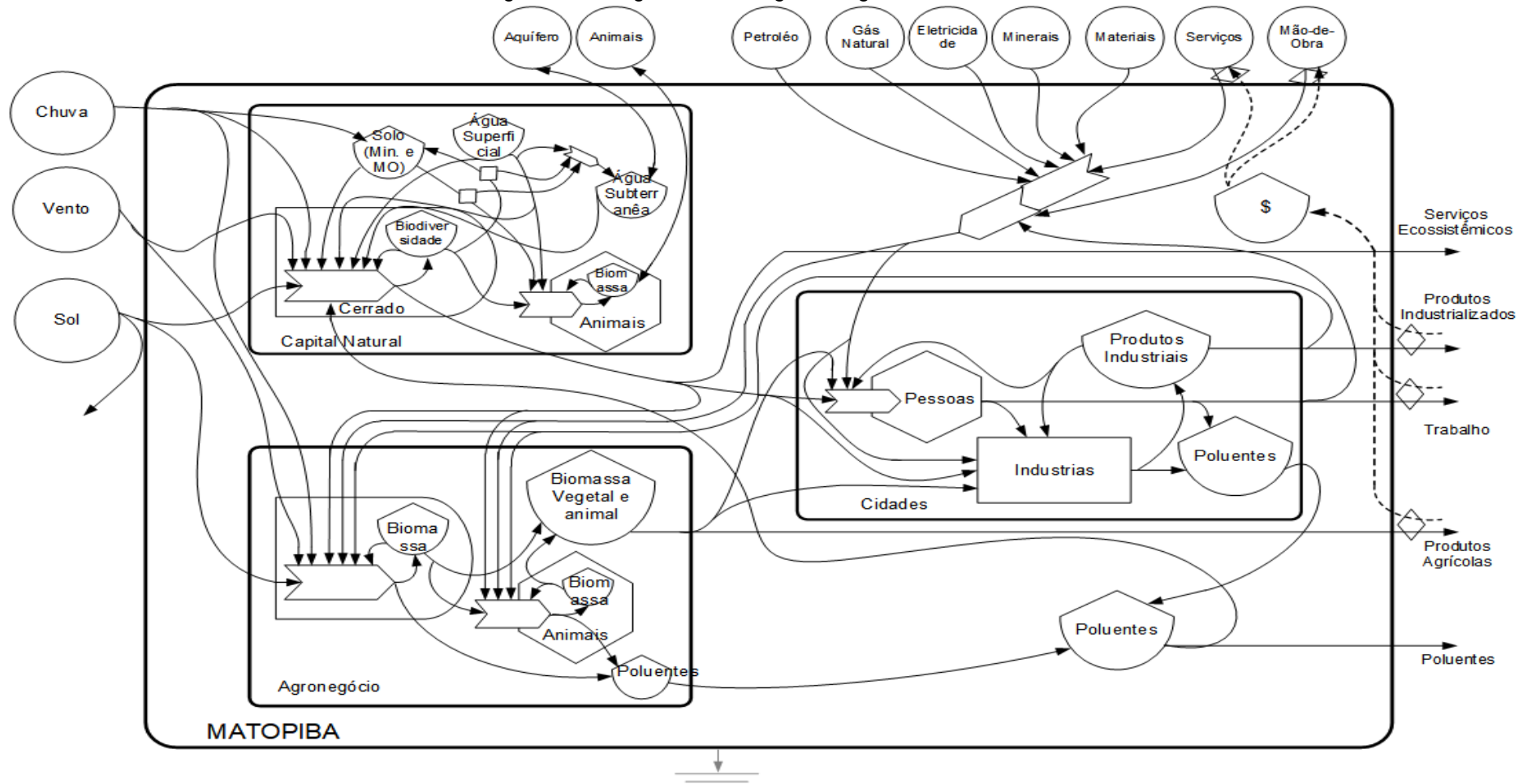
A Figura 12 apresenta o diagrama de energia da região do MATOPIBA, e pode ser representado como um modelo conceitual do sistema avaliado. O funcionamento do sistema é representado pelos fluxos e símbolos no diagrama de energia. O retângulo maior representa a fronteira do sistema (MATOPIBA), internamente representam os subsistemas (capital natural, agronegócio e as cidades) que interagem e demandam recursos da natureza, renováveis (sol, chuva, vento), não-renováveis (Aquífero, animais, petróleo, gás-natural, eletricidade, minerais e materiais) e recursos da economia (serviços e mão-de-obra).

Na produção primária (símbolo em forma de bala), temos o ecossistema natural (cerrado) e sistemas agrícolas (agronegócio); Processos de transformação (retângulos) representam a indústria de manufatura (incluindo a produção de energia elétrica), comércio e infraestruturas. A população (pessoas e animais) é representada pelo hexágono. Os principais recursos são mostrados como círculos e localizados ao lado do sistema. Os recursos locais, na forma de estoques (repositório de recursos minerais, as águas subterrâneas e a fertilidade do solo), estão representados na forma de caixa d'água; cada fluxo de energia e material é definido por uma seta. As setas que apontam para baixo, que convergem para um dissipador de calor, indicam que, a cada transformação, parte da energia se degrada na forma de calor, de acordo com o 2º princípio da termodinâmica. Como saída estão os serviços ecossistêmicos (sistema natural), produtos industrializados e trabalho (cidades), produtos agrícolas (agronegócio) e poluentes (cidades e agronegócio). A atividade do agronegócio no MATOPIBA demanda recursos externos, e a maior parte de sua produção (saídas) estão relacionadas à exportação de commodities, que pode levar uma maior redução de áreas naturais, sem a mesma proporção de benefícios no aspecto social. Essa complexidade é representada quantitativamente pelo 5SEnSu e posteriormente pela programação por metas.

⁴ Shapefile é um formato popular de arquivo contendo dados geoespaciais em forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas também conhecidos como SIG.

⁵ Sistema de Informação Geográfica Livre e Aberto. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/

Figura 12 – Diagrama de energia da região do MATOPIBA



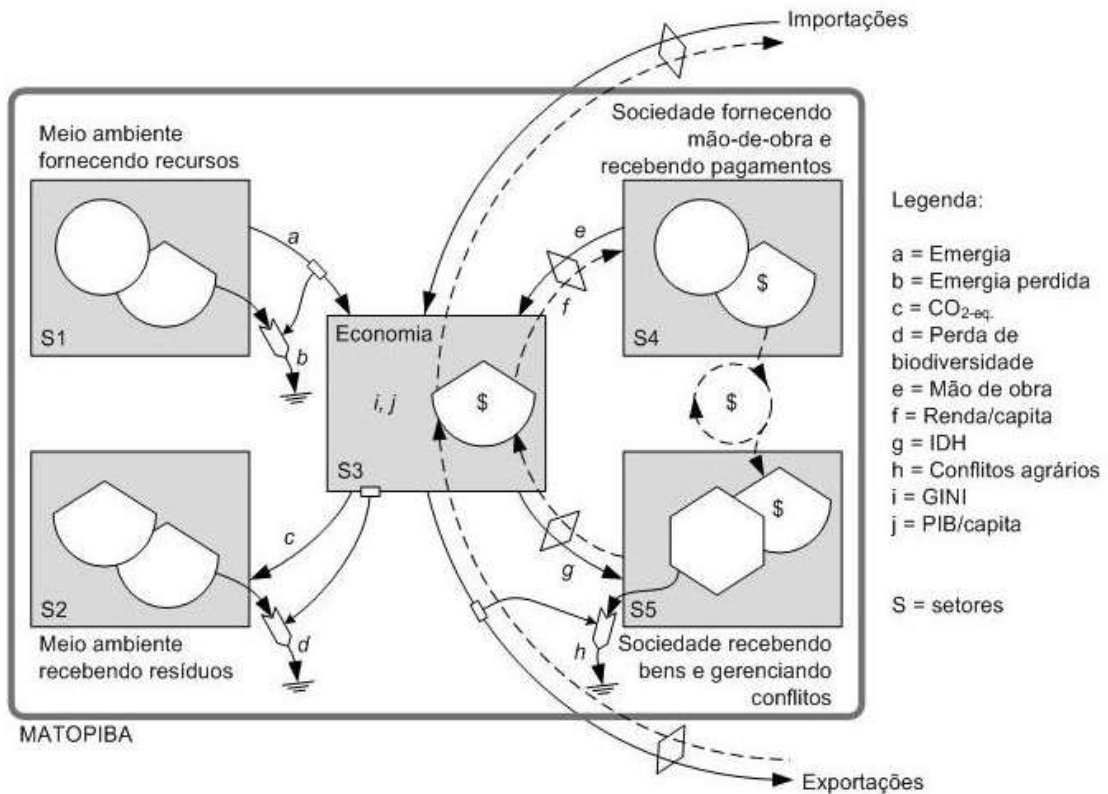
Fonte: Elaboração própria.

Observação: As linhas que representam os fluxos de energia degradada foram suprimidas para evitar excesso de linhas que dificultariam o entendimento do diagrama. Deve-se ter em mente que para todos os símbolos de Interação, Estoque e Pessoas, há perda de energia (2a Lei da Termodinâmica) que flui para fora do sistema e é considerada degradada.

5.2 Estágio 2 (DO) Escolha dos indicadores, cálculos e metas para alimentar o modelo 5SEnSU

A escolha dos indicadores foi realizada com base no modelo de avaliação de sustentabilidade 5SEnSU (Figura 13). Os critérios para escolha de indicadores seguem os parâmetros propostos por Bonisoli *et al.* (2018), sendo: disponibilidade de dados, relevância, válidos analiticamente, flexível para mudanças, mensuráveis, relevantes para políticas, implementável e de fácil entendimento.

Figura 13 – Modelo de avaliação de sustentabilidade - 5SEnSU do MATOPIBA



Fonte: Elaboração própria.

Os dados foram escolhidos utilizando-se de artigos científicos (GIANNETTI *et al.*, 2019; LIU; BROWN; CASAZZA, 2017), relatórios governamentais sobre o tema e as contribuições do grupo de pesquisadores do LAPROMA⁶ em reuniões acadêmicas. Em cada setor do modelo 5SEnSU, foram escolhidos dois indicadores para manter o equilíbrio, respeitando os axiomas do modelo e sua representatividade, e na relação desses indicadores com cada setor.

⁶ LAPROMA: Laboratório de Engenharia de Produção e Meio Ambiente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista-UNIP.

No Setor 1, os indicadores escolhidos são: (a) eMergia fornecida pelo sistema em sej/ha ano; e (b) eMergia perdida em sej/ha ano (a eMergia perdida é resultado da soma da perda do solo + floresta).

No Setor 2, os indicadores escolhidos são: (c) as emissões de gases de efeito estufa (GEE) representados pelo Potencial de Aquecimento Global – GPW em tCO₂eq/hab ano, e (d) a perda da biodiversidade em espécie/ano, ocasionada principalmente pela substituição da vegetação natural por área de produção agropecuária.

No Setor 3, a escolha dos indicadores leva em consideração a economia da região com o avanço do agronegócio, representado pelo (i) distribuição de renda (índice de GINI) (j) PIB/capita.

No Setor 4, os indicadores são (e) mão-de-obra, contabilizado pelo percentual do número de empregos gerados por ano, e (f) a Renda percapita, representada pela média dos salários pagos aos trabalhadores. Os indicadores Emprego e Renda, são importantes para representar o padrão de vida da sociedade. Enquanto maior taxa de empregos formais garante mais benefícios para os empregados, o aumento da renda permite acesso a bens e serviços, e conseqüente melhor qualidade de vida.

No Setor 5, os indicadores representam o que o sistema devolve para a sociedade. Neste caso, os indicadores de qualidade de vida são representados pelo (g) IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) e (h) a quantidade de conflitos de terras na região, para representar os benefícios e/ou impactos que o setor S3 contribui para a qualidade de vida da população.

Com base no modelo 5SenSu, o setor S1 é o meio ambiente, fornecendo recursos para sustentar a economia no setor S3 e recebendo resíduos no setor S2. É possível observar que a circulação de dinheiro ocorre apenas no setor S4 em que a sociedade fornece mão-de-obra e conhecimento e, em troca, recebe pagamentos. O setor S5 é representado pela sociedade recebendo bens e gerenciando conflitos. O sistema ainda apresenta uma demanda de insumos que são importados e a produção é exportada em forma de commodities.

Para cada um dos dez indicadores escolhidos foi associado uma meta considerada adequada de acordo com padrões estabelecidos encontrados na literatura especializada. Os critérios e metas escolhidas são apresentados respeitando cada setor, como explicado nos subitens a seguir.

5.2.1 EMergia (*Empower density*)

A eMergia pode ser considerada uma ferramenta robusta de contabilidade ambiental (GIANNETTI *et al.*, 2013), além de representar todos os recursos diretos e indiretos do sistema (AGOSTINHO; SICHE, 2014), a eMergia fornecida pelo sistema é representada pela quantidade de energia disponível por tempo, por unidade de superfície (*Empower density* em sej/ha ano) (ODUM, 1996). O objetivo é maximizar o indicador conforme o princípio da potência máxima (LOTKA, 1922; ODUM, 1988). A eMergia per capita também tem sido utilizada por outros autores para avaliar sustentabilidade de nações (FAN *et al.*, 2018; GIANNETTI *et al.*, 2018b; LIU; BROWN; CASAZZA, 2017; VIGLIA *et al.*, 2018).

O critério para escolha da meta como referência desse indicador é baseado na literatura, utilizando como dados o valor médio da intensidade de *Empower density* (sej/ha ano) para os quatro estados que formam a região do MATOPIBA. Esses valores com dados de 2007 são encontrados em Demétrio (2011), e o valor médio dos quatro estados de referência do *Empower density* é $9.61E+15$ sej/ha ano.

Na Perda de Solo + Floresta, o objetivo é minimizar o indicador. Nesse caso específico, pela subjetividade e incerteza do valor ótimo, utilizou-se o critério de escolha da meta baseado no estudo de Moreno García *et al.* (2021). Esse critério considera o valor mínimo de cada ano somado ao desvio padrão para os indicadores que se deseja minimizar, e o valor máximo mais o desvio padrão para os indicadores que se deseja maximizar.

5.2.2 Biodiversidade

Do ponto de vista antropocêntrico, não há dúvidas sobre os benefícios que a biodiversidade traz para os seres humanos (PEARSON, 2016). Portanto, é importante conservar e mitigar suas perdas. No entanto, ações de conservação podem ser comprometidas ou limitadas por interesses econômicos (MARGULES; PRESSEY, 2000), que podem representar conflitos entre conservação e desenvolvimento (BALMFORD *et al.*, 2003).

A riqueza de espécies é um dos parâmetros utilizados para mensurações e comparações da biodiversidade entre regiões, também variando ao longo do tempo e do espaço (CARTELLE, 1994). As áreas mais importantes para a preservação das espécies (*hotspots*) fornece a base científica ao direcionamento de pesquisas e

estratégias de conservação. Os *hotspots* são regiões que abrigam uma imensa diversidade de espécies endêmicas significativamente afetadas e alteradas pelas atividades humanas (GALINDO-LEAL *et al.*, 2005). As mudanças no uso e cobertura da terra que afetam a biodiversidade, sobretudo em regiões tropicais, têm destacado a importância das dinâmicas espaciais em pesquisas científicas e tomadas de decisão conservacionistas. Além disso, o problema do desmatamento em florestas leva a formação de fragmentos isolados de vegetação.

A fragmentação da vegetação é considerada uma das piores ameaças para os ecossistemas, tanto em relação à biodiversidade quanto aos recursos naturais (ODUM; BARRET, 2007). Então, o objetivo é minimizar esse indicador. O critério de escolha da meta para o MATOPIBA foi o valor mínimo entre os quatro anos avaliados (1990, 2000, 2010 e 2018), adicionado ao desvio padrão (MORENO GARCÍA *et al.*, 2021).

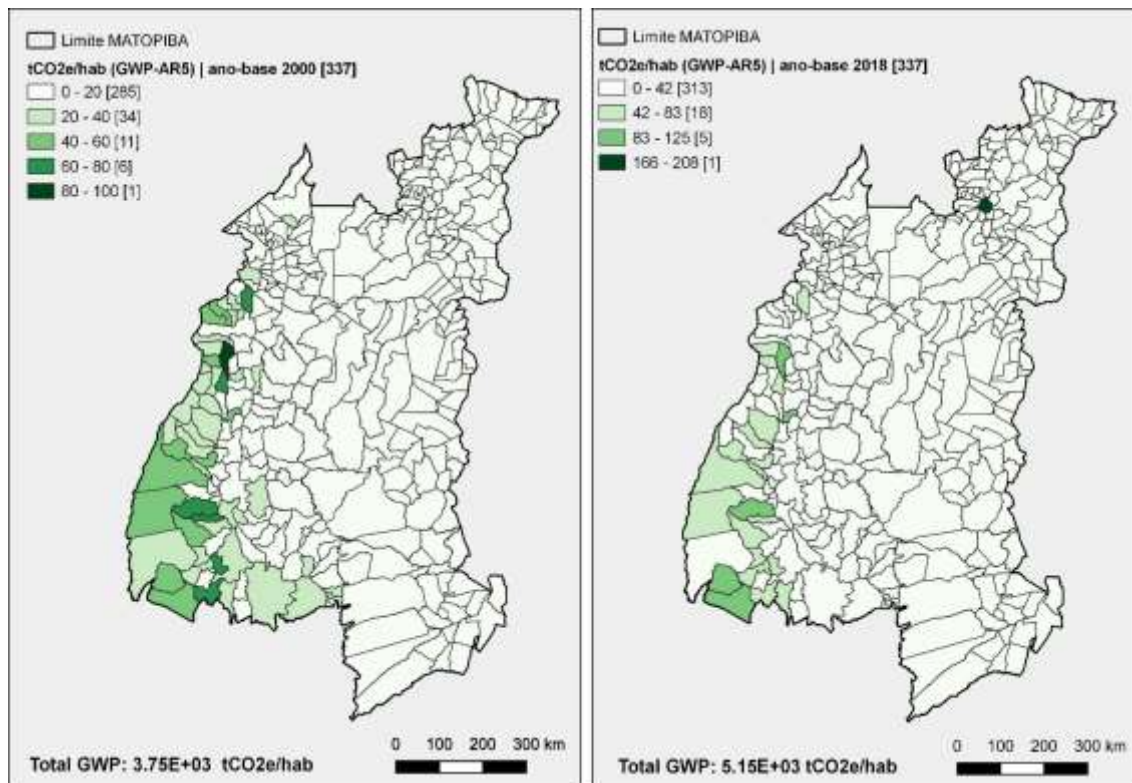
5.2.3 Emissões de Gases de Efeito Estufa-GEE

O meio ambiente tem a função de sumidouro para diluir e absorver os poluentes que o sistema devolve para natureza em forma de resíduos. O Potencial de Aquecimento Global (GWP) é medido, principalmente, pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera que são provenientes da queima de combustível fóssil.

Durante a 15^a Conferência das Partes (COP-15), o governo brasileiro divulgou o seu compromisso voluntário de redução entre 36,1% e 38,9% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) projetadas para 2020, estimando o volume de redução em torno de um bilhão de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂ eq). No MATOPIBA as emissões de gases de efeito estufa por população por municípios, inclui os setores da Agropecuária, energia, indústrias e resíduos totalizavam 2.974,55 tCO₂e/hab (GWP-AR5) em 1990, 3.746,32 tCO₂e/hab em 2000, passando para 4.538,76 tCO₂e/hab em 2010 e 5.148,94 tCO₂e/hab em 2018, um aumento de 73% no GWP entre 1990 a 2018. O mapa (Figura 14), mostra a distribuição dos municípios em Potencial de Aquecimento Global (GWP) por habitantes (SEEG, 2019).

O objetivo é minimizar o indicador para evitar o aquecimento global. O critério de escolha da meta é o valor mínimo entre os anos, mais o desvio padrão (MORENO GARCÍA *et al.*, 2021). A utilização desse indicador na avaliação da sustentabilidade das nações pode ser encontrada em Liu, Brown e Casazza (2017) e Bekun, Alola e Sarkodie (2019).

Figura 14 – Potencial de aquecimento global (GPW) em tCO₂eq/hab. dos municípios do MATOPIBA (2000 - 2018)



Fonte: SEEG (2019). Elaboração própria.

A Tabela 5 apresenta um resumo do método de cálculos para os indicadores dos setores ambientais S1 e S2.

Tabela 5 – Indicadores dos Setores S1 e S2

Indicador	Resumo da metodologia
<i>Empower density</i>	Total dos fluxos de energia do sistema em sej por ano (ODUM, 1996); área do MATOPIBA em hectares (MAPBIOMAS, 2019).
Perda de solo + Floresta	Total da matéria orgânica contida no solo em sej/ha ano (valor médio da transformidade, baseado em #Folio 4 (BRANDT-WILLIAMS, 2002), Shah <i>et al.</i> (2019) e Cavalett e Ortega (2010), área do MATOPIBA em hectares (EMBRAPA/GITE) (+) Total da área perdida de vegetação natural, por hectare, por ano (MAPBIOMAS, 2019), e <i>Empower density</i> da Savannah (Venezuela), baseado em Fólio 3 (BROWN; BARDI, 2001), em sej/ha ano.
GWP	Valores dos fluxos por municípios do MATOPIBA para (agropecuária, energia, processos industriais e Resíduos), baseado em GWP-AR5 do (SEEG, 2019).
Biodiversidade	Total da área de vegetação natural perdida, hectare por ano (MAPBIOMAS, 2019), e valor da biodiversidade (baseado no inventário do IFB, 2020), em espécie por hectare.

Fonte: Elaboração própria.

5.2.4 PIB

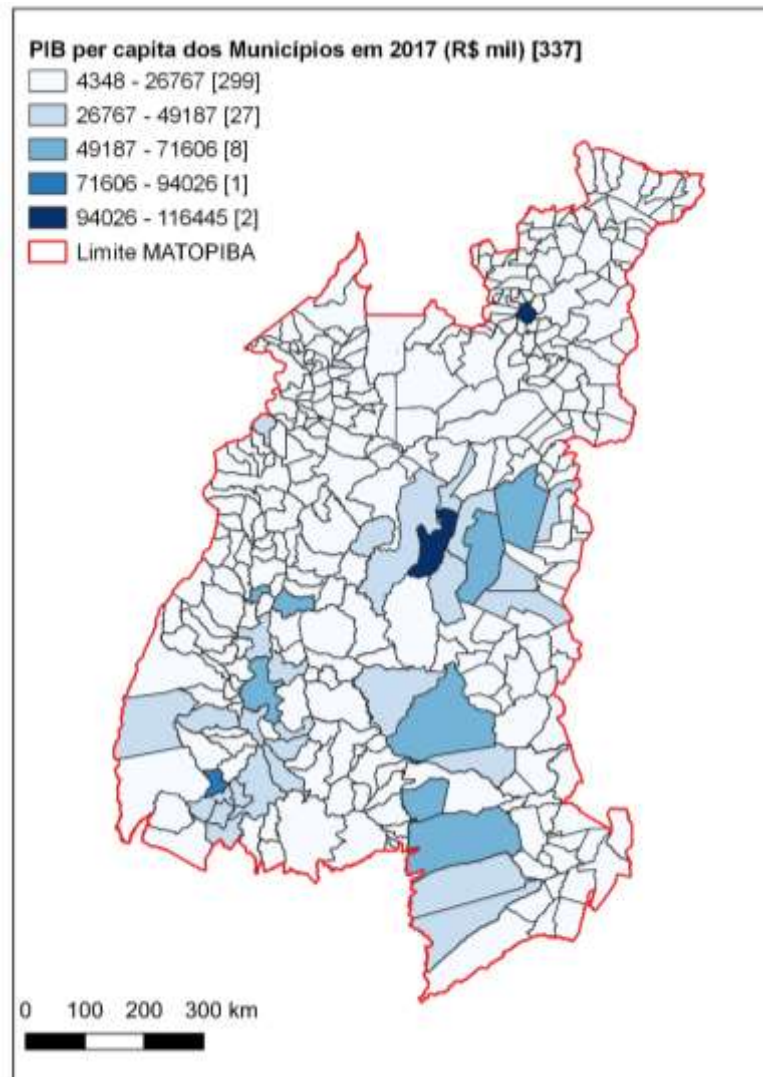
Um aumento no PIB per capita é um pré-requisito básico para melhorias nos padrões de vida, como melhores serviços de saúde, meios de subsistência, acesso à educação, melhores condições de trabalho, e assim por diante. A utilização desse indicador pode ser encontrada em Menegaki e Tiwari (2017), Kurniawan e Managi (2018). A meta considerada para PIB/capita foi o valor médio dos estados que formam o MATOPIBA para o ano 2015 (R\$ 14.681,16), ano de publicação do PDA-MATOPIBA. O objetivo é maximizar esse indicador. A economia da região do MATOPIBA, é focada na agricultura. O PIB a preços constantes do MATOPIBA, cresceu 125,7% entre os anos 2000 e 2016, configurando uma evolução significativa, visto que o PIB brasileiro cresceu 46%, para o mesmo período.

No ano 2000 o PIB do MATOPIBA foi de R\$ 11.4 bilhões, os vinte maiores PIBs totalizavam 47,8% do PIB da região. Os municípios que apresentam os maiores PIBs em 2016 estão concentrados na chamada rota da soja, que começa no Oeste Baiano e segue em direção ao sul do Maranhão e sudoeste do Piauí. Um destaque para os municípios com elevado PIB, como Imperatriz (MA) e Araguaína (TO), que apesar de não estarem no núcleo da produção da soja, estão no corredor de exportação de grãos (PEREIRA, 2019). Quando se consideram os estados que formam o MATOPIBA, o Piauí foi o que apresentou a maior taxa de crescimento, de 164,9% com destaque para o município de Uruçuí, que cresceu 394% no período, principal região de expansão da soja no estado. A porção do Tocantins cresceu 141,6% no período, com destaque para os municípios que margeiam a ferrovia Norte-Sul. O Maranhão que apresenta região com forte dinâmica agrícola, no sul do estado, cresceu 121,9% no período, com destaque para Balsas, município de destaque no agronegócio. O oeste baiano, cresceu 102% no mesmo período.

Desse modo, pode se observar que a distribuição regional do PIB no MATOPIBA, é mais forte em poucos municípios na composição da riqueza. O mapa (Figura 15) mostra que 299 municípios apresentam PIB per capita entre R\$ 4.348,00 – 26.767,00; 27 municípios estão na faixa entre R\$ 26.767,00 - 49.187,00; 8 municípios entre R\$ 49.187,00 - 71.606,00; e apenas 1 município com renda per capita entre R\$ 71.606,00 – 94.026,00; a maior faixa de renda no PIB per capita é de R\$ 94.026,00 a 116.445,00, que é representada por apenas dois municípios dentro do MATOPIBA, e pode ser caracterizada como concentração de riqueza, e

conseqüentemente uma baixa distribuição de renda, influenciando diretamente no índice de Gini.

Figura 15 – PIB per capita dos municípios do MATOPIBA em 2017



Fonte: IBGE (2017). Elaboração própria.

5.2.5 Índice de GINI

O Brasil é um dos países mais desiguais do mundo, segundo o Relatório Global de Desenvolvimento Humano de 2016 do PNUD. Ocupa a 10ª posição no ranking da desigualdade (medida pelo coeficiente de Gini) em um conjunto de 143 países. Uma das principais recomendações da ONU é reconhecer e combater essas desigualdades (PNUD; IPEA; FJP, 2017).

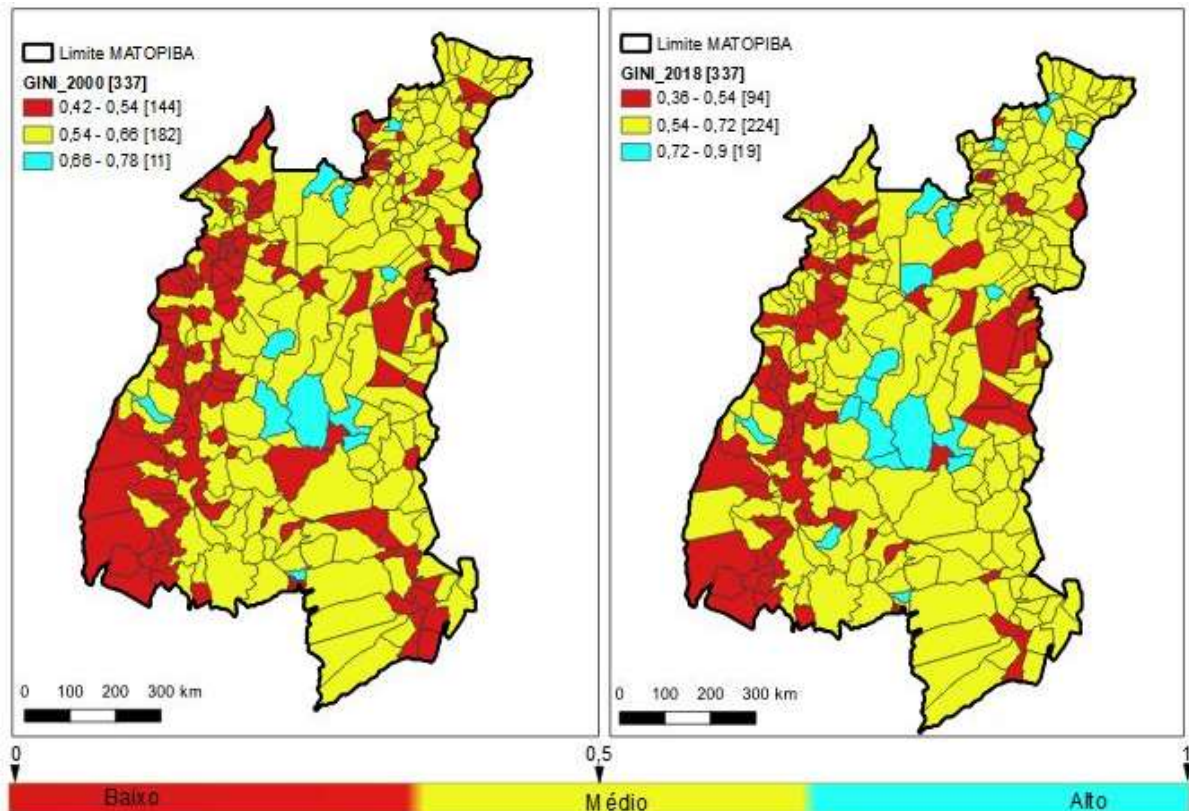
O índice de Gini mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos, segundo a renda domiciliar per capita, ou seja, mede a desigualdade de

distribuição de renda entre países, regiões, municípios etc. Seu valor varia de 0, quando não há desigualdade (a renda domiciliar per capita de todos os indivíduos tem o mesmo valor), a 1, quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda) (PNUD; IPEA; FJP, 2017).

O objetivo é minimizar o indicador. A meta adotada de 0.4 é o valor sugerido pela Organização das Nações Unidas (ONU), considerado um valor de equilíbrio na distribuição da renda entre as pessoas. Uso do GINI como indicador podem ser encontrados em Pulselli *et al.* (2015) e Neri *et al.* (2017).

No MATOPIBA, 43% (144) dos 337 municípios no ano 2000 (Figura 16) apresentavam índice entre 0,42 – 0,54, 182 municípios na faixa de médio 0,54 – 0,66 e 11 municípios na faixa alta de 0,66 – 0,78. Em 2018, houve uma piora na distribuição de renda, reduzindo para 94 os municípios na faixa de 0,36 – 0,54, por outro lado, houve um aumento na concentração de renda em 2018, na faixa média passando para 224 municípios entre 0,54 – 0,72 e com alta concentração de 0,72 – 0,90, passando de 11 para 19 municípios, o que representa um aumento da desigualdade na região no período avaliado.

Figura 16 – Índice de GINI dos municípios do MATOPIBA (2000 - 2018)



Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano (PNUD, 2019). Elaboração própria.

5.2.6 Emprego e Renda

De acordo com dados do Banco Mundial (2017), a taxa de empregos representa a proporção da população de um país que é empregada. Melhorar a renda per capita da população garante melhor qualidade de vida e representa aceitação social, e os indicadores devem ser maximizados. O critério adotado para meta é o valor médio dos estados que formam o MATOPIBA, o valor de referência (Renda/capita 465,16 R\$/pessoa, e o percentual médio de empregados de 62,23%), para o ano 2010. Aplicação desses indicadores também podem ser encontrados em Antanasijević *et al.* (2017), Giannetti *et al.* (2019) e Pereira (2019).

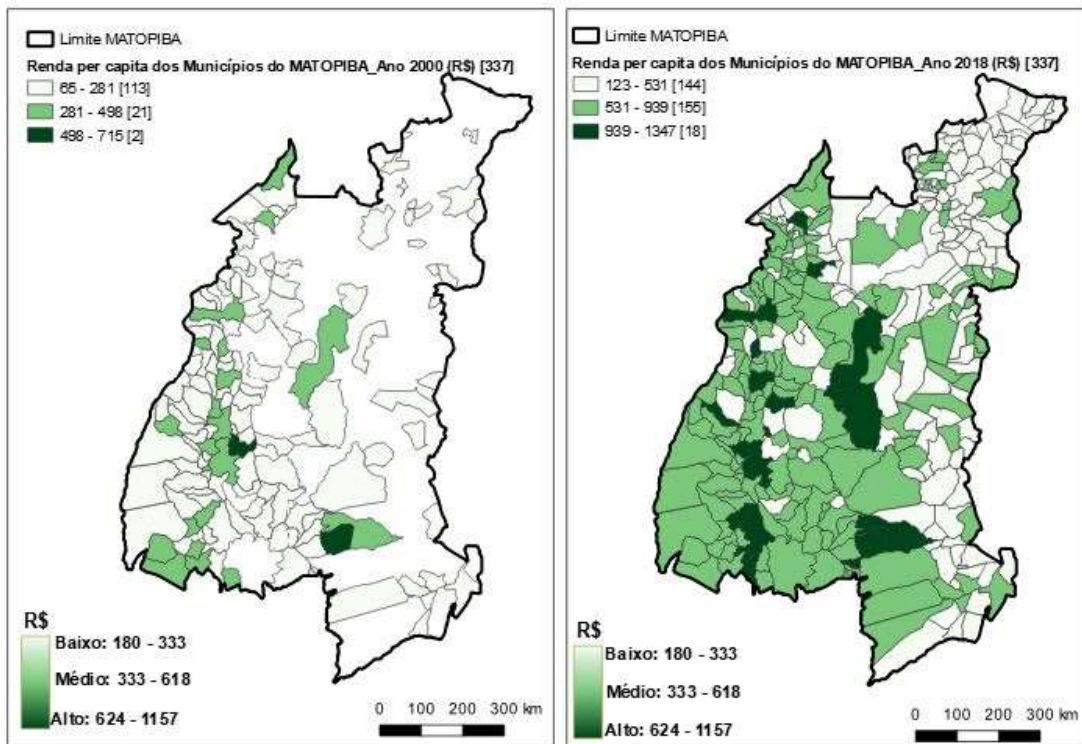
A renda per capita brasileira em 2010 era de R\$ 793,87, com crescimento de 34% em relação ao ano 2000, alcançando o valor de R\$ 1.373,00 no ano de 2018 (IBGE, 2018). Nesse período, o MATOPIBA também apresentou incremento, com média de R\$ 185,24, em 2000⁷, e média de R\$ 300,95, em 2010. Essa evolução na renda pode ser explicada por diversos fatores (por exemplo, o Bolsa Família), os resultados alcançados a partir de 2003 consolidou e aumentou o volume de recursos, bem como o número de famílias beneficiadas pelo programa do Bolsa Família, bem como de outros programas como o Benefício de Prestação Continuada (BPC) (PEREIRA, 2019).

A região do MATOPIBA é historicamente caracterizada pela grande maioria da população carente. De acordo com dados do PNUD (2020), a renda per capita média do estado do Maranhão cresceu 130,29% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 156,47, em 1991, para R\$ 218,27, em 2000, e para R\$ 360,34, em 2010. Isso equivale a uma taxa média anual de crescimento nesse período de 4,49%. A taxa média anual de crescimento foi de 3,77%, entre 1991 e 2000, e 5,14%, entre 2000 e 2010. A proporção de pessoas pobres, ou seja, com renda domiciliar per capita inferior a R\$ 140,00, passou de 73,27%, em 1991, para 62,78%, em 2000, e para 39,53%, em 2010.

O desempenho do MATOPIBA, é apresentado no MAPA (Figura 17) com a renda per capita para os anos 2000 e 2018. A classificação no nível de renda é fornecida pelo Mapa da Desigualdade (PNUD, 2020), e foi utilizada para classificar os municípios que formam o MATOPIBA.

⁷ Valores em Reais para agosto de 2010.

Figura 17 – Renda per capita dos Municípios do MATOPIBA (2000 - 2018)



Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano (PNUD, 2019). Elaboração própria.

No ano 2000, o Brasil apresentou 27,9% de pessoas pobres, com redução para 15,2% de pobres em 2010. No MATOPIBA em 2000 haviam 113 municípios com renda per capita média entre R\$ 65,00 e R\$ 218,00, 21 com renda até R\$ 498,00, e apenas 2 com renda que atinge o valor de R\$ 715,00, dos 337 municípios em 2000, 201 estavam abaixo da renda mínima de R\$ 65,00, ou seja, abaixo da linha da pobreza para ano considerado.

Em 2018, há uma melhoria na renda per capita, quando 18 municípios têm renda equivalente à renda média nacional (R\$ 939,00 a R\$1.347,00), 155 com renda média entre (R\$ 531,00 a R\$ 939,00) e 144 com renda de R\$ 123,00 – R\$ 531,00. Esses dados mostram um aspecto positivo para região do MATOPIBA, que vem melhorando na geração de empregos e renda, e conseqüentemente melhora na qualidade de vida e no índice de desenvolvimento humano da população.

5.2.7 Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM

O IDHM é analisado em uma escala que vai de 0 a 1, com 0 representando pior nível de desenvolvimento humano enquanto 1 representa maior desenvolvimento. O objetivo é maximizar esse indicador. A meta estabelecida é o valor de 0.8 que

representa o maior valor na faixa de alto IDHM, considerado na classificação dos critérios do IDHM. Exemplos de uso podem ser encontrados nos relatórios do PNUD, IPEA, FJP (2017).

O Brasil foi um dos países pioneiros ao adaptar e calcular o IDH para todos os municípios brasileiros, criando o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 1998. O IDHM considera as três dimensões: Longevidade, Educação e Renda. De acordo com as faixas de desenvolvimento humano adotadas pelo Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, o país está na faixa de Alto Desenvolvimento Humano. Portanto, o IDHM é um índice que permite conhecer a realidade do desenvolvimento humano do território brasileiro. Esse indicador populariza a ideia de que desenvolvimento não se resume à perspectiva do crescimento econômico, mas sim, facilita a comparação entre localidades, conduz a um diálogo mais informado na discussão de políticas e estimula a busca por melhores desempenhos socioeconômicos entre os municípios e regiões metropolitanas brasileiras (PNUD, 2019).

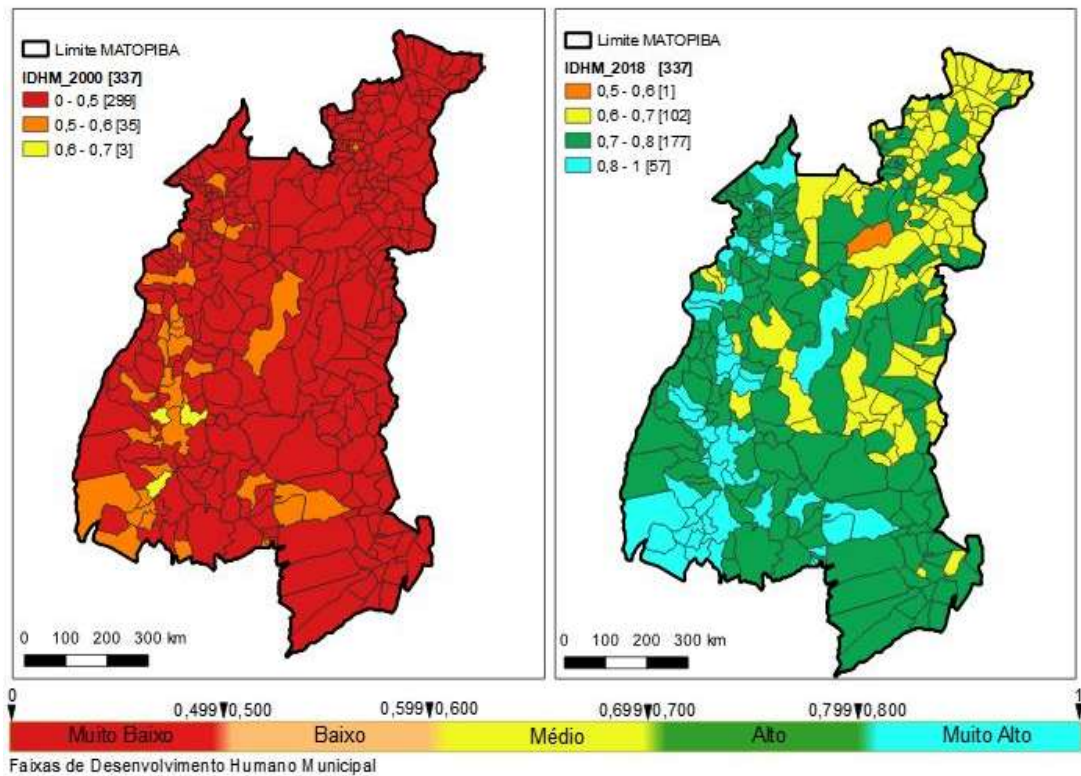
Entretanto, o índice não abrange todos os aspectos de desenvolvimento humano e não é uma representação da "felicidade" das pessoas, nem indica "o melhor lugar no mundo para se viver" (IPEA; PNUD; FJP, 2019). Um dos aspectos positivos do IDHM é de ser utilizado como um contraponto ao PIB, por considerar o conceito de desenvolvimento centrado nas pessoas (IPEA; PNUD; FJP, 2019). Importante esclarecer que as faixas de Desenvolvimento Humano Municipal não seguem as faixas do IDH Global, elas foram adaptadas para contextualizar melhor a realidade brasileira. A classificação de desenvolvimento Humano Municipal IDHM estão definidas como segue:

- IDHM entre 0 - 0,499: Muito Baixo Desenvolvimento Humano;
- IDHM entre 0,500 - 0,599: Baixo Desenvolvimento Humano;
- IDHM entre 0,600 - 0,699: Médio Desenvolvimento Humano;
- IDHM entre 0,700 - 0,799: Alto Desenvolvimento Humano;
- IDHM entre 0,800 e 1: Muito Alto Desenvolvimento Humano

Tanto no Brasil como no MATOPIBA, a melhora no IDHM é atribuída ao componente educação, que apresentou maior aumento entre os anos 2000 e 2010. Os dados do IDHM de cada município foram manipulados em forma de tabelas no Excel em seguidas foram importados no SIG para geração dos mapas temáticos e a

classificação por faixa de Desenvolvimento Humano Municipal (Figura 18). A comparação dos mapas mostra como a região do MATOPIBA era de muito baixo desenvolvimento humano no ano 2000, com 299 municípios nessa faixa, 35 com baixo desenvolvimento e apenas 3 municípios na categoria de médio desenvolvimento. Em 2018, é possível identificar o quanto a região avançou nas mudanças de faixa, onde todos os 337 municípios saíram da faixa de muito baixo desenvolvimento para médio (102), alto (177) e muito alto (57), em 2018 apenas um município ainda permanece como baixo desenvolvimento, dentro do MATOPIBA.

Figura 18 – Índice de desenvolvimento humano municipal - IDHM dos municípios do MATOPIBA (2000 – 2018)



Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano (PNUD, 2019). Elaboração própria.

5.2.8 Conflitos de Terra

O conflito pela terra é um dos muitos problemas que afligem a região do MATOPIBA, por isso foi considerado como um dos indicadores nesse estudo. O critério de menor valor entre os quatro anos avaliados, somando ao desvio padrão (MORENO GARCÍA *et al.*, 2021) foi utilizado, como resultado, a meta definida para o indicador foi de 140 conflitos/ano. É um indicador que se deseja minimizar, mesmo entendendo que não seja uma tarefa fácil pelas características de ocupação da região.

A corrida mundial por apropriação de terras é reconhecida pela academia internacional pelo termo de *Land grabbing*⁸. A estrangeirização é analisada como um processo que ocorre em escala global, com destaque para os países Africanos e Latino-Americanos, pois apresentam terras com baixos preços, legislação ineficaz, terras agricultáveis e com disponibilidade hídrica e mão-de-obra barata. É neste contexto, segundo Pereira e Pauli (2016) que está inserida a territorialização do capital transnacional na região do MATOPIBA.

Para Harvey (2003), esse processo de interesse em terras vem sendo moldado desde 1970, com a crise sobre acumulação e em 1990, com o avanço de políticas neoliberais, especialmente na América Latina. Pereira e Pauli (2016) destacam que o estopim da crise financeira e dos preços dos alimentos poderia ser considerado como marco oficial de um novo ciclo de uma corrida mundial por terras, mas que já vinha sendo moldado desde 1970. Pesquisas apontam que se inaugurou, em 2008, um novo ciclo deste processo histórico em resposta à convergência de múltiplas crises (alimentar, ambiental, climática, energética e financeira). Mas na visão de Pereira e Pauli (2016), o que existe de fato é um discurso em torno das crises, visto que o capital se apropria da narrativa de escassez e crise para acumular mais capital

Algumas pesquisas defendem o uso do território somente para fins específicos, como por exemplo: agrícolas (AKRAM-LODHI, 2012); Infraestrutura (PEDLOWSKI, 2013). Entretanto, como observado por Pereira e Pauli (2016), o controle do território é um processo de apropriação não só de terras, mas de recursos naturais, biodiversidade, subsolo, renda, entre outras variáveis.

Segundo Li (2014), a maioria dessas pesquisas sobre o tema abordam a terra apenas enquanto extensão transacionada, não a considerando como um recurso natural específico, como portadora de outros recursos, de identidade, relações sociais e de produção, como um recurso que produz alimento e energia. Para Borrás Jr. e Franco (2012), a atual explosão de transações comerciais (trans) nacionais de terras giram principalmente em torno da produção e exportação de alimentos, ração animal, biocombustíveis, madeira e minerais. São dimensões principais da atual apropriação de terras e a política de mudanças no uso da terra e nas relações de propriedade.

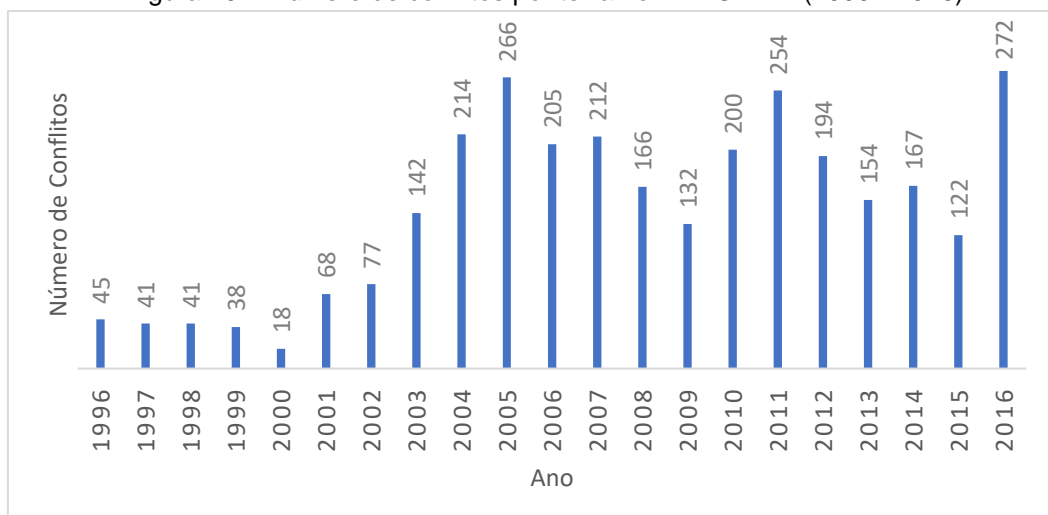
⁸ Borrás Jr. e Franco (2010) definem o Land Grabbing como um novo ciclo de desapropriação promovido pelo capital, onde se expõe cada vez mais a necessidade de uma governança de terra mais eficaz. Segundo os autores, o Land Grabbing aumenta com as diferentes crises que assolam o mundo atualmente. Em outro artigo, publicado no ano de 2012, Borrás Jr., Franco e Wang utilizam o Land Grabbing não apenas como uma apropriação da terra, mas como apropriação de recursos naturais.

A estrangeirização no MATOPIBA tem como particularidade a presença maciça do capital portador de juros, que se apropria do território para a especulação com terras, resultando em diferentes impactos territoriais, e aumento da violência no campo (CPT, 2017). A condição para que isso ocorra, segundo Borras Jr. *et al.* (2016), é que diversos aspectos da produção agrícola, como a propriedade e o controle da terra, os riscos, as oscilações de preço e as incertezas climáticas, tornam-se objetos de investimento, ou ativos financeiros.

Para os investidores internacionais, haveria no território brasileiro, especialmente nas áreas de expansão da fronteira agrícola, a “disponibilidade” de terras a serem exploradas e incorporadas à sua lógica de acumulação. Entretanto, essas áreas abrigam populações originárias, como camponeses, indígenas, quilombolas, geraizeiros, vazanteiros, sertanejos e ribeirinhos, que asseguram sua reprodução por meio de um conhecimento secular sobre o uso dos recursos naturais. Apesar das constantes violações de seus direitos por setores do Estado e da violência empregada pelas corporações e latifundiários locais, essas comunidades resistem, se organizam e lutam para permanecer ou retomar seus territórios (CPT, 2017).

A expansão agrícola fez multiplicar o número de conflitos. A meta ideal para esse indicador provavelmente seria zerar o número de conflitos. Entretanto, essa não é a realidade em todo o período analisado, talvez pela própria dinâmica econômica e social da região. Segundo dados da Comissão Pastoral da Terra (CPT, 2017), entre 1996 e 2016, o número de conflitos por terras (Figura 19), teve um aumento de 6 vezes, passando de 45 para 272 conflitos registrados.

Figura 19 – Número de conflitos por terra no MATOPIBA (1996 - 2016).



Fonte: Comissão Pastoral da Terra (CPT, 2017).

As disputas na região ocorrem por grupos que atuam a partir de distintas escalas. Segundo Frederico e Almeida (2019), no caso da região do MATOPIBA, podem-se classificar os agentes em no mínimo três escalas geográficas: escala do Tempo-Mundo, em que se inserem os investidores institucionais internacionais; escala do Tempo do Estado-Nação, que inclui o Estado e os investidores, produtores e empresas de âmbito nacional; e escala do Tempo Regional, representada por um número diversificado de agentes, classes e grupos sociais, como políticos locais, latifundiários, tabeliões, grileiros, camponeses, etc.

A Tabela 6 apresenta um resumo dos métodos de cálculo para os indicadores dos setores S3, S4 e S5.

Tabela 6 – Indicadores dos Setores S3, S4 e S5

Indicador	Resumo da metodologia
PIB per capita	Total da Receita / pelo número de habitantes
GINI	Mede o grau de concentração da distribuição de renda domiciliar per capita de uma determinada população e em um determinado espaço geográfico.
Empregos	% da população empregada acima de 18 anos (com e sem registro em carteira)
Renda/capita	Rendimento nominal mensal per capita da população empregada acima de 18 anos (com e sem registro em carteira).
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM): Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD
Conflitos de Terra - CT	Número de conflitos registrados na região. Segundo dados da Comissão Pastoral da Terra (2017).

Fonte: Elaboração própria.

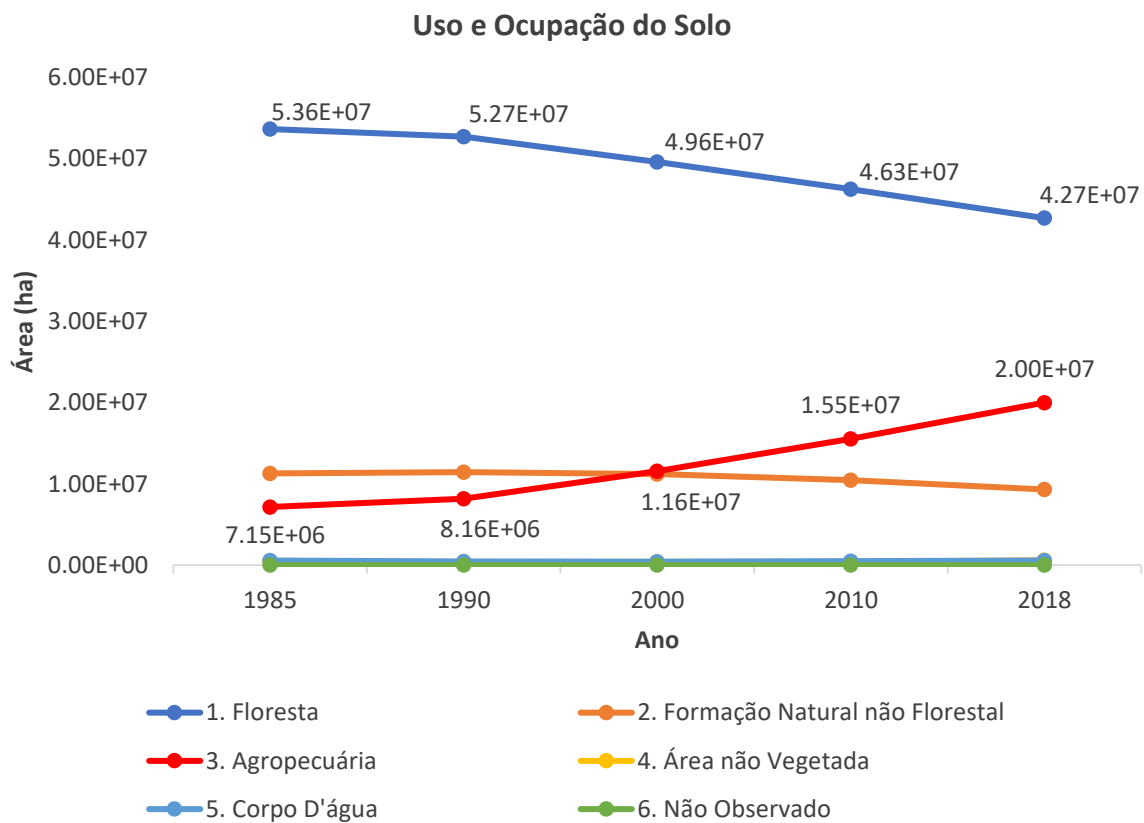
5.2.9 Uso e Ocupação do Solo no MATOPIBA

Através das imagens de satélites (já apresentado na Figura 9) foi possível quantificar a mudança do uso e ocupação do solo com avanço do agronegócio na região. Para os quatro anos avaliados (1990, 2000, 2010 e 2018), foram elaborados mapas temáticos pelo limite do MATOPIBA diretamente na plataforma do MAPIOMAS. Esse mapeamento no nível 1, contém as cinco principais classes: floresta, formação

natural não florestal, agricultura, áreas sem vegetação e água. Essas classes ainda podem ser subdivididas em mais dois níveis de classificação, com detalhes para todo país na resolução de 30m de pixels, atingindo precisão média de 89%, variando de 73 a 95% nos biomas (SOUZA *et al.*, 2020).

Os resultados da classificação para o MATOPIBA são apresentados no gráfico (Figura 20), e representa o comportamento da dinâmica das cinco classes de uso do solo no período avaliado.

Figura 20 – Dinâmica do uso e ocupação da terra no MATOPIBA entre 1990 e 2018



Fonte: MapBiomias (2019). Elaboração própria.

Em nível de destaque, o principal objetivo é acompanhar o quanto a região do MATOPIBA perdeu em termos de vegetação natural, em consequência do avanço do agronegócio. Os resultados mostram que a redução na classe Floresta foi de 10 Milhões de hectares, representando 19% da área total que sofreu mudança entre 1990 e 2018. Por outro lado, a agropecuária avançou 11.84 Milhões de hectares, um crescimento de 145%, em comparação ao mesmo período (Tabela 7).

Tabela 7 – Estatísticas das classes para 1990 e 2018 e mudança de área uso e ocupação do solo entre esses anos

Uso e Ocupação do Solo	1990		2018		Mudança de área	
	Área (Mha)	Área (%)	Área (Mha)	Área (%)	Mha*	(%)
1. Floresta	52.70	72%	42.70	58%	- 10.00	-19
2. Formação Natural não Florestal	11.40	16%	9.30	13%	- 2.10	-18
3. Agropecuária	8.16	11%	20.00	27%	11.84	145
4. Área não Vegetada	0.39	1%	0.60	1%	0.21	52
5. Corpo D'água	0.46	1%	0.57	1%	0.10	22
6. Não Observado	0.03	0%	0.03	0%	-	0
Total	73.17	100%		100%		

*Mha (Milhões de hectares)

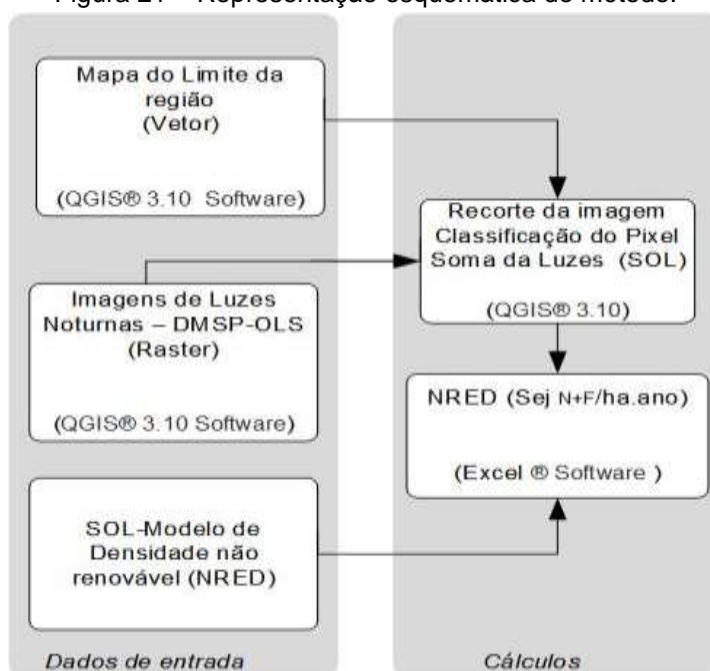
Fonte: Elaboração própria.

5.2.10 Imagens de satélites de Luzes noturnas (DMSP-OLS)

O uso das imagens de satélites de luzes noturna (DMSP-OLS), são usadas como proxy de alternativa para obter de forma rápida os dados de recursos não-renovável e da economia (N+F) da região do MATOPIBA. Esses dados são fundamentais para poder calcular o indicador em eMergia por área (*Empower density*), usado para alimentar o setor S1.

As imagens são selecionadas escolhendo o ano e satélite disponível, como apresentado na Figura 10. Nas imagens derivadas de dois satélites (diferentes) no mesmo ano é necessário realizar uma calibração dos dados, para permitir comparações. Os dados foram calibrados seguindo o modelo de Elvidge *et al.* (2009) e Liu *et al.* (2012). De acordo com Li *et al.* (2017), a calibração é uma etapa necessária para alcançar uma série globalmente consistente de valores de luz noturna ao longo dos anos, a fim de rastrear a expansão urbana em regiões de rápido desenvolvimento. Para a calibração das imagens, foi considerada como referência a imagem do satélite F182010, com o limite urbano da cidade de Imperatriz, Estado do Maranhão, por apresentar os maiores valores de pixel (SOL) observados ao longo das séries temporais na região do MATOPIBA. Depois da etapa de importação das imagens, os procedimentos metodológicos são esquematicamente apresentados na Figura 21.

Figura 21 – Representação esquemática do método.



Fonte: Elaboração própria.

Legenda: SIG = sistema de informação geográfica; DMSP-OLS = Programa de satélite meteorológico de defesa - sistema de varredura de linhas operacional; SOL = soma de luzes; sej = emjoule solar.

Usando o software QGIS® 3.10, foi realizado um recorte nas imagens de cada ano pela área de interesse (limite do MATOPIBA), que representa a fronteira do sistema. O próximo passo é fazer uma classificação nas imagens para minimizar os efeitos de saturação na identificação dos pixels brancos. A classificação aplicada, considera os intervalos 0 – 63 de valores mínimos e máximos dos pixels, esses valores são informados via tabela, seguindo os comandos: (caixa de ferramentas de processamento / análise de dados raster / reclassificar por tabela), como resultado temos duas classes de acordo com o intervalo definido:

- 1) $0 < x \leq 31 \rightarrow 0$ (intervalo igual a zero);
- 2) $31 < x \leq 63 \rightarrow 1$ (intervalo igual a um).

Por fim, a soma das luzes (SOL) é extraída através do comando estatísticas da camada raster (caixa de ferramentas de processamento / análise de dados raster / estatística da camada raster). Como resultados (Tabela 8) há a soma das luzes em número de pixels, em seguida é necessário aplicar o modelo linear ajustado à escala local (AGOSTINHO *et al.*, 2021), para obter o valor do *Empower density* da região. O Apêndice F (Figura 30) mostra a função e procedimentos que resultaram no modelo linear ajustado à escala local sej_{N+F} / ha .

Tabela 8 – Soma das luzes (SOL) e *Empower density* não renovável NRED (sejN+F/ha), para região do MATOPIBA

Ano	Pixel		SOL	
	Classificado	Ajuste ^a	Calibrado	NRED ^b (sej _{N+F} /ha)
1992	338	2.5061	8.47E+02	2.15E+15
2000	815	2.5061	2.04E+03	2.16E+15
2010	1836	2.5061	4.60E+03	2.16E+15
2012	2216	2.5061	5.55E+03	2.17E+15
2018	2647	2.5061	6.63E+03	2.17E+15

^a Função de ajuste da calibração: 2.5061×10^{-14} , do Apêndice F, Figura 29.

^b Modelo de correlação *Empower density*: $\text{sej}_{N+F}/\text{ha} = ((2.36 \times 10^{17} * (\text{SOL}/\text{ha})) + 2.15 \times 10^{15})$; do Apêndice F, Figura 30. Área do MATOPIBA: 73.173,486 ha.

Fonte: Elaboração própria.

O investimento em eMergia 'U' em uma cidade é a soma da eMergia renovável 'R' e não renovável 'N' da natureza com a eMergia importada da economia maior 'F'; $U = R + N + F$. Embora caracterizados como recursos importados da economia maior, os recursos 'F' são principalmente dependentes de energia fóssil em toda a sua cadeia de produção, o que os torna recursos não renováveis (AGOSTINHO *et al.*, 2021).

Considerando um modelo de desenvolvimento de cidades de negócios usuais, 'F' tem sido mostrado na literatura em eMergia como o principal motor de sustentação das cidades, o que o torna um bom proxy para avaliar os padrões de desenvolvimento das cidades e apoiar discussões sobre o paradigma pulsante das cidades. Usando o SOL calculado para as cidades, o modelo SOL-NRED foi usado para derivar o NRED ('N' + 'F', em sej / ha ano) da região, com base no modelo proposto por Agostinho *et al.* (2021).

Normalmente, para realizar a contabilidade ambiental em eMergia, contabiliza-se os recursos da natureza renováveis (R) e não renováveis (N+F). Nesse caso, como as luzes representam apenas a parte das cidades, e o agronegócio é considerado a principal fonte econômica da região, foram acrescentados os insumos diretos da atividade agrícola (perda de solo, diesel, fertilizantes, herbicidas e pesticidas) para calcular o valor do N+F. Juntamente com os recursos naturais R, tem-se o total da eMergia por área (*Empower density*), para cada ano avaliado no MATOPIBA. Os resultados são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 9 – EMergia do MATOPIBA em 1990

#	Item	Fluxos	Unidade	UEV	Und. UEV	EMergia sej/ha ano	EMergia %
1. FLUXOS RENOVÁVEIS - R						1.74E+15	43.49%
1	Energia solar	4.69E+13	J/ha ano	1.00E+00	sej/J	4.69E+13	1.17%
2	Calor da Terra	1.87E+10	J/ha ano	4.90E+03	sej/J	9.17E+13	2.29%
3	Energia do Vento	4.09E+11	J/ha ano	5.20E+02	sej/J	2.12E+14	5.30%
4	Energia Química da Chuva	5.49E+10	J/ha ano	2.36E+04	sej/J	1.30E+15	32.33%
5	Energia Potencial da Chuva	9.95E+09	J/ha ano	2.36E+04	sej/J	2.35E+14	5.86%
2. FLUXOS NÃO RENOVÁVEIS - N+F						2.27E+15	56.51%
6	Soma da luzes - SOL	2.15E+15				2.15E+15	53.62%
7	Perda do Solo	3.73E+08	J/ha ano	9.40E+04	sej/J	3.51E+13	0.87%
8	Diesel	-	-	-	-	6.09E+12	0.15%
9	Fertilizantes (N+P+K)	-	-	-	-	7.45E+13	1.86%
10	Herbicidas/Pesticidas	-	-	-	-	5.67E+11	0.01%
3. TOTAIS							
3.1	<i>Empower Density</i> (R+N+F/ha)				Sej/ha	4.01E+15	100.00%
3.2	Área MATOPIBA (ha)	7.32E+07					

a) Soma das luzes – SOL já estão em valores de eMergia (sej/ha/ano) e consideram apenas as área urbanas que foram identificadas nas imagens noturnas (Apêndice F, Figura 26).

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 – EMergia do MATOPIBA em 2000

Nota	Item	Quantidade	Unid.	UEV	Und. UEV	EMergia sej/ha ano	EMergia (%)
1. FLUXOS RENOVÁVEIS - R						1.74E+15	42.98%
1	Energia solar	4.69E+13	J/ha/ano	1.00E+00	sej/J	4.69E+13	1.16%
2	Calor da Terra	1.87E+10	J/ha/ano	4.90E+03	sej/J	9.17E+13	2.26%
3	energia do Vento	4.09E+11	J/ha/ano	5.20E+02	sej/J	2.12E+14	5.24%
4	energia Química da Chuva	5.49E+10	J/ha/ano	2.36E+04	sej/J	1.30E+15	31.96%
5	Energia Potencial da Chuva	9.95E+09	J/ha/ano	2.36E+04	sej/J	2.35E+14	5.79%
2. FLUXOS NÃO RENOVÁVEIS - N+F						2.31E+15	57.02%
6	Soma da luzes - SOL	2.16E+15				2.16E+15	53.24%
7	Perda do Solo	4.62E+08	J/ha/ano	9.40E+04	sej/J	4.34E+13	1.07%
8	Diesel	-	-	-	-	1.13E+13	0.28%
9	Fertilizantes (N+P+K)	-	-	-	-	9.71E+13	2.39%
10	Herbicidas/Pesticidas	-	-	-	-	1.28E+12	0.03%
3. TOTAIS							
3.1	<i>Empower Density</i> (R+N+F/ha)				Sej/ha	4.06E+15	100.00%
3.2	Área MATOPIBA (ha)	7.32E+07					

a) Soma das luzes – SOL já estão em valores de eMergia (sej/ha/ano) e consideram apenas as área urbanas que foram identificadas nas imagens noturnas (Apêndice F, Figura 26).

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11 – EMergia MATOPIBA em 2010

Nota	Item	Fluxos	Unidade	UEV	Und. UEV	EMergia	EMergia
						sej/ha/ano	%
1. FLUXOS RENOVÁVEIS - R						1.74E+15	41.79%
	1 Energia solar	4.69E+13	J/ha/ano	1.00E+00	sej/J	4.69E+13	1.12%
	2 Calor da Terra	1.87E+10	J/ha/ano	4.90E+03	sej/J	9.17E+13	2.20%
	3 energia do Vento	4.09E+11	J/ha/ano	5.20E+02	sej/J	2.12E+14	5.09%
	4 energia Química da Chuva	5.49E+10	J/ha/ano	2.36E+04	sej/J	1.30E+15	31.07%
	5 Energia Potencial da Chuva	9.95E+09	J/ha/ano	2.36E+04	sej/J	2.35E+14	5.63%
2. FLUXOS NÃO RENOVÁVEIS - N+F						2.43E+15	58.21%
	6 Soma da luzes - SOL	2.16E+15				2.16E+15	51.77%
	7 Perda do Solo	7.41E+08	J/ha/ano	9.40E+04	sej/J	6.96E+13	1.67%
	8 Diesel	-	-	-	-	2.30E+13	0.55%
	9 Fertilizantes (N+P+K)	-	-	-	-	1.74E+14	4.16%
	10 Herbicidas/Pesticidas	-	-	-	-	2.56E+12	0.06%
3. TOTAIS							
	3.1 <i>Empower Density</i> (R+N+F/ha)					4.17E+15	100.00%
	3.2 Área MATOPIBA (ha)	7.32E+07					

a) Soma das luzes – SOL já estão em valores de eMergia (sej/ha/ano) e consideram apenas as área urbanas que foram identificadas nas imagens noturnas (Apêndice F, Figura 27).

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12 – EMergia MATOPIBA em 2018

Nota	Item	Fluxos	Unidade	UEV	Und. UEV	EMergia	EMergia
						sej/ha/ano	%
1. FLUXOS RENOVÁVEIS - R						1.74E+15	40.78%
	1 Energia solar	4.69E+13	J/ha/ano	1.00E+00	sej/J	4.69E+13	1.10%
	2 Calor da Terra	1.87E+10	J/ha/ano	4.90E+03	sej/J	9.17E+13	2.15%
	3 energia do Vento	4.09E+11	J/ha/ano	5.20E+02	sej/J	2.12E+14	4.97%
	4 energia Química da Chuva	5.49E+10	J/ha/ano	2.36E+04	sej/J	1.30E+15	30.32%
	5 Energia Potencial da Chuva	9.95E+09	J/ha/ano	2.36E+04	sej/J	2.35E+14	5.49%
2. TRANSFORMAÇÕES INTERNAS - NÃO RENOVÁVEIS (N+F)						2.53E+15	59.22%
	6 Soma da luzes - SOL	2.17E+15				2.17E+15	50.75%
	7 Perda do Solo	9.99E+08	J/ha/ano	9.40E+04	sej/J	9.39E+13	2.20%
	8 Diesel	-	-	-	-	3.36E+13	0.79%
	9 Fertilizantes (N+P+K)	-	-	-	-	2.30E+14	5.39%
	10 Herbicidas/Pesticidas	-	-	-	-	4.23E+12	0.10%
3. TOTAIS							
	<i>Empower Density</i> (R+N+F)					4.28E+15	100.00%
	Área MATOPIBA (ha)	7.32E+07					

a) Soma das luzes – SOL já estão em valores de eMergia (sej/ha/ano) e consideram apenas as área urbanas que foram identificadas nas imagens noturnas (Apêndice F, Figura 27).

Fonte: Elaboração própria.

5.2.11 Resumo dos valores dos indicadores e metas selecionadas

A Tabela 13 apresenta os indicadores de sustentabilidade selecionados e calculados para este estudo, identificando o setor, a unidade, os períodos analisados, os objetivos e as metas.

Tabela 13 – Indicadores de Sustentabilidade do MATOPIBA

Indicador	Setor	Unidade	1990	2000	2010	2018	Objetivo	Meta (G)
eMergia ^a	S1	sej/ha ano ¹	4.01E+15	4.06E+15	4.17E+15	4.28E+15	Max	9.61E+15
Perda de solo + Floresta ^b	S1	sej/ha ano ¹	3.63E+13	4.53E+13	7.16E+13	9.67E+13	Min	6.36E+13
GWP ^c	S2	tCO ₂ eq/hab	2.97E+03	3.75E+03	4.54E+03	5.15E+03	Min	3.92E+03
Perda de Biodiversidade ^d	S2	espécies	3.16E+07	5.24E+07	5.56E+07	7.52E+07	Min	4.95E+07
PIB/cap	S3	R\$/capita	908	2,220	7,954	10,538	Max	14,681.16
GINI	S3	-	0.51	0.58	0.55	0.59	Min	0.40
Empregos	S4	%	21.59	33.51	45.43	57.35	Max	62.23
Renda/cap ^e	S4	R\$/capita	109.42	155.92	280.17	339.98	Max	465.16
IDHM	S5	-	0.28	0.42	0.60	0.73	Max	0.80
CT	S5	nº conflitos	45	18	200	272	Min	140

- a) Tabela 11,12,13 e 14 apresenta os valores de eMergia (*Empower Density*) para cada ano avaliado;
- b) Perda de solo + Floresta: (valores no Apêndice H, Tabelas 38 e 39);
- c) Gases de efeito estufa – GEE contabilizados em Potencial de Aquecimento Global (GWP) *Total das emissões do MATOPIBA para energia, processos industriais, agropecuária e resíduos, para os anos (1990, 2000, 2010 e 2018)*. Dados no Apêndice H, Tabela 40;
- d) Perda de Biodiversidade: (cálculo no Apêndice H, Tabela 41).
- e) Valores monetários R\$ a preços de agosto de 2010 (1,71765, fator da variação dos preços medido pelo IPCA).

Fonte: Elaboração própria.

5.3 Estágio 3 (CHECK) – Quantificando a Sustentabilidade do MATOPIBA

Os indicadores escolhidos e calculados no estágio 2 são considerados com o mesmo grau de importância no modelo 5SEnSU para representar a sustentabilidade, sem considerar qualquer método estatístico ou de ponderações, ou seja, todos os indicadores foram definidos com o mesmo grau de importância. Os indicadores foram normalizados⁹, para representação conforme estabelecido pelo ASUPRO. Para normalização dos dados, utilizou-se a fórmula: $(x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x))$.

⁹ Os resultados da normalização encontram-se Apêndice N.

Na normalização, os indicadores que se deseja minimizar (menor melhor) tiveram seus resultados invertidos (ou seja, multiplicado por 1/indicador) para representação no gráfico de radar. Os indicadores de melhor desempenho estão mais distantes do centro e, então, maior área no diagrama indica um desempenho maior de sustentabilidade. O procedimento de avaliação do ASUPRO permite que a análise seja finalizada nessa fase. No entanto, o tomador de decisão considera os indicadores de forma individualmente, apenas pela leitura direta do diagrama de radar, sem estabelecer pesos e metas, e nesse estágio não é possível quantificar as mudanças necessárias na melhoria dos sistemas.

Desejando avançar na avaliação, considerando pesos e metas, a programação de metas como análise multicritério é uma etapa necessária para avaliar e comparar sistemas, conforme é apresentado no fluxograma da Figura 12. Permite a aplicação de 'punições' (pesos) nos indicadores em relação à sua distância da meta, objetivos, e a obtenção do indicador final agregado para representar a sustentabilidade dos sistemas.

5.3.1 Estabelecendo Pesos para os Indicadores

As equações da filosofia da programação por metas foram realizadas em planilhas do Excel (Apêndice B), essa planilha é alimentada com os resultados apresentados na Tabela 13. Os valores de pesos são necessários para calcular os indicadores ponderados de sustentabilidade (ISM), indicador de sustentabilidade meta por setor (ISMES) e o indicador de sustentabilidade global (WSI) de cada sistema.

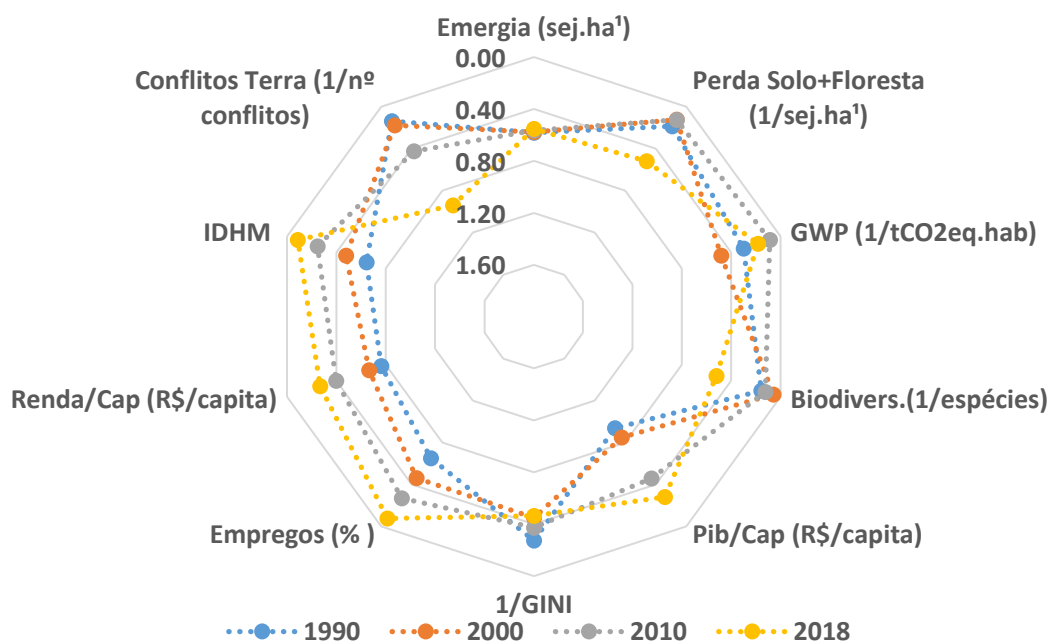
Quanto maior o peso aplicado às variáveis de desvio positivo ou negativo de cada indicador, menor é o valor e melhor é o desempenho do ISMES. O menor peso considerado para punição do desvio indesejados é 1 (cenário mais crítico), e o maior peso é de acordo com o critério escolhido. Por exemplo, se o objetivo é minimizar, o desvio maior acima da meta recebe o menor peso, enquanto o menor desvio, recebe o maior peso.

O WSI é o resultado da soma dos indicadores ponderados de sustentabilidade (ISM) resultando no indicador único que contempla todos os setores. Esse indicador é o valor que permite fazer comparações entre os anos avaliados e apontar o mais sustentável dentro do critério do ASUPRO.

A abordagem alternativa considerada na escolha dos pesos para indicadores, foi o critério individualista (Tabela 4), que não considera a escassez dos combustíveis fósil um problema atual. A escolha do critério individualista usada no procedimento busca avaliar como essas variações podem influenciar no resultado final do indicador de sustentabilidade Global (WSI) do sistema. Como resultado temos os gráficos com os indicadores ponderados de sustentabilidade (ISM); indicadores de sustentabilidade meta por setor (ISMES) e o indicador de sustentabilidade global (WSI) (Figuras 22, 23 e 24), respectivamente.

O desempenho dos indicadores em cada ano pode ser observado no gráfico de radar, onde Gini e Conflito de Terras são melhores para 1990; emissões e perda de Biodiversidade para o ano 2000, perda de solo+floresta com melhor desempenho para 2010; e eMergia, PIB/cap, Empregos, Renda/cap, IDHM para 2018. Importante observa que, apesar de 2010 não apresentar o maior número de indicadores individualmente, o seu desempenho médio mostra maior área no gráfico, superando o ano de 2018. No entanto, mesmo considerando essa análise importante, é difícil ler os dados deste gráfico quando comparamos vários sistemas e por isso o cálculo do WSI é importante como indicador único para representar a sustentabilidade.

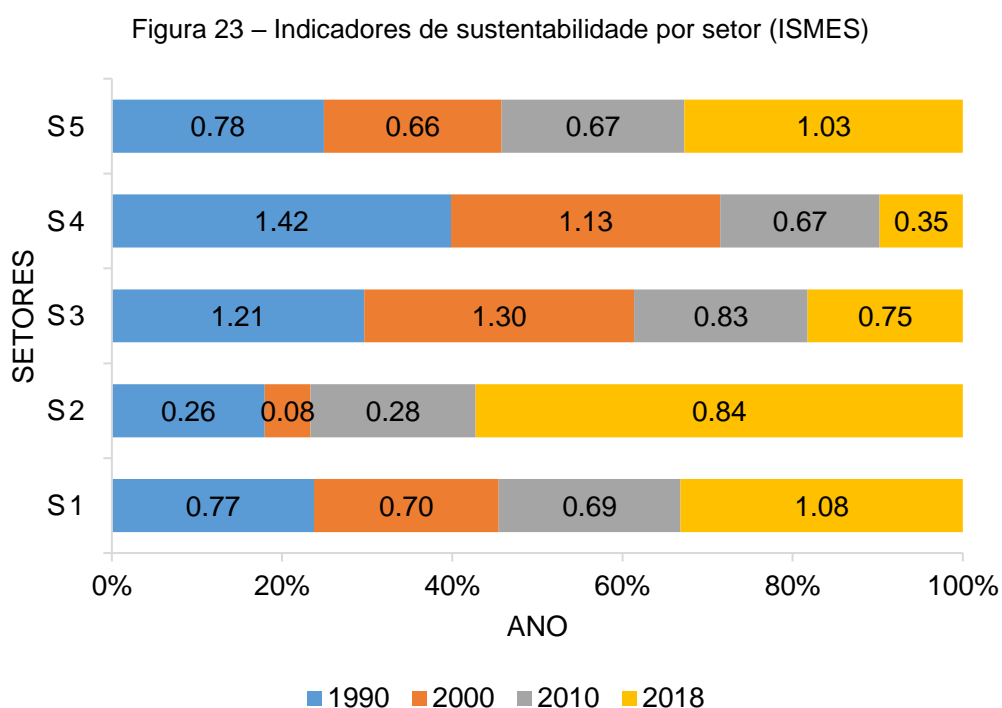
Figura 22 – Gráfico dos indicadores ponderados de sustentabilidade (ISM)



Fonte: Elaboração própria.

Para os indicadores de sustentabilidade meta por setor (ISMES; Figura 23), o melhor desempenho é representado pelo menor indicador. Em termos comparativos, pode-se observar que no setor (S1) o melhor desempenho é no ano 2010, no setor (S2) o melhor desempenho é para o ano 2000; os setores (S3 e S4), apresentaram melhor desempenho em 2018, e o setor (S5) com melhor desempenho no ano 2000.

O setor (S2) é o que apresenta a maior variação entre os anos avaliados, saindo de 0.08 em 2000 para 0.84 em 2018, seis vezes pior no desempenho do setor. Isso pode ser explicado pelo aumento das áreas com o avanço do agronegócio, que ocasionou um aumento nas emissões (GWP) e na perda da biodiversidade. Por outro lado, o setor (S4) teve a segunda maior variação, apresentando melhoras no aspecto social, reduzindo de 1.42 em 1990 para 0.35 em 2018, o que representa melhor desempenho em aproximadamente 4 vezes, representado pelo aumento percentual de empregos gerados e aumento na renda per capita da população. De maneira geral percebe-se pior desempenho nos setores ambientais e melhor desempenho nos sociais e econômicos.



Fonte: Elaboração própria.

Os indicadores no setor 3 (PIB/capita e GINI) vem melhorando desde 2010, e tiveram o melhor desempenho no ano de 2018. Ribeiro *et al.* (2020) destacam que entre 2010 e 2015, o MATOPIBA apresentou uma taxa de crescimento do PIB real de

5,1% a.a., bem superior à taxa de crescimento brasileira que foi de 1,5% a.a. No entanto, Sá, Morais e Campos (2015) argumentam que, ainda que o MATOPIBA venha experimentando uma onda de crescimento econômico, desencadeada principalmente pelo aumento da produtividade dos fatores associados ao agronegócio, isso não tem sido revertido em desenvolvimento. Para as autoras, o agronegócio praticado no MATOPIBA gera crescimento, mas não desenvolvimento. Um dos argumentos usado pelas autoras é de que o uso da mão de obra local é limitado, excluindo grande parte da população residente.

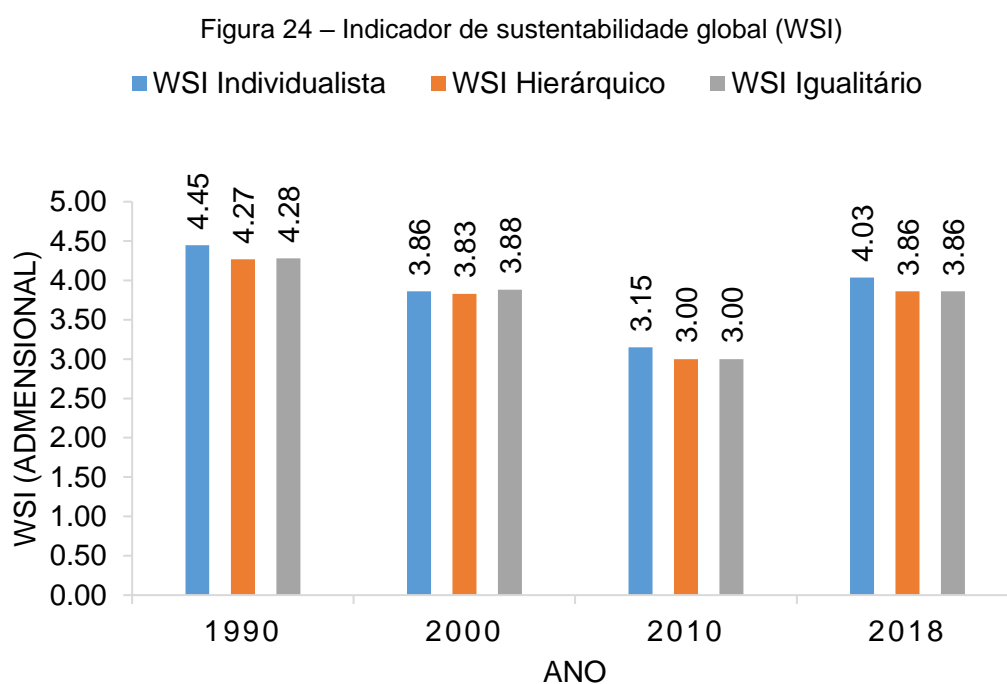
Avaliando a região no aspecto social, Porcionato, Castro e Pereira (2018) mostram que o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) apresentaram evidentes tendências de melhoria social em todos os estados que compõem a região do MATOPIBA. Para os autores, a melhoria do IDHM está relacionada diretamente à melhoria dos indicadores educacionais, como diminuição da taxa de analfabetismo, aumento da média de anos de estudo da região e aumento da taxa de frequência, principalmente nos anos do ensino médio.

Para Pereira (2019), os resultados obtidos na sua pesquisa mostraram que no MATOPIBA há grande heterogeneidade, tanto socioeconômica como no uso das tecnologias agrícolas, porém com leve redução na desigualdade tecnológica entre os anos 2006 e 2017. A região foi dividida em 5 *clusters*, com características específicas, mostrando que há áreas com bons indicadores, mas também áreas com indicadores sofríveis, bem como alguns poucos municípios com forte dinamismo agrícola e alguns outros com forte presença do Estado e participação do setor de serviços.

Embora o avanço do agronegócio resulte em benefícios principalmente sociais e econômicos, os aspectos ambientais deixam a desejar, e quando analisados todos juntos, indicadores e setores, como um único indicador, tem-se o ano 2010 com o melhor desempenho. O Indicador Global de Sustentabilidade (WSI) para o ano 2010 é de 3.15, o mais sustentável comparado com 2018 (4.03), 2000 (3.86) e 1990 (4.45). O gráfico (Figura 24) mostra uma tendência de melhoria na sustentabilidade (menor WSI) nos três primeiros anos de 1990, 2000 e 2010, em seguida observa-se uma piora no indicador para o ano 2018, que apresentou um baixo desempenho nos indicadores ambientais (setores S1 e S2). Esse crescimento às custas da substituição do capital natural, pode ser representado como uma sustentabilidade fraca. Na visão de Costanza (1999), um sistema só pode ser considerado sustentável após um

determinado tempo de observação em que as previsões se confirmem e se mantenham.

Considerando que a escolha do critério sobre o perfil do analista pudesse ter grande influência no resultado final com variação dos pesos nos indicadores, aplicou-se o mesmo procedimento para cálculo do WSI, considerando também os perfis hierárquico e igualitário. Pode-se observar que as variações não alteram o resultado final pelo critério individualista, ou seja, o ano mais sustentável continua sendo 2010, independente de qual perfil seja adotado pelo analista.



Fonte: Elaboração própria.

5.3.2 Análise de Incertezas

O ASUPRO recomenda ao analista o uso do método de Monte Carlo. Esse método estocástico sugerido requer o estabelecimento de uma faixa de valores para avaliar suas incertezas. Optou-se por avaliar as incertezas nos indicadores e/ou metas dos setores, por entender que existe algum grau de incerteza nos critérios adotados. Por exemplo, o critério de valor mínimo ou máximo somado ao desvio padrão sugerido por Moreno García *et al.* (2021) para estabelecimento das metas é um critério sugerido quando metas bem estabelecidas não existem.

Como os setores S1 e S2 apresentaram a maior diferença entre os anos 2010 e 2018, faixa de valores de incertezas foram adotadas para os indicadores e metas

de eMergia (S1), nos indicadores de perda de biodiversidade (S2), e nos demais setores admitiram-se incertezas somente nas metas. Para cada indicador foi adotado um critério de incerteza e apresentado seu valor mínimo e valor máximo, e a meta desejada.

No indicador emergia (S1), admitiu-se a incerteza no valor da eMergia para os insumos da agricultura (Diesel, herbicidas e pesticidas), dessa forma, foram alterados apenas os valores mínimos da eMergia de cada ano pelos valores calculados dos mesmos insumos (Diesel, herbicidas e pesticidas) usados na produção de soja encontrados em Cavalett e Ortega (2010). Para o valor mínimo da meta foi usado o o mesmo valor da meta original que é o valor médio da eMergia no ano 2007, dos quatro estados que formam o MATOPIBA, e para o valor máximo foi considerado o valor da eMergia do maior estado (Maranhão), que representa o quanto o sistema poderia ainda crescer. Os intervalos estão apresentados da seguinte forma: para os indicadores em 1990 (3.94E+15 – 4.01E+15), 2000 (3.99E+15 – 4.06E+15), 2010 (4.05E+15 – 4.17E+15) e 2018 (4.16E+15 – 4.28E+15); e para as metas o valor mínimo (9.16E+15), e valor máximo (2.38E+16). Para perda de Solo+Floresta (S1), considerou-se a variação das metas em valores mínimo e máximo + desvio padrão (6.36E+13 – 1.24E+14).

No setor (S2) Potencial de Aquecimento Global (GWP), também foi considerado como incerteza a variação das metas nos valores mínimo e máximo + desvio padrão (3.92E+03 – 6.10E+03). O dado mais recente do inventário Florestal Brasileiro (2020) para o cerrado apresenta diferentes valores para perda da Bioversidade (S2) nos estados que formam a região do MATOPIBA. Assim, para esse indicador optou-se por considerar na análise de incerteza o indicador mínimo, como o valor do menor entre os quatro estados (Bahia com 127 espécies/ha) e para o valor do indicador máximo o estado do Piauí (com 188 espécies/ha), o resultado dos intervalos foram 1990 (2.39E+07 – 3.54E+07), 2000 (3.96E+07 – 5.87E+07), 2010 (4.20E+07 – 6.22E+07), 2018 (5.69E+07 – 8.42E+07), a meta é valor médio dos anos + desvio padrão (4.95E+07).

No setor (S3), foi considerada a incerteza nas metas dos indicadores, para o PIB/capita, o critério usado no valor mínimo da meta foi o PIB/capita do menor estado (Maranhão), no valor de R\$ 11.363,23, e o valor máximo da meta para o maior estado (Tocantins) no valor de R\$ 19.024,00. A meta para esse indicadore é o valor médio do PIB/capital dos quatro estados do MATOPIBA (R\$ 14.681,16). Para a distribuição

de renda calculada pelo GINI, o intervalo de incerteza é para meta de (0.4 – 0.61), valor mínimo do indicador e mesmo da meta é 0.4 (valor referência da ONU) e o valor máximo é o valor médio do MATOPIBA entre os anos.

No setor (S4), o percentual de emprego, considerado como valor mínimo e a meta, é o valor médio entre os estados do MATOPIBA (62.23) e para o valor máximo, o correspondente ao estado do Tocantins (66.10), Para Renda/capita, o valor mínimo e a meta do indicador é também o valor médio entre os estado (R\$ 465.16), o valor máximo, o mesmo para o estado do Tocantins (R\$ 586, 62).

A Tabela 14 apresenta os indicadores escolhidos com seus valores mínimo e máximo adotados para os indicadores e metas considerando todos os critérios apresentados. Os indicadores que não forma alterados, significa que a incerteza não foi considerada para esses valores. É importante ressaltar que a subjetividade durante a escolha das metas, pesos e indicadores, é uma etapa inerente a qualquer análise de decisão multicritério (MCDA).

Tabela 14 – Faixa de valores de incertezas para indicadores e metas do MATOPIBA

Indicador	Setor	1990 (indicadores)		2000 (indicadores)		2010 (indicadores)		2018 (indicadores)		Valor original	Valor da meta	Valor da meta
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Meta	Mínimo	Máximo
EMergia (sej/ha ano)	S1	3.94E+15	4.01E+15	3.99E+15	4.06E+15	4.05E+15	4.17E+15	4.16E+15	4.28E+15	9.61E+15	9.61E+15	2.38E+16
Perda de solo + Floresta (sej/ha ano)	S1	-	-	-	-	-	-	-	-	6.36E+13	6.36E+13	1.24E+14
Emissões GWP (tonCO2eq./hab ano)	S2	-	-	-	-	-	-	-	-	3.92E+03	3.92E+03	6.10E+07
Perda de Biodiversidade (sej/ha ano)	S2	2.39E+07	3.54E+07	3.96E+07	5.87E+07	4.20E+07	6.22E+07	5.69E+07	8.42E+07	4.95E+07	-	-
PIB/cap (R\$/pessoa ano)	S3	-	-	-	-	-	-	-	-	14.681,16	11.366,23	19.024,00
GINI (adimensional)	S3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	0.4	0.6
Empregos (% de pessoa empregadas no ano)	S4	-	-	-	-	-	-	-	-	62.23	62.23	66.10
Renda/cap (R\$/pessoa ano)	S4	-	-	-	-	-	-	-	-	465,16	465,16	586,62
IDHM (adimensional)	S5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CT (unidade/ano)	S5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria.

Para análise de Monte Carlo foram aplicadas 10.000 repetições, usando o método de distribuição triangular para cada ano avaliado. De acordo com as incertezas consideradas nesta análise, a Tabela 15 mostra os resultados do WSI após a aplicação da análise de incerteza.

O resultado do WSI médio usando o Monte Carlo apresentou variação comparado ao valor original, alguns aumentando (1990 e 2000) e outros diminuindo (2010 e 2018), no entanto, o valor do WSI de 2010 ainda continua sendo o menor (mais sustentável). O WSI de 2018 foi o que mais diminuiu (mostrou maior sustentabilidade). Após o uso do Monte Carlo, a ordem de sustentabilidade para os anos mudou, pois antes era 2010, 2000, 2018 e 1990, e agora é 2010, 2018, 2000 e 1990. Pode-se observar que o ano de 2018 ganhou uma posição, isso pode ser explicado pelo resultado da análise de incertezas. Os indicadores dos setores S1 e S2 eram os piores indicadores de 2018, e as incertezas consideradas nos valores mínimo e máximo dos indicadores e estabelecimento de novas metas, permitiram uma melhora no indicador de sustentabilidade (WSI).

Tabela 15 – Análise de incertezas do WSI pelo método de Monte Carlo

ANO	Média do WSI		
	WSI Original	com Monte Carlo	Desvio Padrão
1990	4.45	4.59	0.16
2000	3.86	4.01	0.27
2010	3.15	3.03	0.30
2018	4.03	3.37	0.38

**Incerteza = média +/-1,96 * desvio padrão. Nível de confiança de 95%.*

Fonte: Elaboração própria.

5.4 Estágio 4 (ACT) Ações de melhorias das operações e processos de produção no MATOPIBA

O estágio 4 completa o ciclo PDCA do ASUPRO. Nessa etapa a análise de sensibilidade é realizada. Depois de identificar quais indicadores devem ter prioridade nas ações de melhorias no WSI do sistema, é importante saber também, o quanto eles devem ser melhorados. Esse passo é fundamental para o tomador de decisão compreender de forma rápida e fácil o que deve ser realizado na prática.

5.4.1 Análise de Sensibilidade do WSI do MATOPIBA para o ano de 2018

Para aplicar a análise de sensibilidade, optou-se por usar uma variação percentual de $\pm 30\%$ para analisar as variações nos dez indicadores considerados. Em outras palavras, cada indicador foi avaliado individualmente, considerando-se um aumento ou redução (dependendo do objetivo do indicador), a cada variação de 5%, a influência no WSI foi verificada individualmente e apresentada em forma de tabelas para cada indicador. O mesmo critério foi utilizado por Agostinho *et al.* (2019), para avaliar sistemas (ferroviário e rodoviário) para transporte de soja no Brasil.

Johannesdottir *et al.* (2021) usaram análise de sensibilidade com variação percentual de $\pm 20\%$ nos indicadores para uma avaliação comparativa da sustentabilidade dos sistemas de gestão de águas residuais para recuperação e reutilização de carbono, usando uma análise multicritério (MCA) participativo, com objetivo de comparar um índice de sustentabilidade agregado de três sistemas alternativos de reciclagem de nutrientes em águas residuais em dois estudos de caso da região do Báltico.

Reconhecendo que as metas devem ser factíveis, mas também exigir esforço para ser alcançada, mudanças no percentual acima de 30% dificilmente seriam implementadas em todos os indicadores para atender os objetivos da agenda 2030. Assim, nesse estudo os indicadores que apresentaram valores distantes de suas respectivas metas, tiveram seus valores alterados até o limite máximo de 30%, com o objetivo de diminuir o valor do WSI no sistema. Para os indicadores que se deseja minimizar, aplica-se os percentuais de redução decrescente, e para os indicadores que se deseja maximizar, aplica-se os percentuais de aumento de forma crescente.

Uma comparação entre os valores de WSI (original) resultante das alterações nos percentuais dos indicadores é realizada, em que é possível observar a variação em cada indicador individualmente. Os indicadores do setor ambiental (S1 e S2), são representados pelo aumento nos percentuais em +30% para eMergia (*Empower density*) no valor de 4.28E+15 sej/ha ano (Tabela 16), e para Perda de Solo + Floresta, o melhor resultado é obtido com uma redução em -30%, no valor de 9.67E+13 sej/ha ano (Tabela 17).

O Potencial de Aquecimento Global (GWP) teve melhor resultado com a redução - 30% no valor de 5.15E+03 tCO₂eq/hab ano (Tabela 18), e a Perda de

Biodiversidade teve melhor resultado com a redução de -30% no valor de 7.52E+07 espécies/anos (Tabela 19).

Tabela 16 – Variação no aumento da eMergia do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de aumento da eMergia	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
5%	4.01	0.02
10%	3.99	0.04
15%	3.97	0.06
20%	3.95	0.08
25%	3.92	0.11
30%	3.90	0.13

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 17 – Variação na redução da Perda de Solo e Floresta do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de redução Perda do Solo + Floresta	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
-5%	4.01	0.02
-10%	3.97	0.06
-15%	3.93	0.10
-20%	3.89	0.14
-25%	3.84	0.19
-30%	3.78	0.25

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18 – Variação na redução do GWP do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de redução nas emissões (GWP)	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
-5%	4.00	0.03
-10%	3.96	0.07
-15%	3.91	0.12
-20%	3.85	0.18
-25%	3.79	0.24
-30%	3.72	0.31

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 19 – Variação na redução da Perda de Biodiversidade do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de redução da Perda de Biodiversidade	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
-5%	4.00	0.03
-10%	3.97	0.06
-15%	3.92	0.11
-20%	3.87	0.16
-25%	3.82	0.21
-30%	3.75	0.28

Fonte: Elaboração própria.

Para os indicadores do setor econômico (S3), é apresentado a variação no percentual de aumento +30% do PIB/capita de R\$ 10.538,00 (Tabela 20), e a variação da redução de -30% para o indicador índice de GINI (0.586) (Tabela 21).

Tabela 20 – Variação no aumento do PIB/Cap do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de aumento do PIB/cap	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
5%	4.00	0.03
10%	3.96	0.07
15%	3.93	0.10
20%	3.89	0.14
25%	3.86	0.17
30%	3.82	0.21

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 21 – Variação na redução do índice de GINI do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de redução do índice de GINI	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
-5%	3.96	0.07
-10%	3.89	0.14
-15%	3.81	0.22
-20%	3.74	0.29
-25%	3.67	0.36
-30%	3.60	0.43

Fonte: Elaboração própria.

No setor social (S4 e S5), apresentou maior variação nos percentuais com aumento de +10% para o indicador Empregos (57,35%), +30% para o indicador de Renda/Cap (R\$ 339,98), aumento de +10% para o IDHM (0.728), e redução de -30% para o indicador de Conflitos de Terra – CT, Tabelas 22, 23, 24 e 25, respectivamente.

Tabela 22 – Variação de aumento no número de empregos do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de aumento do número de empregos	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
5%	3.99	0.04
10%	3.96	0.07
15%	3.97	0.06
20%	3.98	0.05
25%	3.99	0.04
30%	4.00	0.03

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 23 – Variação no aumento da Renda/Cap do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de aumento da Renda/cap	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
5%	4.00	0.03
10%	3.96	0.07
15%	3.92	0.11
20%	3.89	0.14
25%	3.85	0.18
30%	3.82	0.21

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 24 – Variação de aumento do IDHM do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de aumento Do IDHM	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
5%	3.99	0.04
10%	3.95	0.08
15%	3.96	0.07
20%	3.96	0.07
25%	3.97	0.06
30%	3.98	0.05

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 25 – Variação na redução dos Conflitos de Terra do MATOPIBA em 2018 e sua influência no WSI

% de redução de CT	WSI Global	Diferença
Valor original	4.03	0.00
-5%	4.01	0.02
-10%	3.97	0.06
-15%	3.93	0.10
-20%	3.89	0.14
-25%	3.84	0.19
-30%	3.78	0.25

Fonte: Elaboração própria.

5.4.2 Ações para melhoria da sustentabilidade no MATOPIBA

Com a variação dos percentuais realizada individualmente é possível identificar o quanto diminuir ou aumentar os indicadores pode influenciar no resultado do WSI. Uma classificação decrescente é aplicada (Delta WSI), criando um ranque com a hierarquia de prioridade dos indicadores.

A Tabela 26 mostra a hierarquia das ações sugeridas aos tomadores de decisão. Para os indicadores que ação é minimizar, o destaque é para o coeficiente de GINI, que apresentando a maior variação (Delta WSI), com redução de -30% em relação ao seu valor original é possível alcançar uma melhoria absoluta de 0.43 e reduzir o WSI para 3.60; seguido pelo Potencial de Aquecimento Global (GWP) com melhor resultado para redução de -30%, com variação de 0.31 e redução do WSI para 3.72; Na Perda de Biodiversidade a redução de -30%, alcançou uma melhora de 0.28 e reduziu o WSI para 3.57; Conflitos de Terra – CT e Perda de solo + floresta reduzidos em -30%, estão empatados na quarta posição do ranque de prioridades com melhora absoluta de 0.25 e redução do WSI para e 3.78.

Os indicadores em que ação é maximizar segue empatados na quinta posição do ranque de prioridades com a Renda/capita e PIB/capita, com aumento de 30%, uma melhora absoluta de 0.21 e redução do WSI para 3.82. O aumento de 30% na eMergia resulta na melhora absoluta de 0.14, e reduz o WSI para 3.72. Para o IDHM, o percentual de aumento é de 10%, apresentando melhora absoluta de 0.08 e reduz o WSI para 3.95; O percentual no número de Empregos é a menor variação entre os indicadores, com aumento de 10%, a melhora absoluta é de 0.07, e redução no WSI

para 3.96. Por fim, pode-se observar que menores variações (%) do WSI, significa que o indicador já está mais próximo da meta estabelecida; o contrário também é verdadeiro, ou seja, maiores variações (%) de WSI, significa que o indicador está mais longe da meta. Essa variação aplicada no WSI, resulta no indicador final chamado de WSI (otimizado).

Tabela 26 – Ação proposta de melhorias na sustentabilidade

Indicador	Setor	Ordem das ações	Variação (%)	Tipo de ação	Delta_WSI	WSI (Otimizado)
GINI	S3	1	30	Min	0.43	3.60
Emissões GWP	S2	2	30	Min	0.31	3.72
Perd. Biodivers	S2	3	30	Min	0.28	3.75
CT	S5	4	30	Min	0.25	3.78
Perda de Solo + Floresta	S1	4	30	Min	0.25	3.78
Renda/cap	S4	5	30	Max	0.21	3.82
PIB/cap	S3	5	30	Max	0.21	3.82
EMergia	S1	6	30	Max	0.13	3.90
IDHM	S5	7	10	Max	0.08	3.95
% Empregos	S4	8	10	Max	0.07	3.96

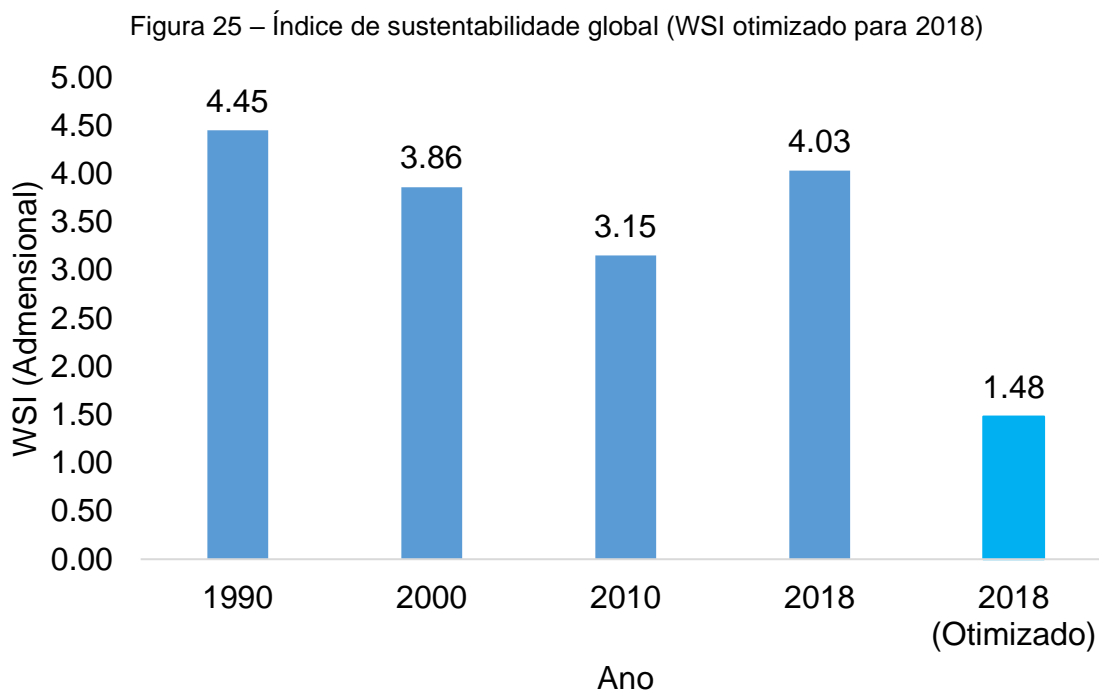
Fonte: Elaboração própria.

Considerando que o tomador de decisão adote todas as mudanças sugeridas no percentual de aumento e/ou redução dos indicadores (Tabela 26), seguindo a ordem de prioridades para o WSI (otimizado), o indicador de sustentabilidade representa o melhor cenário possível para a região.

Os resultados da análise de sensibilidade com base nas ponderações dos critérios são ilustrados no gráfico de barras da Figura 25. Os diferentes conjuntos de pesos (variação %), atribuídos pelo analista/tomador de decisão, apontam para uma potencial melhora no WSI de 2018, alcançando o melhor resultado na posição do ranque comparativo com os anos de 2010, 2000 e 1990. A análise de sensibilidade aplicada no ASUPRO possibilita identificar o quanto a variação de cada indicador pode influenciar no WSI final dos sistemas avaliados, sendo 10% a menor variação e 30% a maior.

Como resultado para o sistema 2018, o WSI global de 4.03 reduziu para 1.48, melhorando o desempenho do WSI em 63%. Dessa forma, adotando as ações de

melhorias sugeridas no modelo, é possível que o tomador de decisão possa orientar-se para realizar as ações políticas necessárias, a fim de atingir as metas individuais de cada indicador, e conseqüentemente reduzir o indicador global (WSI), para manter o nível de sustentabilidade do MATOPIBA no médio e longo prazo.



Fonte: Elaboração própria.

6 CONCLUSÕES

A aplicação do ASUPRO é uma alternativa para quantificar e discutir a sustentabilidade de regiões de forma holística. Os resultados do MATOPIBA mostram que analisar cada setor individualmente pode levar a falsa interpretação da sustentabilidade. O ano 2000 teve melhor desempenho nos setores S2 (0.08) e S5 (0.66), em 2018 o melhor desempenho foi nos setores S3 (0.75) e S4 (0.35), e em 2010, apenas o setor S1 (0.69), 1990, o pior em todos os setores. O MATOPIBA melhorou no aspecto econômico ao longo dos anos (1990 – 2018) com o avanço do agronegócio, principalmente em 2010 quando a região atingiu o maior nível de produtividade de soja por área plantada na região. Por outro lado, os aspectos ambientais (S1 e S2) e o aspecto social (S5) mostram uma piora no ano de 2018, mesmo apresentando o melhor desempenho no setor S4. Isso mostra que é necessário equilibrar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação do capital natural, reforçando a importância da abordagem multicritério para avaliar a sustentabilidade.

O índice de sustentabilidade global (WSI) é o resultado da visão geral do sistema considerando todos os setores. Esse índice mostra que o avanço do agronegócio no MATOPIBA proporcionou ganhos nos indicadores econômicos à medida que novas áreas foram utilizadas para produção agropecuária, e resultou no melhor desempenho do indicador WSI para o ano 2010 (3.15) em comparação com os anos 2000 (3.86), 2018 (4.03) e 1990 (4.45). No entanto, o aumento no valor do WSI em 2018 em relação a 2010 aponta para uma piora no desempenho dos indicadores ambientais (S1 e S2), mesmo apresentando um bom desempenho no indicador econômico (S3), o que pode caracterizar uma fraca sustentabilidade. Isso chama atenção para a necessidade de ações urgentes, no sentido de aumentar a sustentabilidade no médio e longo prazo, ou pelo menos, tentar manter o mesmo nível de sustentabilidade do ano 2010.

Para direcionar os tomadores de decisão nessas ações, a análise de sensibilidade indica a hierarquia que essas ações devem ser seguidas. Para aumentar a sustentabilidade do MATOPIBA, é necessário reduzir a desigualdade na distribuição de renda (GINI) em 30%; reduzir em 30% as emissões de gases que aumentam o Potencial de Aquecimento Global (GWP), causado principalmente pela atividade agropecuária; reduzir em 30% a Perda de Biodiversidade (causada pela fragmentação

do bioma cerrado); reduzir em 30% o número de Conflitos de Terra na região, através de apoio aos pequenos produtores, comidades tradicionais, ribeirinhos e Quilombolas, etc; reduzir em 30% a Perda do Solo + Floresta, evitando a abertura de novas áreas de vegetação natural. Por fim, deve-se aumentar em 30% a Renda/capita e PIB/capita; aumentar em 30% a demanda por eMergia (*Empower density*), desde que os recursos sejam revertidos em benefícios para região e diminua a demanda dos recursos não renováveis e da economia (o sistema ainda não atingiu sua capacidade máxima para meta estabelecida), ou seja, o sistema precisa ser mais eficiente na exploração dos recursos naturais; aumentar em 10% o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), para melhorar a qualidade de vida na região e aumentar em 10% o percentual de empregos gerados pelo agronegócio. A partir dessas ações os tomadores de decisão devem procurar mecanismos para aplicar as políticas públicas de incentivo, coordenadas e focadas nos aspectos que levem a região atingir os objetivos sugeridos na aplicação do ASUPRO.

O cenário ideal proposto através da análise de sensibilidade indica um potencial de melhoria no nível de sustentabilidade, capaz de reduzir o WSI de 4.03 para 1.48 em 2018. Portanto, abordagem multicritério do ASUPRO mostra como essa avaliação de sustentabilidade pode ser feita tanto no passado, como esses resultados podem ser usados para orientar o desenvolvimento futuro em direção as metas e os objetivos de desenvolvimento sustentável (17 ODS) da agenda 2030.

Adicionalmente à avaliação da sustentabilidade da região do MATOPIBA, este trabalho também contribuiu com a proposição do uso sinérgico entre o ASUPRO e SIG. O uso do SIG permitiu obter uma série de dados brutos que tornam possível calcular os indicadores para alimentar o modelo 5SenSu. Além de dados usuais como uso do solo, a proposta do uso de imagens noturnas como um proxy para estimativa dos recursos não renováveis da natureza (N) e da economia (F) mostrou-se com grande potencial quando avaliando regiões e onde a disponibilidade de dados é escassa. Sem o uso desta abordagem proposta, a obtenção de informações sobre N e F seria difícil, podendo até impossibilitar a aplicação da contabilidade em eMergia no MATOPIBA.

Uma limitação que pode ser apontada nesse estudo é a mesma usualmente encontrada em outros métodos multicritérios: a necessidade de diminuir a subjetividade na atribuição dos pesos e metas. Para isso, a análise de incerteza foi fundamental para avaliar o grau de incerteza nos indicadores e nas metas

estabelecidas pelo analista. Embora incertezas existam, a variação no valor médio do WSI com o resultado considerado para a simulação de Monte Carlo foi de 3.03, (com ± 0.3 de desvio padrão e nível de confiança de 95%), mantendo o resultado de 2010 como o ano mais sustentável no MATOPIBA.

7 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Como propostas para trabalhos futuros sugere-se:

- (a) Aplicar o ASUPRO aliado ao SIG (luzes noturnas) em regiões delimitadas não politicamente, mas geograficamente como bacias hidrográficas devido à sua importância na gestão dos recursos naturais que ocorrem deste tipo de escala. Geralmente, essa escala geográfica não é avaliada devido à falta de um banco de dados completo, mas o uso do SIG (luzes) seria uma alternativa para superar este obstáculo.
- (b) A melhoria contínua do modelo é estabelecida no ciclo PDCA, o que torna necessária a aplicação do ASUPRO nos anos subsequentes a 2018 para avaliação da região do MATOPIBA. Seria importante aplicar os mesmos indicadores utilizados no MATOPIBA em anos subsequentes para verificar se alguma ação (não necessariamente oriundas desta tese) foi implementada após 2018 e que possa ter influenciado na sustentabilidade da região.
- (c) Um complemento desta tese seria realizar a correlação do desempenho do WSI com os 10 indicadores considerados no 5SenSu para verificar graus de correlação e/ou influência no desempenho da sustentabilidade. Mesmo que a análise de sensibilidade já tenha fornecido pistas sobre qual indicador possui maior influência no WSI, essa correlação poderia fornecer informações adicionais sobre a dependência ou independência entre WSI e os indicadores usados no 5SenSu.
- (d) Como alternativa ao problema da subjetividade da análise multicritério, recomenda-se o uso de ferramentas não-paramétricas (por exemplo: Delphi), para apoiar no estabelecimento das metas e pesos dos indicadores, dividindo em quatro grupos, sendo G1 (empresas do agronegócio), G2 (representado pelo poder público), G3 Associações de moradores (comunidades tradicionais), e G4 as Universidades (especialistas em sustentabilidade) e analisar como diferentes percepções podem influenciar no valor final dos pesos e metas.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, S.; MICHAELSON, J.; SHAH, S.; STOLL, L.; MARKS, N. **The Happy Planet Index: 2012 Report**. A global index of sustainable well-being. The New Economics Foundation, UK, 2012.

ACOSTA-ALBA, I.; VAN DER WERF, H. M. G. The use of reference values in indicator-based methods for the environmental assessment of agricultural systems. **Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 424-442, 2011.

ACOSTA-MICHLIK; LUCHT, W.; BONDEAU, A.; BERINGER, T. Integrated assessment of sustainability trade-offs and pathways for global bioenergy production: Framing a novel hybrid approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 2791-2809, 2011.

AGOSTINHO, F. D. R. **Estudo da sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuários da bacia hidrográfica do Rios Mogi-Guaçu e Pardo através da análise emergética**. 2009. 204 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2009.

AGOSTINHO, F.; COSTA, M.; COSCIEME, L.; ALMEIDA, C. M.; GIANNETTI, B. F. Assessing cities growth-degrowth pulsing by emergy and fractals: A methodological proposal. **Cities**, v. 113, p. 103162, 2021.

AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. **Energy**, v. 37, n. 1, p. 103-114, 2012.

AGOSTINHO, F.; SEVEGNANI, F.; ALMEIDA, C. M.; GIANNETTI, B. F. Exploring the potentialities of emergy accounting in studying the limits to growth of urban systems. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 4-12, 2018.

AGOSTINHO, F.; SICHE, R. Hidden costs of a typical embodied energy analysis: Brazilian sugarcane ethanol as a case study. **Biomass and Bioenergy**, v. 71, p. 69-83, 2014.

AGOSTINHO, F.; SILVA, T. R.; ALMEIDA, C. M.; LIU, G.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment procedure for operations and production processes (SUAPRO). **Science of the Total Environment**, v. 685, p. 1006-1018, 2019.

AGUIAR, T. D. J. A. D.; MONTEIRO, M. D. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente & Sociedade**, v. 8, n. 2, p. 161-178, 2005.

AHLROTH, S.; NILSSON, M.; FINNVEDEN, G.; HJELM, O.; HOCHSCHORNER, E. Weighting and valuation in selected environmental systems analysis tools— suggestions for further developments. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2-3, p. 145-156, 2011.

AKRAM-LODHI, A. H. Contextualising land grabbing: contemporary land deals, the global subsistence crisis and the world food system. **Canadian Journal of Development Studies/Revue canadienne d'études du développement**, v. 33, n. 2, p. 119-142, 2012.

ALI-TOUDERT, F.; JI, L. Modeling and measuring urban sustainability in multi-criteria based systems—A challenging issue. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 597-611, 2017.

ALSTON, L. J.; MELO, M. A.; MUELLER, B.; PEREIRA, C. **Brazil in transition: Beliefs, leadership, and institutional change**. Princeton University Press, v. 64, 2016.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas. **HidroWeb**. 2016. Disponível em: <http://goo.gl/dVwrUd> . Acesso em: 20 jul. 2018.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Campinas: IE/UNICAMP**, v. 155, p. 1-43, 2009.

ANP. **Boletim da Produção de Petróleo e Gas Natural**. Superintendência de Desenvolvimento e Produção – SDP, 2014. Disponível em: www.anp.gov.br/?dw=70566. Acesso em: 22 mar. 2020.

ANTANASIJEVIĆ, D.; POCAJT, V.; RISTIĆ, M.; PERIĆ-GRUJIĆ, A. A differential multi-criteria analysis for the assessment of sustainability performance of European countries: Beyond country ranking. **Journal of cleaner production**, v. 165, p. 213-220, 2017.

AYRES, R. U. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. **Ecological Economics**, v. 32, n. 3, p. 347-349, 2000.

AYRES, R. U. Statistical measures of unsustainability. **Ecological Economics**, v. 16, n. 3, p. 239-255, 1996.

BAELEMANS, A.; MUYS, B. A critical evaluation of environmental assessment tools for sustainable forest management. In: CEUTERICK, D. **Proceedings of the International Conference on Life Cycle Assessment in Agriculture, Agroindustry and Forestry**. Brussels, p. 65–75, 1998.

BAGLIANI, M.; GALLI, A.; NICCOLUCCI, V.; MARCHETTINI, N. Ecological footprint analysis applied to a sub-national area: the case of the Province of Siena (Italy). **Journal of Environmental management**, v. 86, n. 2, p. 354-364, 2008.

BALMFORD, A.; GASTON, K. J.; BLYTH, S.; JAMES, A.; KAPOS, V. Global variation in terrestrial conservation costs, conservation benefits, and unmet conservation needs. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 3, p. 1046-1050, 2003.

BAÑON GOMIS, A. J.; GUILLÉN PARRA, M.; HOFFMAN, W. M.; MCNULTY, R. E. Rethinking the concept of sustainability. **Business and Society Review**, v. 116, n. 2, p. 171-191, 2011.

BARAL, H.; HOLMGREN, P. Uma estrutura para medir os resultados de sustentabilidade para investimentos em paisagens. **CIFOR**, v. 195, 2015.

BARE, J. C., HOFSTETTER, P., PENNINGTON, D. W., & DE HAES, H. A. U. Midpoints versus endpoints: the sacrifices and benefits. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 5, n. 6, p. 319-326, 2000.

BARLES, S. Society, energy and materials: the contribution of urban metabolism studies to sustainable urban development issues. **Journal of environmental planning and management**, v. 53, n. 4, p. 439-455, 2010.

BARLES, S. Urban metabolism of Paris and its region. **Journal of industrial ecology**, v. 13, n. 6, p. 898-913, 2009.

BARRETO, H.; HOWLAND, F. **Introductory econometrics: using Monte Carlo simulation with Microsoft excel**. Cambridge University Press, 2006.

BARTER, N.; RUSSELL, S. **Sustainable Development: 1987 to 2012**. Don't Be Naive, it's not about the Environment. 2012.

BECERRA, J. A. B.; CARVALHO, S.; DA SILVA, E. A. D.; MARTINS, I. A.; VON RANDOW, C. **Variabilidade sazonal do clima e da vegetação no bioma Cerrado: I. Abordagem diagnóstica por sensoriamento remoto**, 2010.

BEKUN, F. V.; ALOLA, A. A.; SARKODIE, S. A. Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 1023-1029, 2019.

BELL, S.; MORSE, S. **Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable?** Earthscan. London. Sterling, 2008.

BENNETT, M. M.; SMITH, L. C. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 192, p. 176-197, 2017.

BINDER, C. R. From material flow analysis to material flow management Part I: social sciences modeling approaches coupled to MFA. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 17, p. 1596-1604, 2007.

BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable—A survey of sustainability indices. **Ecological economics**, v. 63, n. 1, p. 1-8, 2007.

BONISOLI, L.; GALDEANO-GÓMEZ, E.; PIEDRA-MUNOZ, L. Desconstruindo critérios e ferramentas de avaliação para construir indicadores de agro-sustentabilidade e apoiar o processo de tomada de decisão dos agricultores. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 1080-1094, 2018.

BORRAS JR., S. M.; FRANCO, J. C. Global land grabbing and trajectories of agrarian change: A preliminary analysis. **Journal of agrarian change**, v. 12, n. 1, p. 34-59, 2012.

BORRAS JR., S. M.; FRANCO, J. C.; ISAKSON, S. R.; LEVIDOW, L.; VERVEST, P. **The rise of flex crops and commodities: implications for research**. Flex Crops and Commodities Special Forum, 2016.

BOSSSEL, H. **Indicadores para o desenvolvimento sustentável: teoria, método, aplicações**. Winnipeg: Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável, p. 138, 1999.

BOULANGER, P. M. Les indicateurs de développement durable: un défi scientifique, un enjeu démocratique. **Les séminaires de l'Idri**, v. 12, p. 24, 2004.

BRANDT-WILLIAMS, Sherry. Handbook of Emergy Evaluation. Folio# 4. Emergy of Florida Agriculture. **Systems Ecology Center, University of Florida, Gainesville, FL**, v. 204, p. 20, 2002. Disponível em: <http://www.ees.ufl.edu/cep/downloads/Folio>. Acesso em: 07 jun. 2020.

BRASIL. **Decreto nº 8.447, de 6 de janeiro de 2015**. Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e A Criação de Seu Comitê Gestor. Brasília, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeção do agronegócio: Brasil 2015/2016 a 2025/2026**. Brasília: Mapa, 2017. Disponível em: <https://goo.gl/GQ6pys>. Acesso em: 03 out. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Política Agrícola. **Projeções do Agronegócio 2015/2016 a 2025/2026**, 2016, 138 p.

BRINGEZU, S. From quantity to quality: materials flow analysis. **From Paradigm to Practice of Sustainability**, v. 21, p. 43, 1997.

BRINSMEAD, T. S.; HOOKER, C. Complex systems dynamics and sustainability: conception, method and policy. In: **Philosophy of Complex Systems**. North-Holland, p. 809-838, 2011.

BROWN, M. T.; BARDI, E. **Handbook of emergy evaluation**. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios Folio, 3, 2001.

BROWN, M. T.; RAUGEI, M.; VIGLIA, S.; CASAZZA, M.; SCHNITZER, H.; KORDAS, O.; ULGIATI, S. Editorial: indicators of energy use in urban systems. **Ecol. Indic.**, v. 94, p. 1–3, 2018.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. *Emergy analysis and environmental accounting*, 2004.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy assessment of global renewable sources. **Ecological Modelling**, v. 339, p. 148-156, 2016.

BROWNE, D.; O'REGAN, B.; MOLES, R. Material flow accounting in an Irish city-region 1992–2002. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 9-10, p. 967-976, 2011.

BRUNNER, P. H. Materials flow analysis and the ultimate sink. **Journal of Industrial Ecology**, v. 8, n. 3, p. 4-7, 2004.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. A economia agropecuária do Matopiba: Agricultural economy of Matopiba. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 26, n. 2, p. 376-401, 2018.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Dinâmica da economia e da agropecuária no Matopiba**. Texto para Discussão, n. 2283, 2017.

BUYTAERT, W.; CUESTA-CAMACHO, F.; TOBÓN, C. Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 1, p. 19-33, 2011.

CABELLO, J. M.; NAVARRO, E.; PRIETO, F.; RODRÍGUEZ, B.; RUIZ, F. Multicriteria development of synthetic indicators of the environmental profile of the Spanish regions. **Ecological indicators**, v. 39, p. 10-23, 2014.

CAMPBELL, D. E. Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: an example using the state of Maine. **Environmental monitoring and assessment**, v. 51, n. 1, p. 531-569, 1998.

CAMPBELL, D. E.; BRANDT-WILLIAMS, S. L.; MEISCH, M. E. A. **Environmental accounting using emergy: Evaluation of the state of West Virginia**. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division, 2005.

CAMPBELL, D. E.; GARMESTANI, A. S. An energy systems view of sustainability: emergy evaluation of the San Luis Basin, Colorado. **Journal of Environmental Management**, v. 95, n. 1, p. 72-97, 2012.

CARTELLE, C. **Tempo passado: mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais**. Publicado para a Assessoria de Comunicação da Cia. Aços Especiais Itabira-ACESITA... pela Editora Palco, 1994.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 55-70, 2010.

CELLA, D.; ROSSI, M. C. D. L. Análise do mercado de fertilizantes no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 7, n. 1, p. 41-50, 2010.

CHA, P. Y. **An integrated quantitative framework propose for sustainability assessment in geographical indication production systems**. 2020. Doctoral dissertation. Universidade de São Paulo, 2020.126p.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; FERGUSON, R. O. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. **Management science**, v. 1, n. 2, p. 138-151, 1955.

CHEN, N.; LI, H.; WANG, L. A GIS-based approach for mapping direct use value of ecosystem services at a county scale: Management implications. **Ecological economics**, v. 68, n. 11, p. 2768-2776, 2009.

COELHO, O.; COMAR, V.; ORTEGA, E. Emergy Balance of Brazil for 1995. **Introduction to Ecological Engineering with Brazilian Case Studies**, 1998.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 12 mai. 2020.

COOKE, P.; LEYDESDORFF, L. Regional development in the knowledge-based economy: The construction of advantage. **The journal of technology Transfer**, v. 31, n. 1, p. 5-15, 2006.

COSCIEME, L.; PULSELLI, F. M.; BASTIANONI, S.; ELVIDGE, C. D.; ANDERSON, S.; SUTTON, P. C. A thermodynamic geography: Night-time satellite imagery as a proxy measure of emergy. **Ambio**, v. 43, n. 7, p. 969-979, 2014.

COSCIEME, L.; PULSELLI, F. M.; JØRGENSEN, S. E.; BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N. Thermodynamics-based categorization of ecosystems in a socio-ecological context. **Ecological modelling**, v. 258, p. 1-8, 2013.

COSTANZA, R. Ecological sustainability, indicators and climate change. In: **IPCC Expert Meeting on Development, Equity and Sustainability**, Colombo, Sri Lanka. p. 27-29, 1999.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.

COSTANZA, R.; MCGLADE, J.; LOVINS, H.; KUBISZEWSKI, I. An overarching goal for the UN sustainable development goals. **Solutions**, v. 5, n. 4, p. 13-16, 2014.

COSTANZA, R.; PATTEN, B. C. Defining and predicting sustainability. **Ecological economics**, v. 15, n. 3, p. 193-196, 1995.

COSTANZA, R.; WAINGER, L. Ecological economics: mending the Earth. 1991.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **GeoBank**. 2016. Disponível em: <http://goo.gl/sW9TPX>. Acesso em: 20 jun. 2019.

CPT. Comissão Pastoral da Terra. **Conflitos no Campo Brasil**: Comissão Pastoral da Terra, 2017. Disponível em: <http://www.cptnacional.org.br>. Acesso em: 08 jan. 2020.

CRACOLICI, M. F.; CUFFARO, M.; LACAGNINA, V. Assessment of sustainable well-being in the Italian regions: an activity analysis model. **Ecological Economics**, v. 143, p. 105-110, 2018.

DA SILVA, V. D. P.; MACIEL, G. F.; SOUZA, E. P. D.; BRAGA, C. C.; HOLANDA, R. M. D. Soybean yield in the Matopiba region under climate changes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 8-14, 2019.

DAILY, G. C. Introduction: what are ecosystem services. **Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems**, v. 1, n. 1, 1997.

DALMÁCIO, F. Z.; DE SANT'ANNA, D. P.; RANGEL, L. L.; NOSSA, V.; LARA, C. O.; RAIMUNDINI, S. L. A utilização da Goal Programming no processo de tomada de decisão. **ABCustos**, v. 3, n. 2, 2008.

DALY HERMAN, E.; ECONOMICS, F. J. E. Principles and Applications/Herman E. **Daly and Joshua Farley**. Island–Press, Washington, Covelo, London, 2003.

DALY, H. E. Commentary. Towards Some Operational Principles of Sustainable Development. **Ecological Economics**, v. 2, p. 1-6, 1990.

DALY, H. E.; COBB JR, J. B. For the Common Good Redirecting the Economy Toward Community the Environment and a Sustainable Future Beacon Press. **Boston MA**, 1989.

DANG, X.; LIU, G. Emergency measures of carrying capacity and sustainability of a target region for an ecological restoration programme: A case study in Loess Hilly Region, China. **Journal of environmental management**, v. 102, p. 55-64, 2012.

DE LUCA, A. I.; IOFRIDA, N.; LESKINEN, P.; STILLITANO, T.; FALCONE, G.; STRANO, A.; GULISANO, G. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of the Total Environment**, v. 595, p. 352-370, 2017.

DEMÉTRIO, F. J. C. **Avaliação de sustentabilidade ambiental do Brasil com a contabilidade em Energia**. Doctorate Dissertation. Universidade Paulista-UNIP, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, São Paulo, Brazil, 2011.

DEMÉTRIO, F. J.; GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. Energy accounting of Brazilian states and regions. **Emergy Synthesis**, v. 7, p. 413-418, 2013.

DOBSON, A. **Justice and the environment: Conceptions of environmental sustainability and theories of distributive justice**. Clarendon Press, 1998.

DOLL, C. N. H.; MULLER, J. P.; ELVIDGE, C. D. Night-time imagery as a tool for global mapping of socioeconomic parameters and greenhouse gas emissions. **Ambio**, v. 29, n. 3, p. 157-162, 2000.

DOLLERY, B.; BYRNES, J.; CRASE, L. Too tough a nut to crack: Determining fiscal sustainability in Australian local government. **Australasian Journal of Regional Studies**, The, v. 13, n. 2, p. 110-132, 2007.

DURAN, D. C.; GOGAN, L. M.; ARTENE, A.; DURAN, V. The components of sustainable development-a possible approach. **Procedia Economics and Finance**, v. 26, p. 806-811, 2015.

EC. European Commission. Guide to cost benefit analysis of investment projects. **European Commission Directorate General Regional Policy**, 2008.

ELKINGTON, John. The triple bottom line. **Environmental management: Readings and cases**, v. 2, 1997.

ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E.; DIETZ, J. B.; BLAND, T.; SUTTON, P. C.; KROEHL, H. W. Radiance calibration of DMSP-OLS low-light imaging data of human settlements. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n. 1, p. 77-88, 1999.

ELVIDGE, C. D.; IMHOFF, M. L.; BAUGH, K. E.; HOBSON, V. R.; NELSON, I.; SAFRAN, J.; TUTTLE, B. T. Night-time lights of the world: 1994–1995. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 56, n. 2, p. 81-99, 2001.

ELVIDGE, C. D.; SUTTON, P. C.; GHOSH, T.; TUTTLE, B. T.; BAUGH, K. E.; BHADURI, B.; BRIGHT, E. Um mapa global da pobreza derivado de dados de satélite. **Computers & Geosciences**, v. 35, n. 8, p. 1652-1660, 2009.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Embrapa (Ebook), 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Geoweb Matopiba**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6575/geoweb-matopiba>. Acesso em: 03 ago. 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Matopiba GeoWeb**. 2015. Disponível em: <http://goo.gl/bZSz8Y>. Acesso em: 31 mai. 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Embrapa (Ebook), 2014.

ESI. Index, Environmental Sustainability. Benchmarking National Environmental Stewardship (Appendix A. Methodology) [Electron. resource]. **Yale Center for Env. Law & Policy, Center for Int. Earth Sci. Inf. Network**, 2005. Disponível em: http://www.yale.edu/esi/a_methodology.pdf. Acesso em: 13 jun. 2020.

ESTY, D. C.; LEVY, M.; SREBOTNJAK, T.; DE SHERBININ, A. Environmental sustainability index: Benchmarking national environmental stewardship. **New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy**, p. 47-60, 2005.

EUROSTAT. **Sustainable Development in the European Union: 2011 Monitoring Report of the EU Sustainable Development Strategy**. Publications Office of the European Union, 2011.

FAN, J.; MCCONKEY, B. G.; JANZEN, H. H.; MILLER, P. R. Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: a case study in semi-arid Canadian farmlands. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 428-437, 2018.

FANG, C.; REN, Y. Analysis of emergy-based metabolic efficiency and environmental pressure on the local coupling and telecoupling between urbanization and the eco-environment in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. **Science China Earth Sciences**, v. 60, n. 6, p. 1083-1097, 2017.

FARIA, L. **O Desempenho Econômico, Ambiental e Social do Brasil: de 2012 a 2022, sob a Perspectiva dos Planos do Governo**. Universidade Paulista. Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção. São Paulo, 2017, 133p. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/dissertations/faria_l.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.

FAVARETO, A.; NAKAGAWA, L.; KLEEB, S.; SEIFER, P.; PÓ, M. Há mais pobreza e desigualdade do que bem estar e riqueza nos municípios do MATOPIBA/There is more poverty and inequality than well-being and wealth in the municipalities of Matopiba/Hay más pobreza y desigualdad que bienestar y riqueza en los municipios de Matopiba. **Revista Nera**, n. 47, p. 348-381, 2019.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos Ebape. BR**, v. 15, n. 3, p. 667-681, 2017.

FIALA, N. Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science. **Ecological economics**, v. 67, n. 4, p. 519-525, 2008.

FINNVEDEN, G.; MOBERG, Å. Environmental systems analysis tools—an overview. **Journal of cleaner production**, v. 13, n. 12, p. 1165-1173, 2005.

FLEURBAEY, M. On sustainability and social welfare. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 71, p. 34-53, 2015.

FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. **Global environmental change**, v. 16, n. 3, p. 253-267, 2006.

FOLKE, C.; CARPENTER, S. R.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; CHAPIN, T.; ROCKSTRÖM, J. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and society**, v. 15, n. 4, 2010.

FONSECA, M. F.; DE MIRANDA, E. E. Matopiba: Caracterização do Quadro Agrário. **Embrapa Territorial-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 2014.

FREDERICO, S. **O novo tempo do cerrado: expansão dos fronts agrícolas e controle do sistema de armazenamento de grãos**. 2009. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREDERICO, S.; DE ALMEIDA, M. C. Capital financeiro, land grabbing e a multiescalaridade na grilagem de terra na região do MATOPIBA / Financial capital, land grabbing and multiscalarity in the squatting land in MATOPIBA region / Capital financiero, land grabbing y multiescalaridad en el grilaje de tierra en la región de MATOPIBA. **Revista Nera**, n. 47, p. 123-147, 2019.

FRUGOLI, P. A.; ALMEIDA, C. M. V. B.; AGOSTINHO, F.; GIANNETTI, B. F.; HUISINGH, D. Can measures of well-being and progress help societies to achieve sustainable development?. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 370-380, 2015.

GALINDO-LEAL, C.; JACOBSEN, T. R.; LANGHAMMER, P. F.; OLIVIERI, S. Estado dos hotspots: a dinâmica da perda de biodiversidade. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo: **SOS Mata Atlântica–Belo Horizonte: Conservação Internacional**, p. 12-23, 2005.

GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. **Environmental modeling & assessment**, v. 1, n. 3, p. 101-117, 1996.

GARCÍA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **A questão ambiental ea expansão da fronteira agrícola na direção do Matopiba brasileiro**. Texto para Discussão, n. 2281, 2017.

GARMESTANI, A. S.; ALLEN, C. R.; GUNDERSON, L. Panarchy: discontinuities reveal similarities in the dynamic system structure of ecological and social systems. **Ecology and Society**, v. 14, n. 1, 2009. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art15/>. Acesso em: 15 mai. 2020.

GIANNETTI, B. F.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; HUISINGH, D. Uma revisão das limitações do PIB e índices alternativos para monitorar o bem-estar humano e gerenciar a funcionalidade do ecossistema. **Journal of cleaner production**, v. 87, p. 11-25, 2015.

GIANNETTI, B. F.; DEMÉTRIO, J. C.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M.; LIU, G. Towards more sustainable social housing projects: Recognizing the importance of using local resources. **Building and Environment**, v. 127, p. 187-203, 2018b.

GIANNETTI, B. F.; DEMÉTRIO, J. F. C.; BONILLA, S. H.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Emery diagnosis and reflections towards Brazilian sustainable development. **Energy Policy**, v. 63, p. 1002-1012, 2013.

GIANNETTI, B. F.; FARIA, L.; ALMEIDA, C. M.; AGOSTINHO, F.; COSCIEME, L.; LIU, G. Human-nature nexuses in Brazil: Monitoring production of economic and ecosystem services in historical series. **Ecosystem Services**, v. 30, p. 248-256, 2018a.

GIANNETTI, B. F.; NEIS, A. M.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. Decisões e Sustentabilidade ambiental. In: COSTA NETO, P. L. D. O. **Qualidade e Competência nas Descisões**. Blucher, São Paulo, p. 315–336, 2007.

GIANNETTI, B. F.; SEVEGNANI, F.; ALMEIDA, C. M.; AGOSTINHO, F.; GARCÍA, R. R. M.; LIU, G. Five sector sustainability model: A proposal for assessing sustainability of production systems. **Ecological Modelling**, v. 406, p. 98-108, 2019.

GIBSON, R. B. Avaliação da sustentabilidade: componentes básicos de uma abordagem prática. **Avaliação de impacto e avaliação do projeto**, v. 24, n. 3, p. 170-182, 2006.

GIBSON, R. B. S.; HASSAN, S.; HOLTZ, S.; TANSEY, J.; WHITELAW, G. **Sustainability assessment—criteria and processes**. Earthscan. London, UK, 2005.

GILJUM, S.; BURGER, E.; HINTERBERGER, F.; LUTTER, S.; BRUCKNER, M. A comprehensive set of resource use indicators from the micro to the macro level. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 3, p. 300-308, 2011.

GILJUM, S.; HUBACEK, K. Conceptual foundations and applications of physical input-output tables. In: **Handbook of input-output economics in industrial ecology**. Springer, Dordrecht, p. 61-75, 2009.

GITE/EMBRAPA. **Grupo de Inteligência Territorial Estratégica**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/>. Acesso em: 20 abr. 2018.

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. The Eco-indicator 99: a damage oriented method for life cycle assessment, methodology report. **Pre Consultants**, The Netherlands, v. 12, 2000.

GOLDSTEIN, B.; BIRKVED, M.; QUITZAU, M. B.; HAUSCHILD, M. Quantification of urban metabolism through coupling with the life cycle assessment framework: concept development and case study. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 035024, 2013.

GOODLAND, R. The concept of environmental sustainability. **Annual review of ecology and systematics**, v. 26, n. 1, p. 1-24, 1995.

GOODLAND, R.; DALY, H. Environmental sustainability: universal and non-negotiable. **Ecological applications**, v. 6, n. 4, p. 1002-1017, 1996.

GRAYMORE, M. L. M.; SIPE, N. G.; RICKSON, R. E. Regional sustainability: how useful are current tools of sustainability assessment at the regional scale?. **Ecological economics**, v. 67, n. 3, p. 362-372, 2008.

GRAYMORE, M. L. M.; SIPE, N. G.; RICKSON, R. E. Sustaining human carrying capacity: a tool for regional sustainability assessment. **Ecological economics**, v. 69, n. 3, p. 459-468, 2010.

GRAYMORE, M. L. M.; WALLIS, A. M.; RICHARDS, A. J. An Index of Regional Sustainability: A GIS-based multiple criteria analysis decision support system for progressing sustainability. **Ecological complexity**, v. 6, n. 4, p. 453-462, 2009.

GUNTON, T. Natural resources and regional development: An assessment of dependency and comparative advantage paradigms. **Economic geography**, v. 79, n. 1, p. 67-94, 2003.

HAMMER, M.; GILJUM, S.; BARGIGLI, S.; HINTERBERGER, F. Material flow analysis on the regional level: Questions, problems. **Solutions. NEDS Working Paper**, n. 2, 2003.

HARLOW, J.; GOLUB, A.; ALLENBY, B. A review of utopian themes in sustainable development discourse. **Sustainable Development**, v. 21, n. 4, p. 270-280, 2013.

HARVEY, David. Accumulation by Dispossession. In: **The new imperialism**. Oxford University Press, 2003.

HAU, J. L.; BAKSHI, B. R. Promise and problems of emergy analysis. **Ecological modelling**, v. 178, n. 1-2, p. 215-225, 2004.

HAUSCHILD, M. Spatial differentiation in life cycle impact assessment: a decade of method development to increase the environmental realism of LCIA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 1, p. 11-13, 2006.

HAY, L.; DUFFY, A.; WHITFIELD, R. I. The sustainability cycle and loop: models for a more unified understanding of sustainability. **Journal of environmental management**, v. 133, p. 232-257, 2014.

HEIJUNGS, R.; SUH, S. **The computational structure of life cycle assessment**. Springer Science & Business Media, v. 11, 2002.

HEZRI, A. A.; DOVERS, S. R. Sustainability indicators, policy and governance: Issues for ecological economics. **Ecological economics**, v. 60, n. 1, p. 86-99, 2006.

HOEKSTRA, R.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M. Constructing physical input–output tables for environmental modeling and accounting: Framework and illustrations. **Ecological Economics**, v. 59, n. 3, p. 375-393, 2006.

HSU, A.; ZOMER, A. Environmental performance index. **Wiley StatsRef: Statistics Reference Online**, p. 1-5, 2014.

HUANG, C.; YANG, L.; WYLIE, B. K.; HOMER, C. **A strategy for estimating tree canopy density using Landsat 7 ETM+ and high resolution images over large areas**. 2001.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. **Science of the total environment**, v. 409, n. 19, p. 3578-3594, 2011.

HUANG, Q.; WANG, R.; REN, Z.; LI, J.; ZHANG, H. Regional ecological security assessment based on long periods of ecological footprint analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 51, n. 1, p. 24-41, 2007.

IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D.; PÉREZ-BELIS, V. A holistic review of applied methodologies for assessing and selecting the optimal technological alternative from a sustainability perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 70, p. 259-281, 2014.

IBGE. **Censo Agropecuario 2017 - Resultados Definitivos**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censoagropecuario/censo-agropecuario-2017#caracteristicas-estabelecimentos>. Acesso em: 12 dez. 2019).

IBGE. **Fronteira agrícola 'Matopiba' amplia produção de grãos em quatro estados**. Seagri Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura. 2014. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias/2015/06/02/fronteira-agr%C3%ADcola-matopiba-amplia-produ%C3%A7%C3%A3o-de-gr%C3%A3os-em-quatro-estados>. Acesso em: 15 mar. 2018.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839>. Acesso em: 10 dez. 2019.

IBGE. **Séries estatísticas de produção agrícola e pecuária**. Sistema IBGE de recuperação automática. 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em: 20 mai. 2019.

IFB, 2020. **Boletim do Inventário florestal Nacional do cerrado**. Disponível em <https://www.florestal.gov.br/publicacoes-ifn/1843-boletim-do-ifn-cerrado-levantamento-biofisico> Acesso em: 10 jan. 2021.

IISD. International Institute for Sustainable Development. **Compendium of Sustainable Development Indicator Initiatives**. Sustainable Development Goals. 2020. Disponível em: www.iisd.com.br. Acesso em: 15 out. 2020.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Estações e Dados. **BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2016. Disponível em: <http://goo.gl/zKpu5>. Acesso em: 20 jul. 2016.

IPEA; PNUD; FJP. Brasil. Ministério da Saúde, World Health Organization; DUARTE, R.; LÖNNROTH, K.; CARVALHO, C. R. R.; LIMA, F.; CARVALHO, A. C. C.; MUÑOZ-TORRICO, M.; CENTIS, R.; WORLD HEALTH ORGANIZATION, HARLING, G.; CASTRO, M. C.; JABRI, H.; LAKHDAR, N.; EL KHATTABI, W.; AFIF, H.; RANZANI, O. T.; CARVALHO, C. R. R.; WALDMAN, E. A.; RODRIGUES, L. C. **Radar IDHM: evolução do IDHM e de seus índices componentes no período de 2012 a 2017**. 2019. doi.org/10.1001/jama.2014.11450

ISO. International Organization for Standardization. **Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework ISO 14040:2006**. Geneva, Switzerland. 2006. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/37456.html>. Acesso em: 15 out. 2019.

JASIŃSKI, T. Modeling electricity consumption using nighttime light images and artificial neural networks. **Energy**, v. 179, p. 831-842, 2019.

JAYARAMAN, R.; COLAPINTO, C.; LA TORRE, D.; MALIK, T. Multi-criteria model for sustainable development using goal programming applied to the United Arab Emirates. **Energy Policy**, v. 87, p. 447-454, 2015.

JOHANNESDOTTIR, S. L.; KÄRRMAN, E.; BARQUET, K.; KOSKIAHO, J.; OLSSON, O.; GIEŁCZEWSKI, M. Avaliação de sustentabilidade de tecnologias para recuperação de recursos em dois países do Báltico Estudos de caso da região do mar usando análise multicritério. **Sistemas ambientais mais limpos**, v. 2, p. 100030, 2021. doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100030.

JOHNS, H.; ORMEROD, P. Happiness, economics and public policy. **Institute of Economic Affairs, Research Monograph**, v. 62, 2007.

JORDAN, S. J.; HAYES, S. E.; YOSKOWITZ, D.; SMITH, L. M.; SUMMERS, J. K.; RUSSELL, M.; BENSON, W. H. Accounting for natural resources and environmental sustainability: linking ecosystem services to human well-being. **Environ. Sci. Technol.**, v. 44, p. 1530-1536, 2010.

JOUNG, C. B.; CARRELL, J.; SARKAR, P.; FENG, S. C. Categorization of indicators for sustainable manufacturing. **Ecological indicators**, v. 24, p. 148-157, 2013.

KAJIKAWA, Y. Research core and framework of sustainability science. **Sustainability Science**, v. 3, n. 2, p. 215-239, 2008.

KATES, R. W. From the unity of nature to sustainability science: ideas and practice. In: **Sustainability Science**. Springer, New York, NY, 2012. p. 3-19.

KISSINGER, M.; REES, W. E. An interregional ecological approach for modelling sustainability in a globalizing world—Reviewing existing approaches and emerging directions. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 21, p. 2615-2623, 2010.

KITZES, J.; GALLI, A.; BAGLIANI, M.; BARRETT, J.; DIGE, G.; EDE, S.; WIEDMANN, T. A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts. **Ecological Economics**, v. 68, n. 7, p. 1991-2007, 2009.

KITZES, J.; WACKERNAGEL, M. Answers to common questions in ecological footprint accounting. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 4, p. 812-817, 2009.

KLEINE, Alexandro. **Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie: Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren**. Springer-Verlag, 2009.

KUBISZEWSKI, I.; COSTANZA, R.; FRANCO, C.; LAWN, P.; TALBERTH, J.; JACKSON, T.; AYLMER, C. Beyond GDP: Measuring and achieving global genuine progress. **Ecological economics**, v. 93, p. 57-68, 2013.

KUMAR, A.; SAH, B.; SINGH, A. R.; DENG, Y.; HE, X.; KUMAR, P.; BANSAL, R. C. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 596-609, 2017.

KURKA, T.; BLACKWOOD, D. Selection of MCA methods to support decision making for renewable energy developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 225-233, 2013.

KURNIAWAN, R.; MANAGI, S. Economic growth and sustainable development in Indonesia: an assessment. **Bulletin of Indonesian Economic Studies**, v. 54, n. 3, p. 339-361, 2018.

LAHDELMA, R.; SALMINEN, P.; HOKKANEN, J. Using multicriteria methods in environmental planning and management. **Environmental management**, v. 26, n. 6, p. 595-605, 2000.

LAMBIN, E. F. Conditions for sustainability of human–environment systems: Information, motivation, and capacity. **Global Environmental Change**, v. 3, n. 15, p. 177-180, 2005.

LANGA, E. S. **Medindo desigualdades para superar de forma sustentável as armadilhas da pobreza das nações: o caso de Moçambique**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Paulista, 2019.186f.

- LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; VIEIRA, I. C. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature climate change**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2014.
- LAVE, L. B.; COBAS-FLORES, E.; HENDRICKSON, C. T.; MCMICHAEL, F. C. Using input-output analysis to estimate economy-wide discharges. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 9, p. 420A-426A, 1995.
- LAWN, P. A. A theoretical foundation to support the Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW), Genuine Progress Indicator (GPI), and other related indexes. **Ecological Economics**, v. 44, n. 1, p. 105-118, 2003.
- LEE, D. J.; BROWN, M. T. Journal of Environmental Accounting and Management. **Journal of Environmental Accounting and Management**, v. 7, n. 1, p. 11-26, 2019.
- LEIN, J. K. Toward a remote sensing solution for regional sustainability assessment and monitoring. **Sustainability**, v. 6, n. 4, p. 2067-2086, 2014.
- LEITE, E. C. T.; BATISTELLA, M.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. D. C. Aplicação de sistema WebGIS para análise geoespacial da agricultura na região de MATOPIBA. In: **Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 2014, Campinas. Anais... Campinas: IAC, p. 8-14, 2014.
- LI, G.; KUANG, Y.; HUANG, N.; CHANG, X. Emergy synthesis and regional sustainability assessment: Case study of pan-pearl river delta in China. **Sustainability**, v. 6, n. 8, p. 5203-5230, 2014.
- LI, Q.; ZHANG, X.; LIU, Q.; LIU, Y.; DING, Y.; ZHANG, Q. Impact of land use intensity on ecosystem services: An example from the agro-pastoral ecotone of central inner mongolia. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 1030, 2017.
- LI, T. M. What is land? Assembling a resource for global investment. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 39, n. 4, p. 589-602, 2014.
- LI, X.; ZHOU, Y.; ZHU, Z.; LIANG, L.; YU, B.; CAO, W. Mapping annual urban dynamics (1985–2015) using time series of Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 216, p. 674-683, 2018.
- LIN, G. T. R.; HOPE, C. Genuine savings measurement and its application to the United Kingdom and Taiwan. **The Developing Economies**, v. 42, n. 1, p. 3-41, 2004.
- LIU, G.; BROWN, M. T.; CASAZZA, M. Enhancing the sustainability narrative through a deeper understanding of sustainable development indicators. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 1078, 2017.

LIU, Z.; HE, C.; ZHANG, Q.; HUANG, Q.; YANG, Y. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. **Landscape and Urban Planning**, v. 106, n. 1, p. 62-72, 2012.

LOISEAU, E.; JUNQUA, G.; ROUX, P.; BELLON-MAUREL, V. Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods. **Journal of environmental management**, v. 112, p. 213-225, 2012.

LOTKA, A. J. Contribution to the energetics of evolution. **Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America**, v. 8, n. 6, p. 147, 1922.

LOZANO, R. Envisioning sustainability three-dimensionally. **Journal of cleaner production**, v. 16, n. 17, p. 1838-1846, 2008.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 25, p. 14-26, 2012.

MAGALHÃES, L. A.; MIRANDA, E. E. D, MATOPIBA: Quadro Natural. **Embrapa Territorial-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 2014.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Dilma e Kátia Abreu anunciam criação da Agência de Desenvolvimento do Matopiba**. 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/05/dilma-e-katiaabreu-anunciamcriacao-da-agencia-de-desenvolvimento-do-matopiba>. Acesso em: 29 nov. 2020.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio Brasil 2014/2015 a 2024/2025**. Projeções a longo prazo, 2015, 133 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-brasil-2014-2015-a-2024-2025.pdf/view>. Acesso em: 19 nov. 2020.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass. **Coleção 5da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 dez. 2020.

MARCHETTINI, N.; NICCOLUCCI, V.; PULSELLI, F. M.; TIEZZI, E. Environmental sustainability and the integration of different methods for its assessment. **Environmental Science and Pollution Research-International**, v. 14, n. 4, p. 227-228, 2007.

MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L. Systematic conservation planning. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 243-253, 2000.

MATOS, P. F.; PESSOA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. **Geo Uerj**, v. 2, n. 22, p. 290-322, 2011.

MAYER, A. L.; THURSTON, H. W.; PAWLOWSKI, C. W. The multidisciplinary influence of common sustainability indices. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 8, p. 419-426, 2004.

MCCOOL, S. F.; STANKEY, G. H. Indicators of sustainability: challenges and opportunities at the interface of science and policy. **Environmental management**, v. 33, n. 3, p. 294-305, 2004.

MCDONALD, G. W.; PATTERSON, M. G. Ecological footprints and interdependencies of New Zealand regions. **Ecological Economics**, v. 50, n. 1-2, p. 49-67, 2004.

MELLINO, S.; BUONOCORE, E.; ULGIATI, S. The worth of land use: A GIS–emergy evaluation of natural and human-made capital. **Science of the Total Environment**, v. 506, p. 137-148, 2015.

MELLINO, S.; RIPA, M.; ZUCARO, A.; ULGIATI, S. An emergy–GIS approach to the evaluation of renewable resource flows: a case study of Campania Region, Italy. **Ecological Modelling**, v. 271, p. 103-112, 2014.

MENEGAKI, A. N.; TIWARI, A. K. The index of sustainable economic welfare in the energy-growth nexus for American countries. **Ecological indicators**, v. 72, p. 494-509, 2017.

MILLWARD-HOPKINS, J.; BUSCH, J.; PURNELL, P.; ZWIRNER, O.; VELIS, C. A.; BROWN, A.; IACOVIDOU, E. Fully integrated modelling for sustainability assessment of resource recovery from waste. **Science of the Total Environment**, v. 612, p. 613-624, 2018.

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA. **Embrapa Territorial-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 2014.

MOFFATT, I. Espaço ambiental, análise de fluxo de material e pegada ecológica. **Manual de desenvolvimento sustentável**, v. 319, 2007.

MOLDAN, B.; JANOUŠKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 4-13, 2012.

MONFREDA, C.; WACKERNAGEL, M.; DEUMLING, D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments. **Land use policy**, v. 21, n. 3, p. 231-246, 2004.

MORANDI, F.; CAMPBELL, D. E.; PULSELLI, F. M.; BASTIANONI, S. Emergy evaluation of hierarchically nested systems: application to EU27, Italy and Tuscany and consequences for the meaning of emergy indicators. **Ecological Modelling**, v. 315, p. 12-27, 2015.

MORENO GARCÍA, R. R.; GIANNETTI, B. F.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; SEVEGNANI, F.; PARRA PÉREZ, K. M.; VELÁSQUEZ, L. Assessing the sustainability of rice production in Brazil and Cuba. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, p. 100152, 2021. doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100152

MUNASINGHE, M. **Environmental economics and sustainable development**. The World Bank, 1993.

NASCIMENTO, R. L.; MIRANDA, L. A. Exploração de potássio no Brasil. **Estudo, Consultoria Legislativa do Brasil**, Brasília, 2015.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 2014.

NERI, L.; D'AGOSTINO, A.; REGOLI, A.; PULSELLI, F. M.; COSCIEME, L. Evaluating dynamics of national economies through cluster analysis within the input-state-output sustainability framework. **Ecological indicators**, v. 72, p. 77-90, 2017.

NESS, B.; URBEL-PIIRSALU, E.; ANDERBERG, S.; OLSSON, L. Categorising tools for sustainability assessment. **Ecological economics**, v. 60, n. 3, p. 498-508, 2007.

NEUMAYER, E. **Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms**. Elgar, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA, 1999.

NICCOLUCCI, V.; TIEZZI, E.; PULSELLI, F. M.; CAPINERI, C. Biocapacity vs Ecological Footprint of world regions: A geopolitical interpretation. **Ecological Indicators**, v. 16, p. 23-30, 2012.

NIKOLAOU, I. E.; TSALIS, T. A.; EVANGELINOS, K. I. A framework to measure corporate sustainability performance: A strong sustainability-based view of firm. **Sustainable production and consumption**, v. 18, p. 1-18, 2019.

NISSINEN, A.; GRÖNROOS, J.; HEISKANEN, E.; HONKANEN, A.; KATAJAJUURI, J. M.; KURPPA, S.; VOUTILAINEN, P. Developing benchmarks for consumer-oriented life cycle assessment-based environmental information on products, services and consumption patterns. **Journal of cleaner production**, v. 15, n. 6, p. 538-549, 2007.

OCDE/FAO. Food and agriculture organization of the Unitednations. **Perspectivas Agrícolas 2015-2024**. OECD Publishing, Paris, 2015. Disponível em: doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-es

ODUM, E. P.; GARY, W. B. **Fundamentos de Ecologia**. [tradução pégasus sistemas e soluções]. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

ODUM, H. T. Self-organization, transformity, and information. **Science**, v. 242, n. 4882, p. 1132-1139, 1988.

ODUM, H. T. **Environmental accounting: energy and environmental decision making**. New York: Wiley, v. 707, 1996.

ODUM, H. T.; BROWN, M. T.; BRANDT-WILLIAMS, S. Handbook of energy evaluation. **Center for environmental policy**, 2000.

OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Environmental Indicators for Agriculture: Volume 1 Concepts and Frameworks**. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 1999.

OLIVEIRA, M. W.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Sustainable milk production: Application of the hierarchical analytical process towards a regional strategic planning. **J. Environ. Account. Manag**, v. 4, p. 385-398, 2016.

ONU. United Nations Organization. **Sustainable Development Knowledge Platform**. 2017. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 ago. 2018.

PEARSON, R. G. Razões para conservar a natureza. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 31, n. 5, 366-371, 2016.

PEDLOWSKI, M. A. When the state becomes the land grabber: violence and dispossession in the name of 'development' in Brazil. **Journal of Latin American Geography**, p. 91-111, 2013.

PEREIRA, C. N. **Estrutura agrária no Matopiba: apontamentos a partir do censo agropecuário de 2017**. 2019.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. **O sistema nacional de pesquisa agropecuária: histórico, estrutura e financiamento**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Texto para discussão nº 2338. Rio de Janeiro, 2017.

PEREIRA, L. I.; PAULI, L. O processo de estrangeirização da terra e expansão do agronegócio na região do MATOPIBA. **Revista Campo-Território**, v. 11, n. 23 jul., 2016.

PITTA, F. T.; MENDONÇA, M. L.; BOECHAT, C. A. A produção do espaço na região do MATOPIBA: violência, transnacionais imobiliárias agrícolas e capital fictício. **Estudos Internacionais: revista de relações internacionais da PUC Minas**, v. 5, n. 2, 155-179, 2017.

PNUD, I. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento-PNUD**. 2020. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/search.html?q=IDHM>. Acesso em: 14/03/2021.

PNUD, P. D. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. **Recuperado el**, v. 18, 2019.

PNUD; IPEA; FJP. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Desenvolvimento Humano para além das médias**. Brasília, 2017.

POPE, J.; ANNANDALE, D.; MORRISON-SAUNDERS, A. Conceptualising sustainability assessment. **Environmental impact assessment review**, v. 24, n. 6, p. 595-616, 2004.

PORCIONATO, G. L.; CASTRO, C. N. D.; PEREIRA, C. N. **Aspectos sociais do Matopiba: análise sobre o desenvolvimento humano e a vulnerabilidade social**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). 2018.

PULSELLI, F. M.; CIAMPALINI, F.; TIEZZI, E.; ZAPPIA, C. O índice de bem-estar econômico sustentável (ISEW) para uma autoridade local: um estudo de caso na Itália. **Ecological Economics**, v. 60, n. 1, p. 271-281, 2006.

PULSELLI, F. M.; COSCIEME, L.; BASTIANONI, S. Ecosystem services as a counterpart of emergy flows to ecosystems. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 16, p. 2924-2928, 2011.

PULSELLI, F. M.; COSCIEME, L.; NERI, L.; REGOLI, A.; SUTTON, P. C.; LEMMI, A.; BASTIANONI, S. The world economy in a cube: A more rational structural representation of sustainability. **Global Environmental Change**, v. 35, p. 41-51, 2015.

PULSELLI, F. M.; SANI, A.; GOFFETTI, G.; COSCIEME, L.; BASTIANONI, S. A sustainability 3D framework of the 20 regions of Italy and comparison with world countries. **Frontiers in Energy Research**, v. 7, p. 82, 2019.

PULSELLI, R. M. Integrating emergy evaluation and geographic information systems for monitoring resource use in the Abruzzo region (Italy). **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 11, p. 2349-2357, 2010.

PULSELLI, R. M.; PULSELLI, F. M.; RUSTICI, M. Emergy accounting of the Province of Siena: towards a thermodynamic geography for regional studies. **Journal of environmental management**, v. 86, n. 2, p. 342-353, 2008.

PULSELLI, R. M.; RUSTICI, M.; MARCHETTINI, N. An integrated framework for regional studies: Emergy based spatial analysis of the province of Cagliari. **Environmental monitoring and assessment**, v. 133, n. 1-3, p. 1-13, 2007.

RAGAGLINI, G.; TRIANA, F.; VILLANI, R.; BONARI, E. Can sunflower provide biofuel for inland demand? An integrated assessment of sustainability at regional scale. **Energy**, v. 36, n. 4, p. 2111-2118, 2011.

RANDOLPH, John. **Environmental land use planning and management**. Island Press, 2004.

RASKIN, P. D.; ELECTRIS, C.; ROSEN, R. A. The century ahead: searching for sustainability. **Sustainability**, v. 2, n. 8, p. 2626-2651, 2010.

RASMUSSEN, M. B.; LUND, C. Reconfiguring Frontier Spaces: The territorialization of resource control. **World Development**, v. 101, p. 388-399, 2018.

RAUSCHER, H. M. Ecosystem management decision support for federal forests in the United States: a review. **Forest ecology and management**, v. 114, n. 2-3, p. 173-197, 1999.

REES, W. E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. **Environment and urbanization**, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1992.

RIBEIRO, L. C. S.; LÔBO, A. S.; SILVA, L. D.; ANDRADE, N. F. S. Economic growth patterns of the MATOPIBA'S municipalities. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 3, p. e212613, 2020. doi.org/10.1590/1806-9479.2020.212613.

RIDOLFI, R.; SUSANI, L.; PICCHI, M. P.; TIEZZI, E. B. P. A new environmental approach in the territory assessment. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 70, 2004.

RUDORFF, B.; RISSO, J.; AGUIAR, D.; GONÇALVES, F.; SALGADO, M.; PERRUT, J.; BALDI, C. Análise geoespacial da dinâmica das culturas anuais no bioma Cerrado: 2000 a 2014. **Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda.: Florianópolis, Brasil**, p. 8-10, 2015.

SÁ, H. A.; MORAIS, L.; CAMPOS, C. S. S. Que desenvolvimento é esse? Análise da expansão do agronegócio da soja na área do MATOPIBA a partir de uma perspectiva furtadiana. In: **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Economia**. 2015.

SAAD, M. H.; NAZZAL, M. A.; DARRAS, B. M. A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. **Ecological Indicators**, v. 97, p. 211-224, 2019.

SAATY, T. L. **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process**, 2 ed., Pittsburgh: RWS Publications, 2001.

SALA, S.; FARIOLI, F.; ZAMAGNI, A. Life cycle sustainability assessment in the context of sustainability science progress (part 2). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 9, p. 1686-1697, 2013.

SALVATI, L.; CARLUCCI, M. A composite index of sustainable development at the local scale: Italy as a case study. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 162-171, 2014.

SANTOS, C. C. M. D. Oeste Baiano: ocupação econômica, formação social e modernização agrícola. **Sertões da Bahia: formação social, desenvolvimento econômico, evolução política e diversidade cultural**. Salvador, Arcádia, 2011.

SANTOS, H. G. D.; CARVALHO JUNIOR, W. D.; DART, R. D. O.; ÁGLIO, M. L. D.; DE SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; DE OLIVEIRA, A. P. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

SARTORI, S.; LATRONICO, F.; CAMPOS, L. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & sociedade**, v. 17, n. 1, p. 01-22, 2014.

SCIUBBA, E.; ULGIATI, S. Emergy and exergy analyses: complementary methods or irreducible ideological options?. **Energy**, v. 30, n. 10, p. 1953-1988, 2005.

SCOTT, J. A.; HO, W.; DEY, P. K. A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. **Energy**, v. 42, n. 1, p. 146-156, 2012.

SEDLBAUER, K.; BRAUNE, A.; HUMBERT, S. Spatial Differentiation in LCA. **TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis**, v. 16, n. 3, p. 24-31, 2007.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Estatística por municípios**. 2019. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/cities/statistics> Acesso em: 02 mai. 2021.

SEIDLER, E. P.; ANDREATTA, T.; CIECHOWICZ, I. F. S.; SPANEVELLO, R. M. A temática da sustentabilidade no meio rural a partir de uma abordagem científica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 5, p. 572-580, 2018.

SEPPÄLÄÄ, J.; MELANEN, M.; MÄENPÄÄ, I.; KOSKELA, S.; TENHUNEN, J.; HILTUNEN, M. R. How can the eco-efficiency of a region be measured and monitored?. **Journal of industrial Ecology**, v. 9, n. 4, p. 117-130, 2005.

SERIGATI, F.; RODRIGUES, R. M.; POSSAMAI, R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **O mercado de trabalho na fronteira do agronegócio: quanto a dinâmica no Matopiba difere das regiões mais tradicionais?**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2017.

SHAH, S. M., LIU, G.; YANG, Q.; WANG, X.; CASAZZA, M.; AGOSTINHO, F.; GIANNETTI, B. F. Emergy-based valuation of agriculture ecosystem services and dis-services. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 118019, 2019.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. Emergy net primary production (ENPP) as basis for calculation of ecological footprint. **Ecological Indicators**, v. 10, n. 2, p. 475-483, 2010.

SIMMIE, J.; MARTIN, R. The economic resilience of regions: towards an evolutionary approach. **Cambridge journal of regions, economy and society**, v. 3, n. 1, p. 27-43, 2010.

SINGH, R. K.; MURTY, H. R.; GUPTA, S. K.; DIKSHIT, A. K. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological indicators**, v. 9, n. 2, p. 189-212, 2009.

SINGH, R. K.; MURTY, H. R.; GUPTA, S. K.; DIKSHIT, A. K. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological indicators**, v. 15, n. 1, p. 281-299, 2012.

SMETANA, S.; TAMÁSY, C.; MATHYS, A.; HEINZ, V. Sustainability and regions: sustainability assessment in regional perspective. **Regional Science Policy & Practice**, v. 7, n. 4, p. 163-186, 2015.

SOUZA, C. M.; Z SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

SPANGENBERG, J. H. **Environmental space-based proactive linkage indicators: a compass on the road towards sustainability**. Willey, 1997.

SPANGENBERG, J. H. Institutional sustainability indicators: an analysis of the institutions in Agenda 21 and a draft set of indicators for monitoring their effectivity. **Sustainable Development**, v. 10, n. 2, p. 103-115, 2002.

SPANGENBERG, J. H. Sustainability science: a review, an analysis and some empirical lessons. **Environmental Conservation**, v. 38, n. 3, p. 275-287, 2011.

SPINDLER, E. A. Geschichte der Nachhaltigkeit. Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes. **Edmund A. Spindler**, v. 21, 2011.

STERLING, E. J.; FILARDI, C.; TOOMEY, A.; SIGOUIN, A.; BETLEY, E.; GAZIT, N.; JUPITER, S. D. Biocultural approaches to well-being and sustainability indicators across scales. **Nature ecology & evolution**, v. 1, n. 12, p. 1798-1806, 2017.

SRTM/INPE. **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 12 jul. 2019.

SU, Y.; CHEN, X.; WANG, C.; ZHANG, H.; LIAO, J.; YE, Y.; WANG, C. A new method for extracting built-up urban areas using DMSP-OLS nighttime stable lights: A case study in the Pearl River Delta, southern China. **GIScience & Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 218-238, 2015.

SUH, S. A note on the calculus for physical input–output analysis and its application to land appropriation of international trade activities. **Ecological Economics**, v. 48, n. 1, p. 9-17, 2004.

SUH, S.; HUPPES, G. Methods for life cycle inventory of a product. **Journal of cleaner production**, v. 13, n. 7, p. 687-697, 2005.

SUH, S.; KAGAWA, S. Industrial ecology and input-output economics: a brief history. In: **Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology**. Springer, Dordrecht, p. 43-58, 2009.

SUTTON, P. C. An empirical environmental sustainability index derived solely from nighttime satellite imagery and ecosystem service valuation. **Population and Environment**, v. 24, n. 4, p. 293-311, 2003.

SUTTON, P. C.; ANDERSON, S. J.; TUTTLE, B. T.; MORSE, L. The real wealth of nations: Mapping and monetizing the human ecological footprint. **Ecological Indicators**, v. 16, p. 11-22, 2012.

TALBERTH, J.; BOHARA, A. K. Economic openness and green GDP. **Ecological Economics**, v. 58, n. 4, p. 743-758, 2006.

TIEZZI, E.; PULSELLI, F. M.; MAPELLI, F.; FUGARO, L. Avaliação emergencial do bem-estar: um estudo de caso na Itália. **Nos Anais da 3ª Biennial Energy Research Conference**. Center for Environmental Policy, Gainesville, Flórida, 2004.

TODOROV, V.; MARINOVA, D. Modelling sustainability. **Mathematics and computers in simulation**, v. 81, n. 7, p. 1397-1408, 2011.

TRUFFER, B.; COENEN, L. Environmental innovation and sustainability transitions in regional studies. **Regional studies**, v. 46, n. 1, p. 1-21, 2012.

TURNER II, B. L. Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science?. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 4, p. 570-576, 2010.

TUTTLE, B. T.; ANDERSON, S. J.; SUTTON, P. C.; ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. Costumava ser escuro aqui. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 79, n. 3, p. 287-297, 2013.

ULGIATI, S.; ASCIONE, M.; ZUCARO, A.; CAMPANELLA, L. Emergy-based complexity measures in natural and social systems. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 5, p. 1185-1190, 2011.

ULGIATI, S.; BROWN, M. T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. **Ecological modelling**, v. 108, n. 1-3, p. 23-36, 1998.

ULGIATI, S.; BROWN, M. T. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions: the case of electricity production. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 4, p. 335-348, 2002.

ULGIATI, S.; ODUM, H. T.; BASTIANONI, S. Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy. **Ecological modelling**, v. 73, n. 3-4, p. 215-268, 1994.

ULGIATI, S.; RAUGEI, M.; BARGIGLI, S. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 432-442, 2006.

UNEP, E. **Environmental impact assessment training resource manual**, 2002.

UNEP, U. **Inclusive Wealth Report 2012**. Measuring Progress Toward Sustainability, 2012.

UNU-IHDP; UNEP. Universidad de Las Naciones Unidas. **Inclusive wealth report 2012: measuring progress toward sustainability**. New York, 2012.

URA, K.; ALKIRE, S.; ZANGMO, T. **Bhutan: Gross national happiness and the GNH index**. 2012.

US-EPA. United States Environment Protection Agency. **Sustainability analytics: Assessment tools and approaches**. United States Environment Protection Agency, 2013.

VALENTIN, A.; SPANGENBERG, J. H. A guide to community sustainability indicators. **Environmental impact assessment review**, v. 20, n. 3, p. 381-392, 2000.

VAN DE KERK, G.; MANUEL, A. R. A comprehensive index for a sustainable society: The SSI—the Sustainable Society Index. **Ecological Economics**, v. 66, n. 2-3, p. 228-242, 2008.

VAN DE KERK, G.; MANUEL, A. R. **Sustainable Society Index 2014**. The Hague, The Netherlands: Sustainable Society Foundation, 2014.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M. The GDP paradox. **Journal of Economic Psychology**, v. 30, n. 2, p. 117-135, 2009.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; GRAZI, F. Ecological footprint policy? Land use as an environmental indicator. **Journal of Industrial Ecology**, v. 18, n. 1, p. 10-19, 2014.

VAN WITTELOOSTUIJN, A. Globalisation in the food industry: the impact on market structures and firm postures. **The Food Economy—Global Issues and Challenges**, p. 23-42, 2009.

VAN ZEIJL-ROZEMA, A.; MARTENS, P. An adaptive indicator framework for monitoring regional sustainable development: a case study of the INSURE project in Limburg, The Netherlands. **Sustainability: Science, Practice and Policy**, v. 6, n. 1, p. 6-17, 2010.

VARGA, M.; KUEHR, R. Integrative approaches towards Zero Emissions regional planning: synergies of concepts. **Journal of cleaner production**, v. 15, n. 13-14, p. 1373-1381, 2007.

- VEIGA, J. E. D. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 24, n. 68, p. 39-52, 2010.
- VELAZQUEZ, Esther. An input–output model of water consumption: analysing intersectoral water relationships in Andalusia. **Ecological Economics**, v. 56, n. 2, p. 226-240, 2006.
- VIGLIA, S.; CIVITILLO, D. F.; CACCIAPUOTI, G.; ULGIATI, S. Indicators of environmental loading and sustainability of urban systems. An emergy-based environmental footprint. **Ecological indicators**, v. 94, p. 82-99, 2018.
- VOINOV, A. Understanding and communicating sustainability: global versus regional perspectives. **Environment, Development and Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 487-501, 2008.
- WACKERNAGEL, M.; HANSCOM, L.; LIN, D. Making the sustainable development goals consistent with sustainability. **Frontiers in Energy Research**, v. 5, p. 18, 2017.
- WACKERNAGEL, M.; LEWAN, L.; HANSSON, C. B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: applications in Sweden and subregions. **Ambio**, p. 604-612, 1999.
- WACKERNEGEL, M.; REES, W. Our Ecological Footprint. Gabriola Island, BC. **New Society**, 1995.
- WALTER, C.; STÜTZEL, H. A new method for assessing the sustainability of land-use systems (I): Identifying the relevant issues. **Ecological Economics**, v. 68, n. 5, p. 1275-1287, 2009.
- WANG, N.; KOSINSKI, M.; STILLWELL, D. J.; RUST, J. Can well-being be measured using Facebook status updates? Validation of Facebook's Gross National Happiness Index. **Social Indicators Research**, v. 115, n. 1, p. 483-491, 2014.
- WANG, X.; LIU, G.; COSCIEME, L.; GIANNETTI, B. F.; HAO, Y.; ZHANG, Y.; BROWN, M. T. Study on the emergy-based thermodynamic geography of the Jing-Jin-Ji region: Combined multivariate statistical data with DMSP-OLS nighttime lights data. **Ecological Modelling**, v. 397, p. 1-15, 2019.
- WANG, Y.; LIU, S.; WANG, W. Fractal dimension analysis and control of Julia set generated by fractional Lotka–Volterra models. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, v. 72, p. 417-431, 2019.
- WCED. Special Working Session. World commission on environment and development. **Our common future**, v. 17, n. 1, p. 1-91, 1987.
- WEIDEMA, B. P.; THRANE, M.; CHRISTENSEN, P.; SCHMIDT, J.; LØKKE, S. Carbon footprint: a catalyst for life cycle assessment?. **Journal of industrial Ecology**, v. 12, n. 1, p. 3-6, 2008.

WIEDMANN, T.; BARRETT, J. A review of the ecological footprint indicator—perceptions and methods. **Sustainability**, v. 2, n. 6, p. 1645-1693, 2010.

WU, J. J. A landscape approach for sustainability science. In: **Sustainability Science**. Springer, New York, NY, p. 59-77, 2012.

WU, J.; WU, T. Sustainability indicators and indices. In: MADU, C. N.; KUEI, C. **Handbook of Sustainable Management**. London: Imperial College Press, 2011.

XAVIER, G. L. Matopiba: a ocupação da nova fronteira agrícola nos quadros do padrão exportador de especialização produtiva. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 39, 2019.


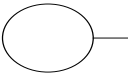
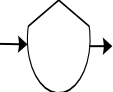
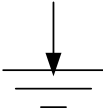
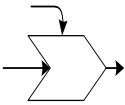
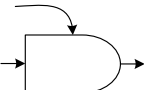
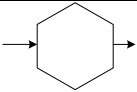

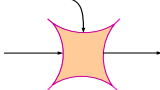

XIAO, H.; MA, Z.; MI, Z.; KELSEY, J.; ZHENG, J.; YIN, W.; YAN, M. Spatio-temporal simulation of energy consumption in China's provinces based on satellite night-time light data. **Applied Energy**, v. 231, p. 1070-1078, 2018.

YANG, W.; MCKINNON, M. C.; TURNER, W. R. Quantifying human well-being for sustainability research and policy. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 1, n. 4, p. 1-13, 2015.

ZHOU, X.; IMURA, H. How does consumer behavior influence regional ecological footprints? An empirical analysis for Chinese regions based on the multi-region input–output model. **Ecological Economics**, v. 71, p. 171-179, 2011.

ANEXOS

Anexo A: Símbolos utilizados para elaborar diagrama do sistema

Símbolo	Significado
	Fluxo de Energia: um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à qualidade da fonte que produz.
	Fonte: Fonte de energia externa
	Depósito: uma reserva energética dentro do sistema, que guarda uma qualidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída
	Sumidouro de energia: Dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual deixa o sistema como energia de baixa intensidade (2ª Lei da Termodinâmica) (1996).
	Interação: intersecção de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.
	Produtor: Unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) em energia com qualidade superior.
	Consumidor: Unidade que transforma a qualidade da energia, armazena e retroalimenta energia à etapa anterior (sistema auto catalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	Transação: Uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada).
	Interruptores: Dispositivo que um processo que estava inativo.
	Caixa: Símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior, representando assim, um subsistema.

Fonte: Adaptado de Odum (1996).

APÊNDICES

Apêndice A – Abordagem alternativa na escolha de pesos para indicadores, setores e / ou punições a serem usados no ASUPRO

Essa abordagem alternativa é baseada tanto na escala de julgamento proposta por Saaty (2001) ao lidar com ferramentas multicritério, quanto na analogia (Tabela A.1) entre as categorias do Eco-Indicador 99 (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2000) com o capitais econômico, social e ambiental do modelo conceitual de sustentabilidade proposto por Oliveira *et al.* (2016).

Tabela 27 – Porcentagem por categoria e critério

Perspectiva cultural do analista		Categorias		
		Saúde humana	Qualidade do ecossistema	Reservas
Igualitário	As reservas não podem ser controladas, mas os desejos podem (substituindo reservas por alternativas).	30%	50%	20%
Hierárquico	Desejos ou necessidades não podem ser controlados, mas as reservas podem.	40%	40%	20%
Individualista	O esgotamento dos combustíveis fósseis não é percebido como um problema real, mas a diminuição dos recursos minerais sim.	55%	25%	20%

Fonte: Oliveira *et al.* (2016).

Com base nas porcentagens da Tabela 27, os pesos sugeridos para indicadores, setores e / ou punições a serem usados dentro do SUAPRO são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Pesos sugeridos para serem usados no ASUPRO

Perspectiva cultural do analista	Pesos		
	Setor social	Setor ambiental	Setor econômico
Igualitário	2,7 (= 9 * 30%)	4,5 (= 9 * 50%)	1,8 (= 9 * 20%)
Hierárquico	3,6 (= 9 * 40%)	3,6 (= 9 * 40%)	1,8 (= 9 * 20%)
Individualista	4,9 (= 9 * 55%)	2,3 (= 9 * 25%)	1,8 (= 9 * 20%)

Fonte: Agostinho *et al.* (2019).

Tabela 31 – Setor 3 - Indicadores econômicos

INDICADORES ECONÔMICOS, Empresa (Setor 3)										
Sistemas	K31 - PIBcap (R\$)	Nij (K31)	Pij (K31)	ISM (K31)	K32 - GINI	Nij (K32)	Pij (K32)	ISM (K32)	ISMES SETOR 3	
MATOPIBA 1990	R\$908.00	1.38E+04	0.00E+00	0.94	0.51	0.00	0.11	0.28	1.21	
MATOPIBA 2000	R\$2,220.24	1.25E+04	0.00E+00	0.85	0.58	0.00	0.18	0.45	1.30	
MATOPIBA 2010	R\$7,954.00	6.73E+03	0.00E+00	0.46	0.55	0.00	0.15	0.38	0.83	
MATOPIBA 2018	R\$10,538.00	4.14E+03	0.00E+00	0.28	0.59	0.00	0.19	0.47	0.75	
Menor X(i)	R\$908.00				0.51					
Maior X(i)	R\$10,538.00				0.59					
	R\$14,681.16	1.47E+04	1.47E+04		0.40	0.40	0.40			
	0.00				0.00					
	14681.16				0.40					
Peso da aspiração da meta		1	1.8			1.8	1			
Peso da aspiração da meta		1	1.8			1.8	1			
Peso da aspiração da meta		1	1.8			1.8	1			
Peso da aspiração da meta		1	1.8			1.8	1			
	Maximizar				Minimizar					

Tabela 32 – Setor 4 - Indicadores sociais

INDICADORES SOCIAIS, Provedor (Setor 4)										
Sistemas	K41 - Trabalho (% Empregos)	Nij (K41)	Pij (K41)	ISM (K41)	K42 - Renda média/cap	Nij (K42)	Pij (K42)	ISM (K42)	ISMES SETOR 4	
MATOPIBA 1990	21.59	40.64	0.00	0.65	109.42	355.74	0.00	0.76	1.418	
MATOPIBA 2000	33.51	28.72	0.00	0.46	155.92	309.24	0.00	0.66	1.126	
MATOPIBA 2010	45.43	16.80	0.00	0.27	280.17	184.99	0.00	0.40	0.668	
MATOPIBA 2018	57.35	4.88	0.00	0.08	339.98	125.18	0.00	0.27	0.348	
Menor X(i)	21.59				109.42					
Maior X(i)	57.35				339.98					
Meta selecionada	62.23	62.23	62.23		465.16	465.16	465.16			
	0.00				0.00					
	62.23				465.16					
Peso da aspiração da meta		1	4.9			1	4.9			
Peso da aspiração da meta		1	4.9			1	4.9			
Peso da aspiração da meta		1	4.9			1	4.9			
Peso da aspiração da meta		1	4.9			1	4.9			
Ação desejada	Maximizar				Maximizar					

Tabela 33 – Setor 5 - Indicadores sociais

INDICADORES SOCIAIS, Consumidor (Setor 5)											
Sistemas	K51 - IDHM	Nij (K51)	Pij (K51)	ISM (K51)	K52 - CT	Nij (K52)	Pij (K52)	ISM (K52)	ISMES SETOR 5	WSI	
MATOPIBA 1990	0.28	0.52	0.00	0.64	45.00	95.17	0.00	0.14	0.783	4.45	
MATOPIBA 2000	0.42	0.38	0.00	0.48	18.00	122.17	0.00	0.18	0.657	3.86	
MATOPIBA 2010	0.60	0.20	0.00	0.25	200.00	0.00	59.83	0.43	0.675	3.15	
MATOPIBA 2018	0.73	0.07	0.00	0.09	272.00	0.00	131.83	0.94	1.029	4.03	
Menor X(i)	0.28				18.00						
Maior X(i)	0.73				272.00						
	0.80	0.80	0.80		140.17	140.17	140.17				
Meta selecionada	0.00				0.00						
	0.80				140.17						
Peso da aspiração da meta		1	4.9			4.9	1				
Peso da aspiração da meta		1	4.9			4.9	1				
Peso da aspiração da meta		1	4.9			4.9	1				
Peso da aspiração da meta		1	4.9			4.9	1				
Ação desejada	Maximizar			minimizar							

Apêndice C – Memorial de cálculo eMergia

Valores do memorial de cálculos referem-se ao ano de 2018, o mesmo procedimento se aplica ao demais anos avaliados (2010, 2000 e 1990), para isso basta substituir nas fórmulas os valores dos fluxos que se encontram no Apêndice D, na Tabela 35.

Tabela 34 – Memorial de cálculo eMergia

ordem	Recursos Naturais Renováveis	Fluxo	und	Referência
1	Energia Solar = R1	3.43E+21	J/ano	
	At=Área terrestre	7.32E+11	m ²	
	In = Insolação média	6.69E+09	J/m ² /ano	Atlas Solarimétrico
	Re=Reflectividade (Albedo)	3.00E-01	%	
	Energia solar (J/ano) = (At) * In * (1 - Re)	3.43E+21	J/ha.ano	
	UEV	1.00E+00	sej/J	Por definição
2	Energia Química da Chuva=EQC	4.02E+18	J/ano	
	At=Área terrestre	7.32E+11	m ²	
	Pluviosidade (chuva)	1.39E+00	m ³ /m ² .ano	
		1.11E+00		
	Da= Densidade da água	1.00E+03	kg/m ³	
	EQC (J) = (área)(Taxa de evaporação)(Densidade da água)(Número de Gibbs)			
	(____m ²) * (____m) * (1000kg/m ³) * (4.94E3J/kg)	4.02E+18	J/há.ano	
	UEV	2.36E+04	sej/J	Lee e Brown (2019)
3	Energia Potencial da Chuva	7.28E+17	J/ano	
	At=Área terrestre	7.32E+11	m ²	
	Ct=Pluviosidade	1.39E+00	m ³ /m ² .ano	
	El= Altitude média	3.65E+02	m	
	Te = Taxa de escoamento	2.00E-01	%	
	Densidade da água	1.00E+03	kg/m ³	
	Energia(J) = (área)(precipitação)(% de escoamento)(Densidade água)(Altitude Média)(gravidade)			
	(____m ²)*(____m)*(____%)*(1000kg/m ³)*(____m)*(9.8m/s ²)	7.28E+20	J/ano	
	UEV	2.36E+04	sej/J	Lee e Brown (2019)
4	Energia do Vento	2.99E+19	J/ano	
	At=Área terrestre	7.32E+11	m ²	
	Densidade do Ar	1.30E+00	kg/m ³	
	Velocidade Média Anual	1.72E+00	mps	
	Vento geotrópico (60% da média anual)	1.00E+01		
	Coefficiente de arrasto	1.00E-03		Adimensional

Tempo (s/ano) 3.14E+07 sec/ano
 Energia Vento (J) = (area)(densidade do ar)(drag
 coefficient)(velocidade^3)
 (____m^2)(1.3 kg/m^3)(1.00 E-3)(____mps)(3.14
 E7s/ano) 2.99E+19 J/ano

UEV

5.20E+02 sej/J

Lee e Brown
(2019)**5 Calor da Terra****1.37E+18 J/ano**Área Terrestre 7.32E+11 m²Fluxo de calor 1.87E+06 J/m²

Energia (J) = (área)(fluxo de calor)

Energia (J) = (____m²)(____J/m²) 1.37E+18 J/ano

UEV

4.90E+03 sej/J

Sahel Projet in
Demétrio (2011)Lee e Brown
(2019)

TRANSFORMAÇÕES INTERNAS

6 Perda do solo**7.31E+16 J/ano**

Área Plantada 5.61E+06 ha/ano

Perda do solo 1.08E+08 t/ano

Matéria orgânica contida no solo (1.0g MO = 5.4kcal)

Energia (J) = (____ ton/ano)*(% organic)*(5.4 Kcal/g)*(4186
J/kcal)*(1E6g/ton) 3.00E+00 %

7.31E+16

UEV

1.24E+05 sej/J

Brandt-Williams
(2002)**UEV****9.40E+04 sej/J****Base line
12.00E+24**

* Valores de eMergia por unidade UEV, utilizados neste estudo são baseados na linha de base global de eMergia 12.0 E24 sej ano (BROWN *et al.*, 2016).

Apêndice D – Fluxos dos recursos

Tabela 35 – Fluxos de recursos

Nota	Item	Fluxos por Ano				Unidade	Fonte
		1990	2000	2010	2018		
#	FLUXOS RENOVÁVEIS						
1	Energia solar	6.69E+09	6.69E+09	6.69E+09	6.69E+09	J/m ² .ano	Atlas Solarimétrico
2	Pluviosidade	1.39E+00	1.39E+00	1.39E+00	1.39E+00	m ³ /m ² .ano	INMET
3	Energia do Vento (velocidade média)	1.72E+00	1.72E+00	1.72E+00	1.72E+00	m/s	INMET
4	Calor da Terra	1.87E+06	1.87E+06	1.87E+06	1.87E+06	J/m ²	Sahel Projet in Demétrio, 2011
#	FLUXOS NÃO RENOVÁVEIS (N+F)						
5	PIXEL LUZ - SOL	2.15E+15	2.16E+15	2.16E+15	2.17E+15	j/ha/ano	Calculado
6	Perda do solo	4.03E+07	4.98E+07	8.00E+07	1.08E+08	t/ano	EMBRAPA
7	Perda de solo + Floresta	4.75E+15	5.92E+13	9.41E+15	1.27E+14	ha/ano	EMBRAPA/MAPBIOMAS
8	Fertilizantes (valores médios para: soja, milho, algodão, arroz)	5.45E+21	7.10E+21	1.27E+22	1.69E+22	sej/ano	Fólio 4, Tabela 26; Shah <i>et al.</i> (2019); Cavalett e Ortega (2010)
9	Diesel (valores médios para: soja, milho, algodão, arroz)	4.45E+20	8.24E+20	1.68E+21	2.46E+21	sej/ano	Fólio 4, Tabela 26; Shah <i>et al.</i> (2019); Cavalett e Ortega (2010)
10	Herbícidas e Pesticidas (valores médios para: soja, milho, algodão, arroz)	4.15E+19	9.33E+19	1.87E+20	3.10E+20	sej/ano	Fólio 4, Tabela 26; Shah <i>et al.</i> (2019); Cavalett e Ortega (2010)
#	OUTROS FLUXOS						
11	Altitude média	3.65E+02	3.65E+02	3.65E+02	3.65E+02	m	SRTM/INPE
12	Albedo	0.3	0.3	0.3	0.3	%	
13	Precipitação	1.39E+00	1.72E+00	1.72E+00	1.72E+00	m ³ /m ² .ano	INMET
14	Velocida média anual do vento	1.70E+00	1.70E+00	1.70E+00	1.70E+00	m/s	INMET
15	Taxa de Evaporação	1.11E+00	1.11E+00	1.11E+00	1.11E+00	m/ano	INMET
16	Taxa de Taxa de Escoamento	0.2	0.2	0.2	0.2	%	
17	Gravidade	9.80	9.80	9.80	9.80	m/s	
18	Energia de Gibbs	4.94E+03	4.94E+03	4.94E+03	4.94E+03	J/kg	
19	Densidade do ar	1.30E+00	1.30E+00	1.30E+00	1.30E+00	kg/m ³	

20	Coeficiente de arrasto	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	ud	Adimensional
21	Área Total - MATOPIBA (Decreto de Criação)	7.32E+07	7.32E+07	7.32E+07	7.32E+07	ha	GITE/EMBRAPA

Apêndice E – Transformidade

Tabela 36 – Transformidade utilizada

#	Item	Transformidade (seJ/J)	Referência
1	Solar	1	Odum (1996)
2	Geotérmica	4900	Lee e Brown (2019)
3	Vento	520	Lee e Brown (2019)
4	Potencial Químico da Chuva	23600	Lee e Brown (2019)
5	Energia Potencial da chuva	23600	Lee e Brown (2019)
6	Escoamento geopotencial	3220	Lee e Brown (2019)
7	Perda de Solo ^a	124000	Brandt-Williams, 2002

a. Atualizado pela Base Line 12E+24 sej/ano

Apêndice F – Cálculo das luzes noturnas

Figura 26 – Luzes noturnas - DMSP do MATOPIBA (1992 - 2000)

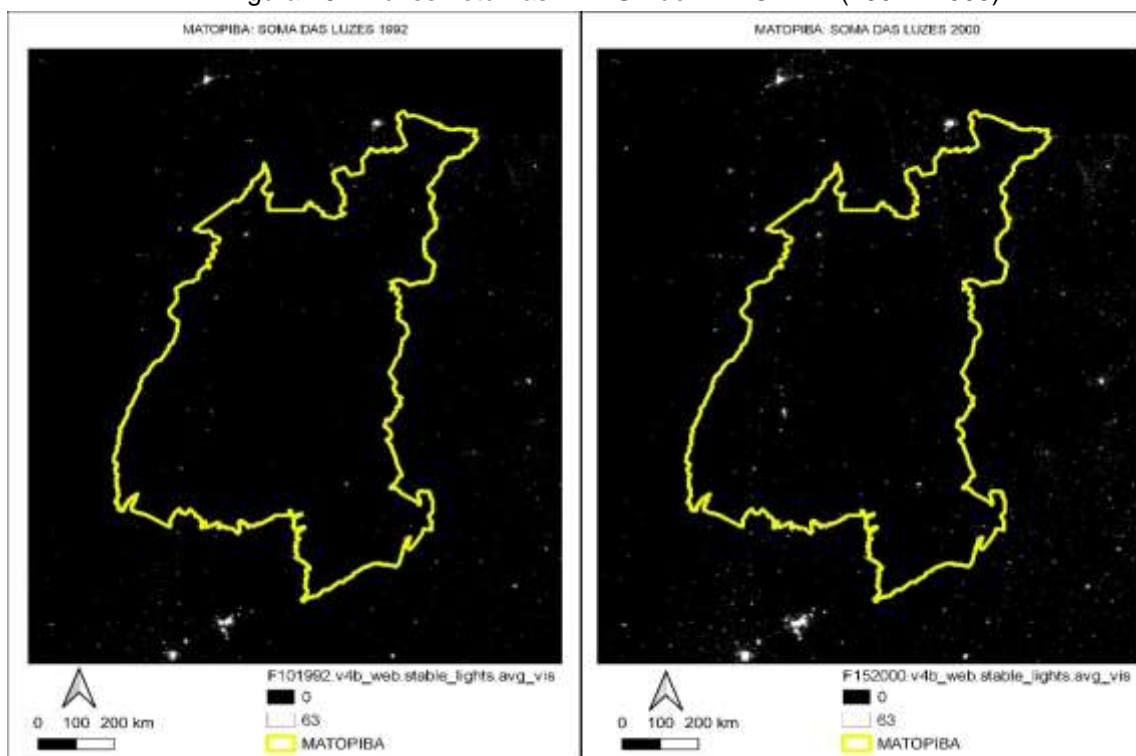
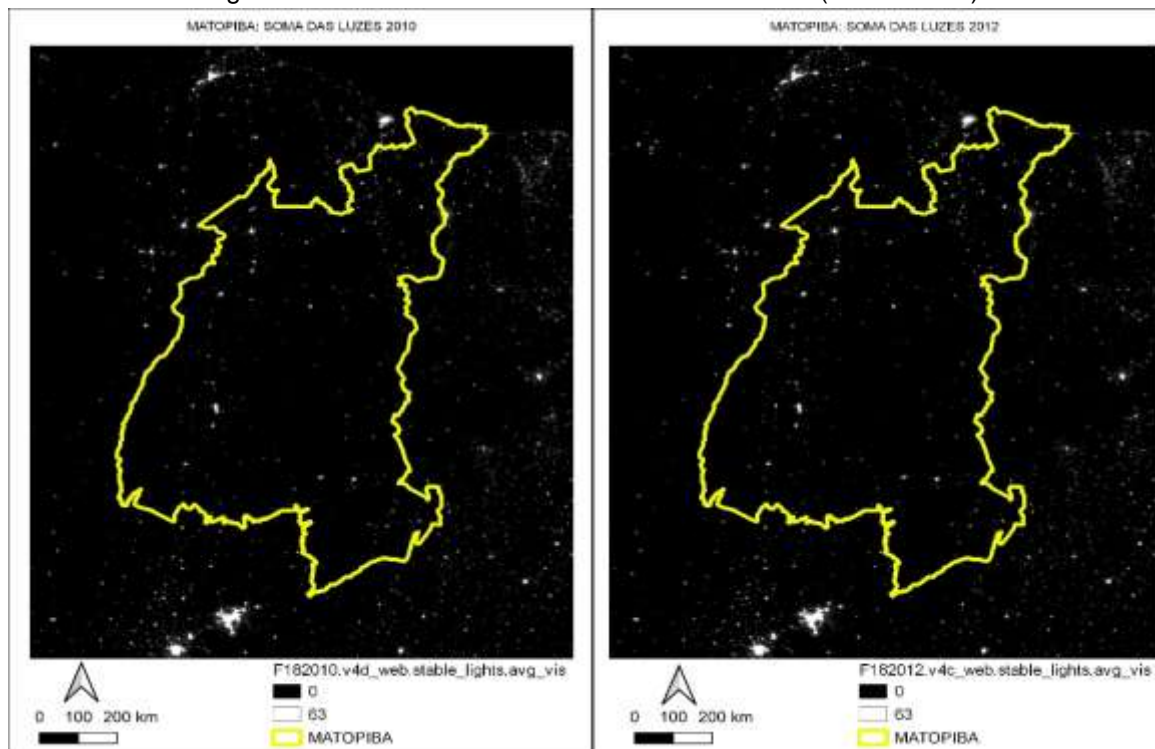
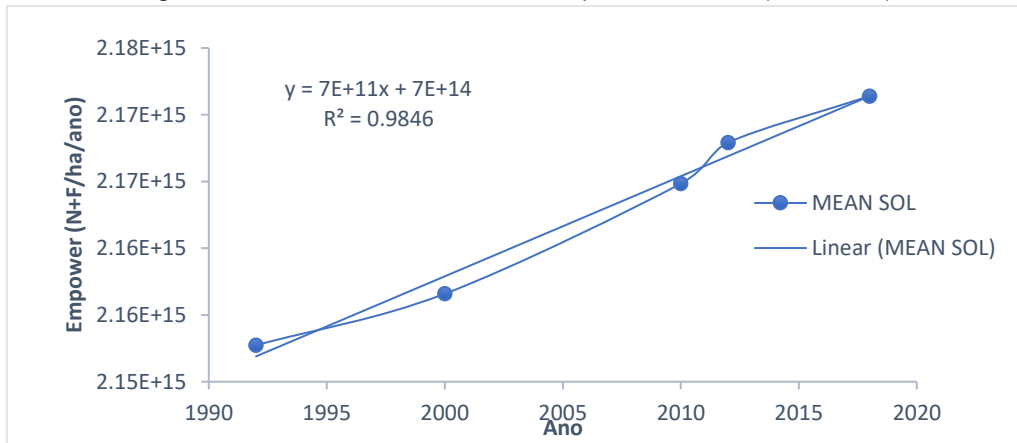


Figura 27 – Luzes noturnas - DMSP do MATOPIBA (2010 - 2012)



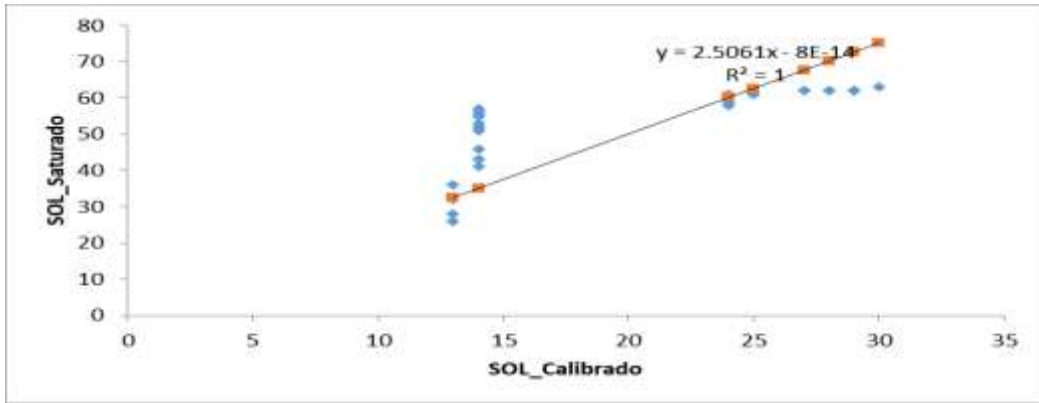
Fonte: Elaboração própria.

Figura 28 – Valor estimado das luzes para ano 2018 (tendência)



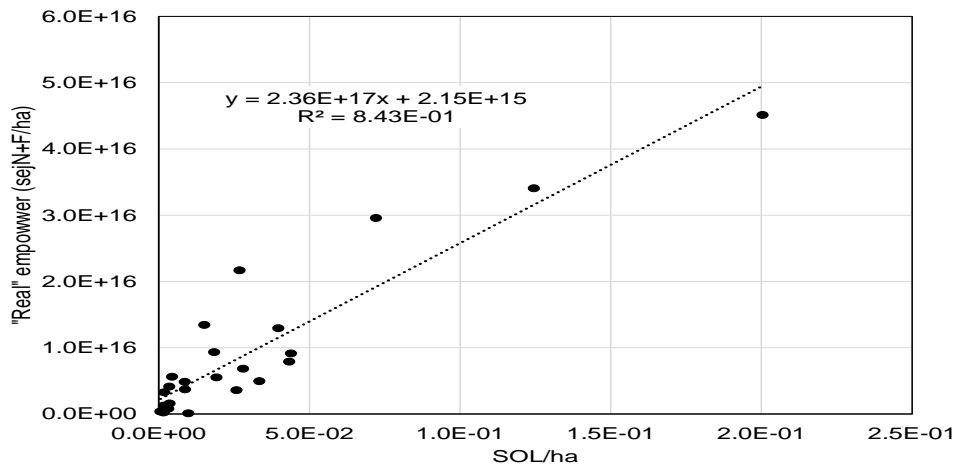
Fonte: Elaboração própria.

Figura 29 – Coeficiente de calibração (SOL)



Fonte: Elaboração própria.

Figura 30 – Correção das luzes (SOL/ha) e Empower density (sejN+F/ha)



Fonte: Correlation graph between sum of lights (SOL/ha) and “Real” non-renewable emery density (sej_{N+F}/ha). Agostinho *et al.* (2021).

Apêndice G – Dinâmica do uso e ocupação do solo no MATOPIBA

Tabela 37 – Dinâmica do uso e ocupação do solo no MATOPIBA (área em ha)

Classe	1985	1990	2000	2010	2018
1. Floresta	5.36E+07	5.27E+07	4.96E+07	4.63E+07	4.27E+07
2. Formação Natural não Florestal	1.13E+07	1.14E+07	1.12E+07	1.04E+07	9.30E+06
3. Agropecuária	7.15E+06	8.16E+06	1.16E+07	1.55E+07	2.00E+07
4. Área não Vegetada	5.23E+05	3.91E+05	4.04E+05	4.03E+05	5.96E+05
5. Corpo D'água	5.55E+05	4.63E+05	4.22E+05	5.07E+05	5.66E+05
6. Não Observado	2.92E+04	2.92E+04	2.92E+04	2.92E+04	2.92E+04
Total	7.32E+07	7.32E+07	7.32E+07	7.32E+07	7.32E+07

Fonte: MapBiomass (2019).

Apêndice H – Perda de vegetação natural e perda de solo, emissões e biodiversidade

Tabela 38 – Perda da vegetação natural

	1990	2000	2010	2018
Perda de vegetação natural (ha)	1.88E+05	3.12E+05	3.31E+05	4.48E+05
<i>Empower density</i> da vegetação natural* (sej/ha ano)	4.50E+14			
Perda de vegetação natural (sej/ano)	8.47E+19	1.40E+20	1.49E+20	2.01E+20

* Dry Savannah (Venezuela), Folio#3 pág.51 Tabela 13, https://cep.ees.ufl.edu/emergy/documents/folios/Folio_03.pdf

Tabela 39 – Perda de solo + floresta

	1990	2000	2010	2018
Perda de solo (sej/ano)	2.57E+21	3.18E+21	5.09E+21	6.87E+21
Perda do solo (energia)	3.51E+13	4.34E+13	6.96E+13	9.39E+13
Perda solo+floresta (sej/ha/ano)	3.63E+13	4.53E+13	7.17E+13	9.67E+13

Tabela 40 – Total das emissões do MATOPIBA para energia, processos industriais, agropecuária e resíduos, para os anos (1990, 2000, 2010 e 2018)

	2018	2010	2000	1990
MATOPIBA	tCO ₂ e/hab	tCO ₂ e/hab	tCO ₂ e/hab	tCO ₂ e/hab
Total geral	5,148.94	4,538.76	3,746.32	2,974.55

Tabela 41 – Perda da biodiversidade

	1990	2000	2010	2018
Perda de Biodiversidade (espécie/ano)	3.16E+07	5.24E+07	5.26E+07	7.52E+07
Biodiversidade espécie árvore/ha	168			

*Valor médio referente a biodiversidade em espécie por hectare do cerrado do MATOPIBA (Inventário do Instituto Florestal Brasileiro – IFB, 2020)

Apêndice I – Dados perda do solo na agricultura – EMBRAPA

Tabela 42 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 1990

Tipo de Exploração	Área [ha]	Perda Solo [t/ano]	N [t/ano]	P [t/ano]	K [t/ano]	Ca+Mg [t/ano]
Algodão	16,400	406,720	394	11	41	386
Arroz	808,194	20,285,669	19,626	536	2,040	19,245
Feijão	136,817	5,212,728	5,043	138	524	4,945
Milho	519,736	6,236,832	6,034	165	627	5,917
Soja	406,985	8,180,399	7,915	216	823	7,761
Total	1,888,132	40,322,348	39,012	1,065	4,056	38,255

Tabela 43 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 2000

Tipo de Exploração	Área [ha]	Perda Solo [t/ano]	N [t/ano]	P [t/ano]	K [t/ano]	Ca+Mg [t/ano]
Algodão	53,348	1,323,030	1,280	35	133	1,255
Arroz	578,480	14,519,848	14,048	384	1,460	13,775
Feijão	135,146	5,149,063	4,982	136	518	4,885
Milho	518,270	6,219,240	6,017	164	626	5,900
Soja	1,124,061	22,593,626	21,859	597	2,272	21,435
Total	2,409,307	49,804,807	4,818,615	131,554	500,937	4,725,082

Tabela 44 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 2010

Tipo de Exploração	Área [ha]	Perda Solo [t/ano]	N [t/ano]	P [t/ano]	K [t/ano]	Ca+Mg [t/ano]
Algodão	328,615	8,149,646	7,885	215	820	7,732
Arroz	537,270	13,485,488	13,047	356	1,356	12,794
Feijão	180,696	6,884,506	6,661	182	692	6,531
Milho	644,557	7,734,688	7,483	204	778	7,338
Soja	2,175,628	43,730,124	42,309	1,155	4,398	41,488
Total	3,866,766	79,984,453	77,385	2,113	8,045	75,883

Tabela 45 – Dados de perda de solo no MATOPIBA ano 2018

Tipo de Exploração	Área [ha]	Perda Solo [t/ano]	N [t/ano]	P [t/ano]	K [t/ano]	Ca+Mg [t/ano]
Algodão	31,019	769	1	0	0	1
Arroz	232,532	5,836,553	5,647	154	587	5,537
Feijão	174,985	6,666,929	6,450	176	671	6,325
Milho	1,067,724	12,812,688	12,396	338	1,289	12,156
Soja	4,103,325	82,476,833	79,796	2,179	8,296	78,247
Total	5,609,585	107,793,771	104,290	2,847	10,842	102,266

Fonte: Embrapa. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/analise_econ/index.php3

Apêndice J – Áreas cultivadas com grãos no MATOPIBA

Tabela 46 – Área de cultivo de grãos no MATOPIBA (1990, 2000, 2010 e 2018)

1990													
UF	Algodão_herbáceo	%	Arroz	%	Feijão	%	Milho	%	Soja	%	Sorgo	%	Área plantada (ha)
TO	500	0.15%	209560.00	63.76%	11980.00	3.65%	76500.00	23.28%	30120.00	9.16%	0.00	0.00%	328,660
MA	120	0.01%	512712.00	52.16%	79643.00	8.10%	375110.00	38.16%	15305.00	1.56%	0.00	0.00%	982890.00
PI	5	0.01%	55372.00	63.08%	12251.00	13.96%	18589.00	21.18%	1560.00	1.78%	0.00	0.00%	87777.00
BA	15,775	3.23%	30550.00	6.25%	32943.00	6.74%	49537.00	10.13%	360000.00	73.65%	0.00	0.00%	488805.00
TOTAL	16,400	0.87%	808194.00	42.80%	136817.00	7.25%	519736.00	27.53%	406985.00	21.55%	0.00	0.00%	1.89E+06
2000													
TO	241.90	0.08%	144234.78	47.70%	5654.49	1.87%	61715.55	20.41%	89352.99	29.55%	0.00	0.00%	302379.00
MA	2943.25	0.36%	328172.60	40.14%	57229.90	7.00%	219027.00	26.79%	210115.49	25.70%	0.00	0.00%	817570.00
PI	594.32	0.33%	66617.88	36.99%	17469.41	9.70%	31138.77	17.29%	64276.62	35.69%	0.00	0.00%	180097.00
BA	49568.93	4.46%	39455.09	3.55%	54792.56	4.93%	206389.02	18.57%	760316.27	68.41%	0.00	0.00%	1111411.00
TOTAL	53348.41	2.21%	578480.35	24.01%	135146.36	5.61%	518270.35	21.51%	1124061.37	46.65%	0.00	0.00%	2.41E+06
2010													
TO	6778.69	1.07%	132786.21	20.96%	25974.40	4.10%	81470.93	12.86%	357116.35	56.37%	0.00	0.00%	633522.00
MA	14228.90	1.24%	329789.20	28.74%	68620.02	5.98%	255775.97	22.29%	479077.91	41.75%	0.00	0.00%	1147492.00
PI	11675.62	2.34%	52640.07	10.55%	27342.90	5.48%	67010.06	13.43%	334451.55	67.03%	0.00	0.00%	498958.00
BA	295931.56	17.98%	22054.97	1.34%	58758.38	3.57%	240300.38	14.60%	1004982.27	61.06%	0.00	0.00%	1645893.00
TOTAL	328614.76	8.50%	537270.45	13.89%	180695.70	4.67%	644557.33	16.67%	2175628.07	56.26%	0.00	0.00%	3.87E+06
2018													
TO	2000.00	0.16%	112251.00	8.85%	18563.00	1.46%	217873.00	17.18%	917,608.00	72.35%	0.00	0.00%	1268295.00
MA	22342.00	1.56%	102697.00	7.19%	56060.00	3.92%	362845.00	25.39%	885356.00	61.94%	0.00	0.00%	1429300.00
PI	6409.00	0.66%	17316.00	1.78%	33233.00	3.41%	220057.00	22.57%	698103.00	71.59%	0.00	0.00%	975118.00
BA	268.00	0.01%	268.00	0.01%	67129.00	3.47%	266949.00	13.78%	1602258.00	82.72%	0.00	0.00%	1936872.00
TOTAL	31,019.00	0.55%	232,532.00	4.15%	174,985.00	3.12%	1,067,724.00	19.03%	4,103,325.00	73.15%	0.00	0.00%	5.61E+06

Apêndice K – Fertilizantes, Diesel, Herbicidas/pesticida

Tabela 47 – Valores médios em sej/ha/ano para Fertilizantes, Diesel, Herbicidas e Pesticidas (1990)

Valores médios em sej/ha ano			Área em ha 1990		
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicidas/Pesticida	Commodity	ha
Soja	2.15E+15	4.74E+14	6.95E+13	Soja	4.07E+05
Milho	7.05E+15	4.51E+14	2.07E+13	Milho	5.20E+05
Algodão	9.10E+15	1.08E+15	6.58E+13	Algodão	1.64E+04
Arroz	9.49E+14	4.38E+11	1.69E+12	Arroz	8.08E+05
Valores médios em sej/ano					
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicidas/Pesticida		
Soja	8.75E+20	1.93E+20	2.83E+19		
Milho	3.66E+21	2.34E+20	1.08E+19		
Algodão	1.49E+20	1.77E+19	1.08E+18		
Arroz	7.67E+20	3.54E+17	1.37E+18		
Total	5.45E+21	4.45E+20	4.15E+19		

Fonte: Fólio 4, Tabela 26; Shah *et al.* (2019); Cavalett e Ortega (2010).

Tabela 48 – Valores médios em sej/ha/ano para Fertilizantes, Diesel, Herbicidas e Pesticidas (2000)

Valores médios em sej/ha ano			Área em ha 2000		
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicida/Pesticida	Commodity	ha
Soja	2.15E+15	4.74E+14	6.95E+13	Soja	1.12E+06
Milho	7.05E+15	4.51E+14	2.07E+13	Milho	5.18E+05
Algodão	9.10E+15	1.08E+15	6.58E+13	Algodão	5.33E+04
Arroz	9.49E+14	4.38E+11	1.69E+12	Arroz	5.79E+05
Valores médios em sej/ano					
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicida/Pesticida		
Soja	2.42E+21	5.33E+20	7.81E+19		
Milho	3.65E+21	2.34E+20	1.07E+19		
Algodão	4.86E+20	5.76E+19	3.51E+18		
Arroz	5.49E+20	2.54E+17	9.78E+17		
Total	7.10E+21	8.24E+20	9.33E+19		

Fonte: Fólio 4, Tabela 26; Shah *et al.* (2019); Cavalett e Ortega (2010).

Tabela 49 – Valores médios em sej/ha/ano para Fertilizantes, Diesel, Herbicidas e Pesticidas (2010)

Valores médios em sej/ha ano				Área em ha 2010	
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicidas/Pesticidas	Commodity	ha
Soja	2.15E+15	4.74E+14	6.95E+13	Soja	2.18E+06
Milho	7.05E+15	4.51E+14	2.07E+13	Milho	6.45E+05
Algodão	9.10E+15	1.08E+15	6.58E+13	Algodão	3.29E+05
Arroz	9.49E+14	4.38E+11	1.69E+12	Arroz	5.37E+05
Valores médios em sej/ano					
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicidas/Pesticidas		
Soja	4.68E+21	1.03E+21	1.51E+20		
Milho	4.54E+21	2.91E+20	1.33E+19		
Algodão	2.99E+21	3.55E+20	2.16E+19		
Arroz	5.10E+20	2.35E+17	9.08E+17		
Total	1.27E+22	1.68E+21	1.87E+20		

Fonte: Fólio 4, Tabela 26; Shah *et al.* (2019); Cavalett e Ortega (2010).

Tabela 50 – Valores médios em sej/ha/ano para fertilizantes, diesel, herbicidas e pesticidas (2018)

Valores médios em sej/ha ano				Área em ha 2018	
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicidas/Pesticidas	Commodity	ha
Soja	2.15E+15	4.74E+14	6.95E+13	Soja	4.10E+06
Milho	7.05E+15	4.51E+14	2.07E+13	Milho	1.07E+06
Algodão	9.10E+15	1.08E+15	6.58E+13	Algodão	3.10E+04
Arroz	9.49E+14	4.38E+11	1.69E+12	Arroz	2.33E+05
Valores médios em sej/ano					
Commodity	Fertilizante	Diesel	Herbicidas/Pesticidas		
Soja	8.83E+21	1.94E+21	2.85E+20		
Milho	7.52E+21	4.82E+20	2.21E+19		
Algodão	2.82E+20	3.35E+19	2.04E+18		
Arroz	2.21E+20	1.02E+17	3.93E+17		
Total	1.69E+22	2.46E+21	3.10E+20		

Fonte: Fólio 4, Tabela 26; Shah *et al.* (2019); Cavalett e Ortega (2010).

Apêndice L – Critérios das metas estabelecidas para indicadores usados no ASUPRO

Tabela 51 – *Empower density* dos estados que formam o MATOPIBA

Emergia	sej/ha.ano
MA	2.38E+16
TO	3.47E+15
PI	4.18E+15
BA	6.98E+15
média	9.61E+15

Fonte: *Empower density* dos estados do MATOPIBA (Ref ano de 2007) in Demétrio (2011) Tabelas 5 e 6. Págs. 73 e 84.

Ps.: Critério para Emissões de CO2 e eMergia perdida com a perda de solo + floresta e biodiversidade: utilizou-se valor mínimo mais o desvio padrão

Tabela 52 – IDHM dos estados que formam o MATOPIBA (2010)

IDHM	2010
MA	0.639
TO	0.699
PI	0.646
BA	0.660
média	0.661

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil – PNUD.

Ps.: Critério utilizado para o indicador Conflitos de Terras: valor mínimo, mais o desvio padrão.

Tabela 53 – Índice de GINI dos estados que formam o MATOPIBA (2010)

GINI	2010
MA	0.62
TO	0.60
PI	0.61
BA	0.62
média	0.61
Meta sugerido pela ONU	0.40

Para escolha da meta utilizou o critério sugerido pela ONU (0.4), nessa condição aceitável, a renda não estar totalmente distribuída, porém não estão concentradas nas mãos de poucas pessoas.

Tabela 54 – Renda média per capita dos estados que formam o MATOPIBA (2010)

Renda cap	2010
MA	360.34
TO	586.62
PI	416.93
BA	496.73
média	465.16

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil – PNUD.

Tabela 55 – Taxa do número de empregos nos estados que formam o MATOPIBA (2010)

% Empregos	2010
MA	58.80
TO	66.10
PI	59.40
BA	64.60
média	62.23

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil – PNUD.

Tabela 56 – Valor do PIB per capita dos estados que formam o MATOPIBA (2015)

PIB/cap	2015
MA	R\$ 11,366.23
PI	R\$ 12,218.51
TO	R\$ 19,024.00
BA	R\$ 16,115.89
Média	R\$ 14,681.16

Fonte: IBGE (2017).

Apêndice M – Fonte de dados

Tabela 57 – Fonte de dados

Setores	Indicador	Fonte de dados	Referência
			Odum (1996)
S1	EMergia	Inventário e dados da literatura	EMBRAPA
	Perda do solo + Floresta	Inventário e dados da literatura	SEEG
S2	CO ₂ eq GWP	Inventário (alocação de dados por municípios do MATOPIBA)	IFBRA/ICMBio
	Perda da Biodiversidade	Inventário e dados da literatura	IBGE/PNAD
S3	PIB/cap	Inventário dados estatísticos	PNUD/FJP/IPEA
	GINI	Mapa da desigualdade a nível municipal	IBGE/PNAD
S4	Empregos	Inventário dados estatísticos	IBGE/PNAD
	Renda/cap	Inventário dados estatísticos	PNUD/FJP/IPEA
S5	IDHM	Mapa da desigualdade a nível municipal	CNT
	Conflitos Territoriais	Inventário dados estatísticos	

Apêndice N – Indicadores normalizados do MATOPIBA

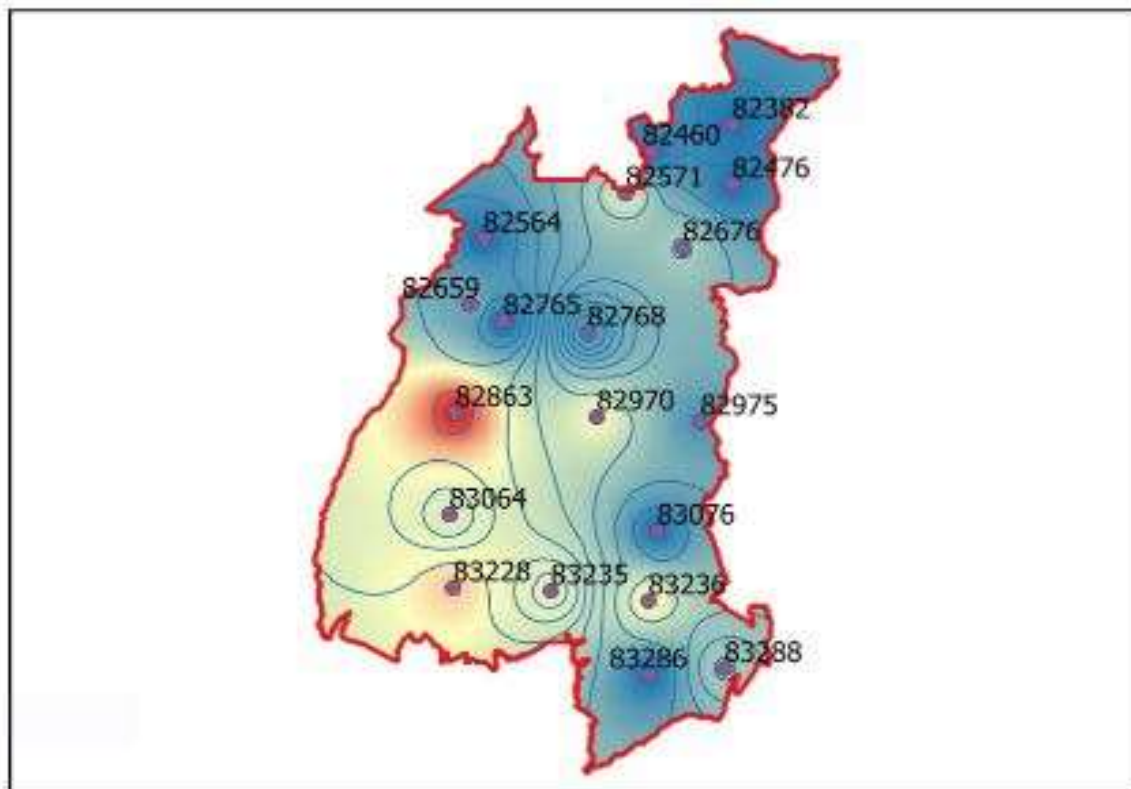
Tabela 58 – Indicadores normalizados (1990, 2000, 2010 e 2018)

Indicador	1990	2000	2010	2018
EMergia	0.00	0.19	0.59	1.00
Perda de solo	0.00	0.32	0.79	1.00
GWP	0.91	1.00	0.46	0.00
Perd. Biodivers	0.00	0.68	0.75	1.00
PIB/cap	1.00	0.86	0.27	0.00
GINI	0.00	0.94	0.58	1.00
Empregos	1.00	0.67	0.33	0.00
Renda/cap	1.00	0.80	0.26	0.00
IDHM	1.00	0.70	0.29	0.00
CT	0.64	0.00	0.97	1.00

normalização = $(x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x))$

Apêndice O – Dados Estação Meteorológicas

Figura 31 – Mapa das estações meteorológicas ativas no MATOPIBA



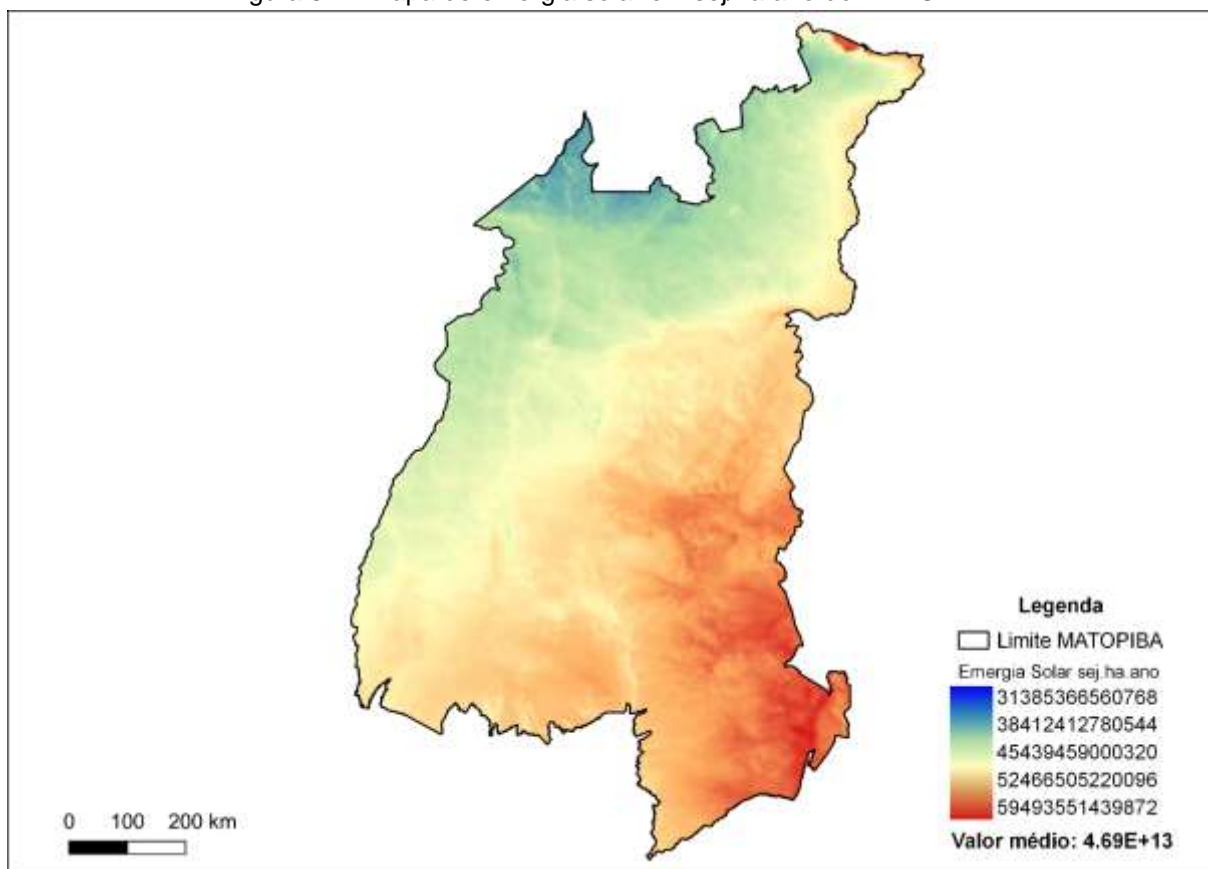
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 59 – Lista das estações metereológicas ativas no MATOPIBA

Código	Estacao_1981_2010	UF	Evapot_Poten_mm	Temp_med	Vento_ms	Precipit_mm
83236	BARREIRAS	BA	168.8	25.2	1.9	1003.4
83288	BOM JESUS DA LAPA	BA	194.6	26	1.3	797.5
83286	CORRENTINA Sta. R. DE CASSIA	BA	158.3	24.4	1.9	923.9
83076	(IBIPETUBA)	BA	166.9	25.4	1.9	976.4
82676	ALTO PARNAIBA	MA	176.4	26.1	1.6	1359.4
82476	BACABAL	MA	205.1	27.8	2	1807.6
82970	BALSAS	MA	180.7	26.7	1.5	1232.5
82768	BARRA DO CORDA	MA	171.3	26.5	1.8	1177.1
82460	CAROLINA	MA	183.5	27	1.6	1727.8
82382	CAXIAS	MA	218.6	27.6	2	1517.9
82571	CHAPADINHA	MA	185.4	26.9	2.2	1674.5
82564	COLINAS	MA	173.5	26.4	1.7	1315
82765	IMPERATRIZ	MA	194.2	27.3	1.7	1207.6
82975	BOM JESUS DO PIAUI	PI	228.9	27.7	1.1	1516.3
82870	CRISTIANO CASTRO	PI	192.5	26.9	1.9	925.9
82863	ARAGUAINA	TO	142.5	25.1	1.5	1819

83235	PALMAS	TO	190.4	26.7	2.2	1831.6
83228	PEDRO AFONSO	TO	170.7	26.3	2.5	1672.7
83033	PEIXE	TO	172.8	26.1	1.9	1508.4
82659	PORTO NACIONAL	TO	195.7	26.9	1.9	1622.7
83064	TAGUATINGA	TO	165.7	25.4	0	1611.5
Valor médio			182.69	26.40	1.72	1391.84

Figura 32 – Mapa de energia solar em sej/ha.ano do MATOPIBA

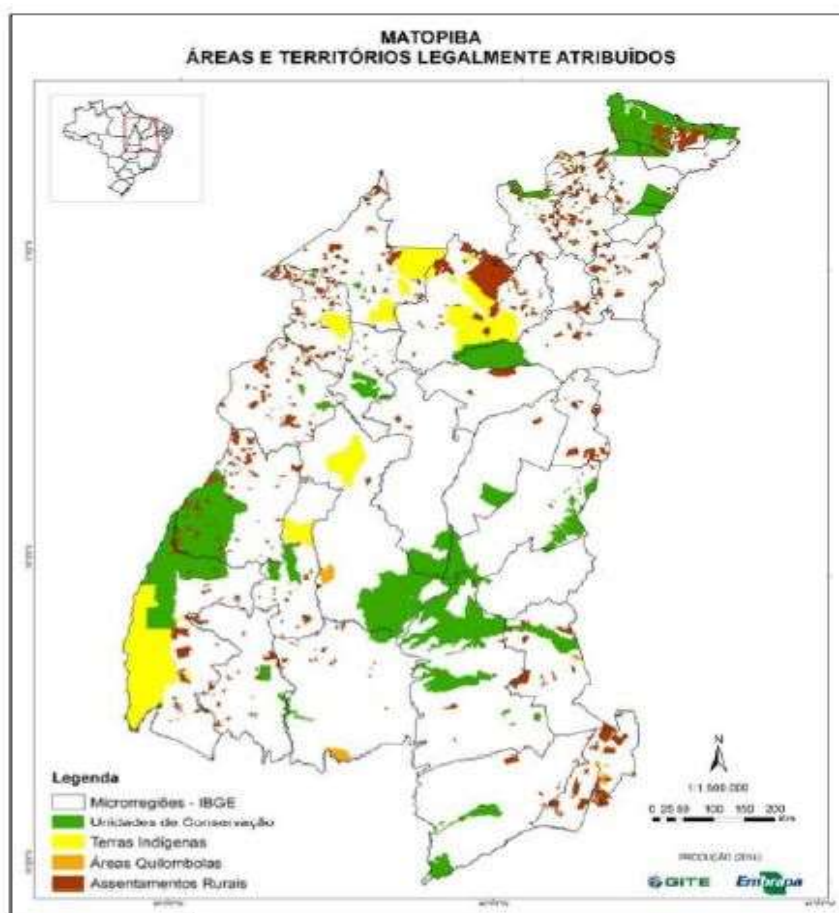


Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil. Elaboração própria.

Apêndice P – Caracterização do MATOPIBA

Segundo Fonseca e Miranda (2014), o MATOPIBA não é formado só da agricultura mecanizada. Nos últimos 20 anos, extensas áreas foram criadas e atribuídas (Figura 33), para unidades de conservação (UCs), terras indígenas (TI), áreas quilombolas (AQ), áreas de assentamento rural e de reforma agrária (ARs).

Figura 33 – Áreas e territórios legalmente atribuídos no MATOPIBA (2014)



Fonte: GITE/EMBRAPA - Fonseca e Miranda (2014).

No MATOPIBA existem 42 UCs, sendo 1 municipal (1,4 mil hectares), 22 estaduais (5,6 milhões hectares) e 19 federais (3,2 milhões de hectares), presentes em 25 das 31 microrregiões. As maiores áreas de UCs encontram-se nas microrregiões de Barreiras (BA), Miracema do Tocantins, Rio Formoso e Jalapão (TO), totalizando 51,9% das áreas de UCs. Já as áreas quilombolas compreendem 34 comunidades sobre 249.918 hectares, localizadas em 10 microrregiões. A maior parte (1/4) está localizada no Tocantins (48,8%) e Bahia (33,0%). A maior concentração de quilombos está no estado do Maranhão.

Quanto aos assentamentos rurais, existiam em 2014, 865 assentamentos com cerca de 100 mil famílias 3.706.699 hectares. Localizados por quase todo o MATOPIBA, (29 microrregiões). A distribuição por estados é de 398 assentamentos no Maranhão, 371 no Tocantins, 30 no Piauí e 61 na Bahia. De acordo com Fonseca e Miranda (2014), somando todas as áreas atribuídas a UCs, TIs, quilombos e ARs, descontadas as sobreposições existentes, as áreas legalmente destinadas, totalizam cerca de 15,7 milhões de hectares, ou 21,42% da área total do MATOPIBA.

• **Caracterização Agrária**

A concentração agrária é uma característica ocorrida do Brasil ao longo dos anos, e no MATOPIBA não é diferente. Para Pereira e Castro (2017), o MATOPIBA trata-se da fronteira agrícola atual, foco de grande interesse do capital agrícola e estrangeiro, fazendo com que o preço da terra suba e reverbere na forma de apropriação do espaço rural pelos seus ocupantes.

Por outro lado, a ocupação dessas áreas é responsável pelo crescimento da agricultura a taxas superiores à média nacional, a produção de grãos tem promovido mudanças no quadro socioeconômico dessa porção do território brasileiro desde os anos 1970 (PEREIRA, 2019). De acordo com Favareto *et al.* (2019), todo o processo de ocupação da região alterou o desenho do território, com a chegada de muitos produtores e também de investidores interessados no potencial especulativo do local.

A introdução de tecnologias no campo, intensificou ainda mais essa formação de grandes latifúndios (PEREIRA, 2019). Segundo os dados do Censo Agropecuário 2017¹⁰ foram levantados 5.072.152 estabelecimentos agropecuários em 350 milhões de hectares em todo o Brasil. As propriedades com mais de 100 ha (10,8%) ocupam uma área de 79,5% da área total. Os estabelecimentos com 10 ha ou menos totalizavam 50,2%, em 2,3% da área total (IBGE, 2018).

A região do MATOPIBA, contabiliza um total de 257,297 estabelecimentos agropecuários (5,4%), de todos os estabelecimentos rurais brasileiros. Em 2006, os imóveis menores que 10 ha representavam 41,9%, reduzindo para 38,6% em 2017. A Tabela 60, mostra essa distribuição por grupos de estabelecimentos por área na região, comparando os censos agropecuários de 2006 e 2017.

¹⁰ O censo agropecuário tem como característica ser uma pesquisa estatística realizada no Brasil com a finalidade de produzir e disponibilizar informações sobre os aspectos das atividades agropecuárias. Os dados são coletados diretamente em todos os estabelecimentos agropecuários, independentemente de tamanho, forma jurídica, existência de atividade comercial ou subsistência e localização (urbana ou rural).

Tabela 60 – MATOPIBA número e área dos estabelecimentos por grupos de área em % (2006 e 2017)

Grupo de área/ha	Números de Estabelecimentos		Área dos Estabelecimentos	
	2006	2017	2006	2017
0 - 10	41,9	38,6	0,7	0,7
10 - 50	31,0	34,3	6,9	10,1
50 - 100	11,1	11,5	6,4	6,6
100 - 1000	13,9	13,4	2,8	30,9
>1000	2,1	2,1	53,2	51,6
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: IBGE (2017).

As faixas de 10 ha a 50 ha e de 50 ha a 100 ha, apresentam um aumento passando de 31,0 para 34,3 e de 11,0 para 11,5 respectivamente. Apesar da redução do número de estabelecimentos de até 10 ha, não houve alteração na área total destinada a esse grupo, que se manteve em 0,7%. Essa área, no entanto, teve uma leve redução em valores absolutos: de 33 milhões para 32,6 milhões de hectares em 2016.

Os estabelecimentos com mais de 100 ha ocupavam 86% em 2006 e 82,5% em 2017, valores acima da elevada concentração fundiária brasileira. Os dados mostram que 51,6% da área total dos estabelecimentos é referente aos com mais de 1.000 ha, ao passo que apenas 0,7% dessa área se refere a estabelecimentos com menos de 10 ha.

De acordo com Buainai, Garcia e Vieira Filho (2017), os minifúndios que possuem menos de 2 ha (23,4%), do total dos estabelecimentos agrícolas do MATOPIBA, são de estabelecimentos que não apresentam viabilidade para a produção agrícola em função do tamanho restrito, sendo que, destes, 84,5% estão localizados no Maranhão.

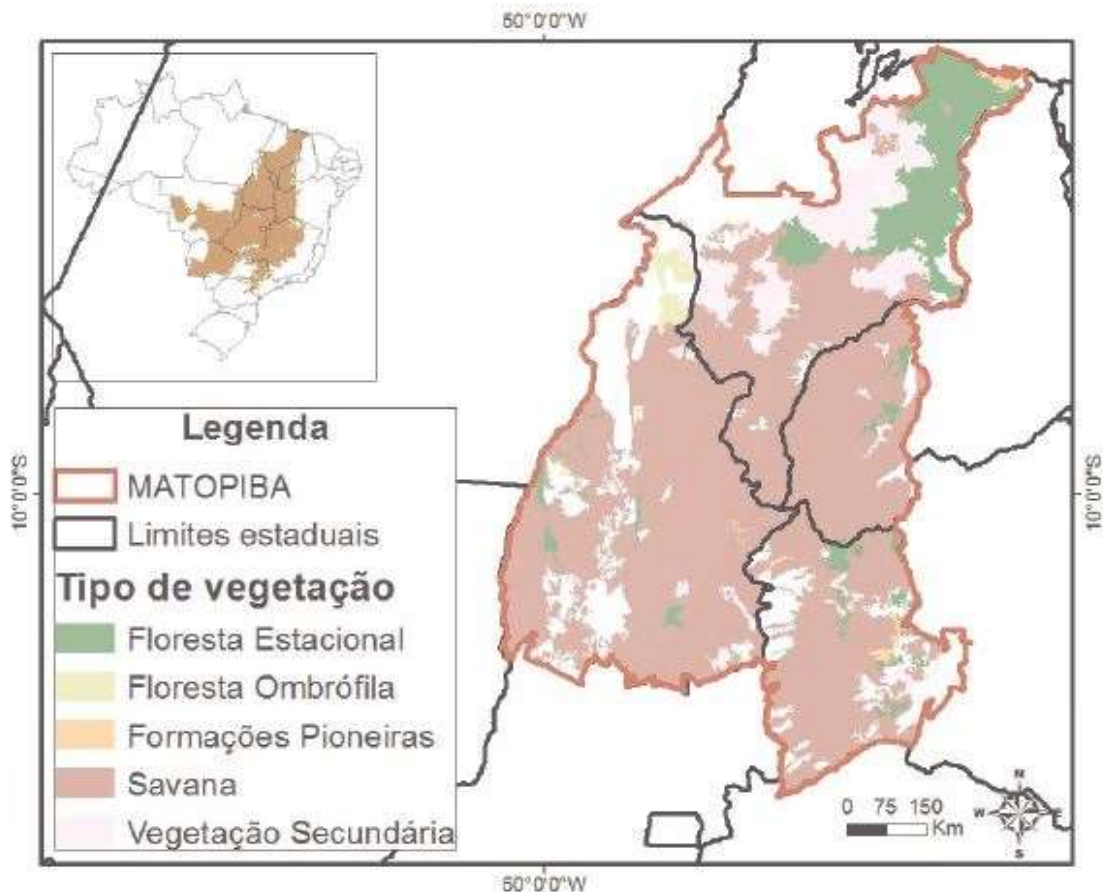
Os municípios cuja maioria dos estabelecimentos possui 1.000 ha ou mais estão localizados no Tocantins e na chamada rota da soja. De maneira geral, os estabelecimentos agrícolas no MATOPIBA, são considerados pequenos com menos de 10 ha. Considerando que apenas 2,1% apresentam área igual ou superior a 1,000 ha. Estes estabelecimentos representam 51,64% da área total.

Esses números, podem apontar para uma alta concentração fundiária na região – com algumas exceções, como é o caso da região norte do Maranhão e o oeste baiano, com o predomínio de estabelecimentos com menos de 10 ha.

• Caracterização Ambiental Biomas

A principal característica ambiental do MATOPIBA está associada à presença do bioma Cerrado, em função de seu potencial agrícola revelado com a ocupação do Centro-Oeste (FREDERICO, 2009; MATOS; PESSOA, 2011). O Cerrado é caracterizado como um tipo de savana tropical, com o predomínio de formações herbáceas, arbustivas e arbóreas (GARCÍA; VIEIRA FILHO, 2017). Outras duas importantes características do bioma são a sazonalidade da vegetação natural e do clima (BECERRA *et al.*, 2010). A área do bioma Cerrado no MATOPIBA foi estimada em 66 milhões de hectares, distribuída em formações florestais (11%) – localizadas na região Nordeste – savânicas (61%) e formações pioneiras e vegetação secundária (9%) (Figura 34).

Figura 34 – Tipos de vegetação do bioma cerrado no MATOPIBA



Fonte: Embrapa (2015) e IBGE (2016). Elaboração: García e Vieira Filho (2017).

Uma parcela importante do MATOPIBA (Tocantins e Maranhão) está localizada na região definida como Amazônia Legal (Lei nº1.806/1953 e Lei nº_12.651/2012)¹¹, apesar de o bioma Amazônico estar presente apenas em uma pequena área do estado do Tocantins e do Maranhão. A presença dos biomas e da Amazônia Legal no território do MATOPIBA afeta na delimitação da reserva legal a partir do Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2017).

Quando o imóvel rural estiver localizado simultaneamente no bioma Cerrado e na Amazônia Legal, segundo o Novo Código Florestal (BRASIL, 2017), a área de reserva legal é de 35%. Agora, se o imóvel rural estiver localizado apenas no bioma Cerrado ou no bioma Caatinga, a reserva legal é de 20% (BRASIL, 2017). A delimitação das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) segue as regras do Novo Código Florestal (GARCÍA; VIEIRA FILHO, 2017).

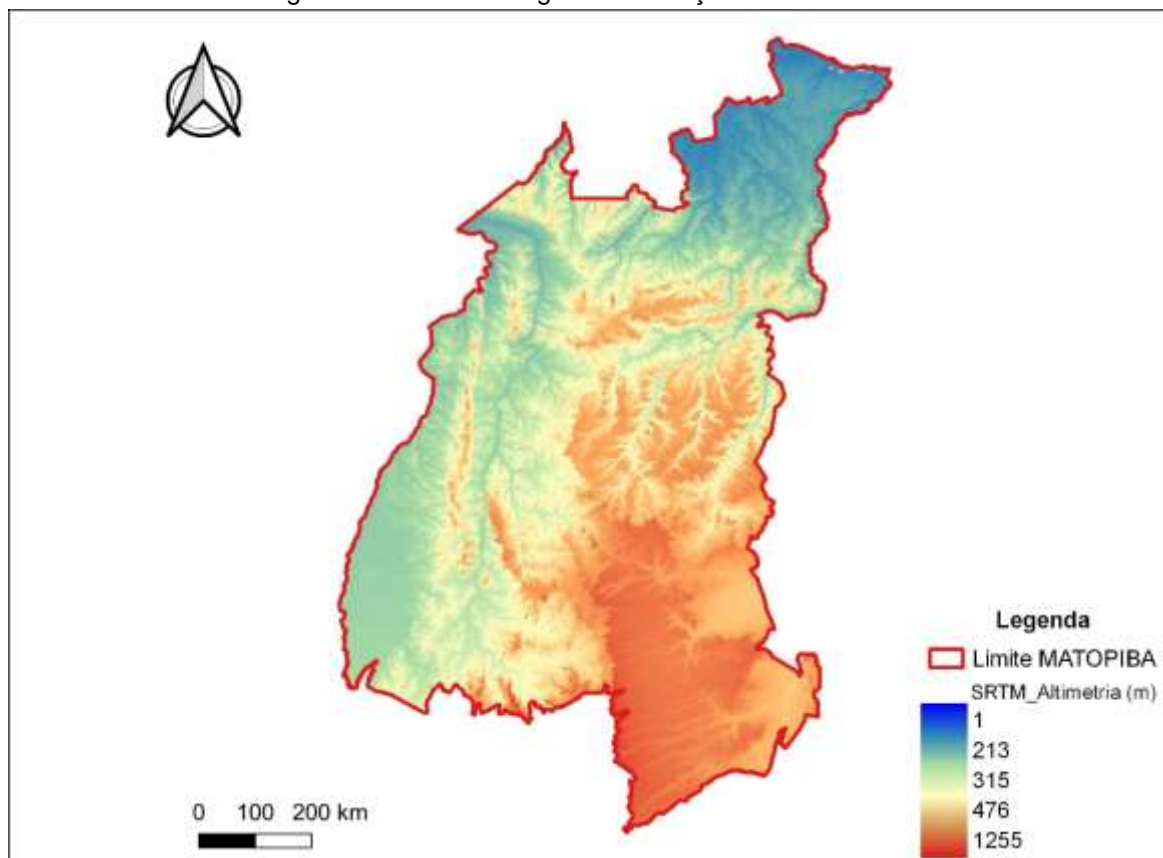
- **Relevo**

Quanto ao relevo, o MATOPIBA está inserido no domínio das unidades denudacionais em rochas cristalinas ou sedimentares (~46,5%), onde se encontram as formas de relevo de colinas amplas e suaves, com declividade variando de 3 a 10° e amplitude topográfica de 20 a 50 metros, com ocupação de 20% do território da região. Em segundo lugar, considerando área territorial, ocorrem as chapadas e platôs (~15%) com variação de declividade e amplitude topográfica inferiores, ou seja, 0 a 5° de declividade e 0 a 20 metros de amplitude topográfica (CPRM, 2016).

A característica no bioma Cerrado é a presença de extensas áreas planas, mesmo em altas altitudes, que favorecem a mecanização do cultivo agrícola. A Figura 35, mostra o modelo digital de elevação (MDE). A região da Bahia é a que apresenta maior altitude, alcançando cotas acima de 1.250 metros, com áreas relativamente planas, favorável à mecanização da produção agrícola.

¹¹ A Amazônia Legal foi criada para o planejamento e promoção do desenvolvimento regional (BRASIL, 1953).

Figura 35 – Modelo digital de elevação do MATOPIBA

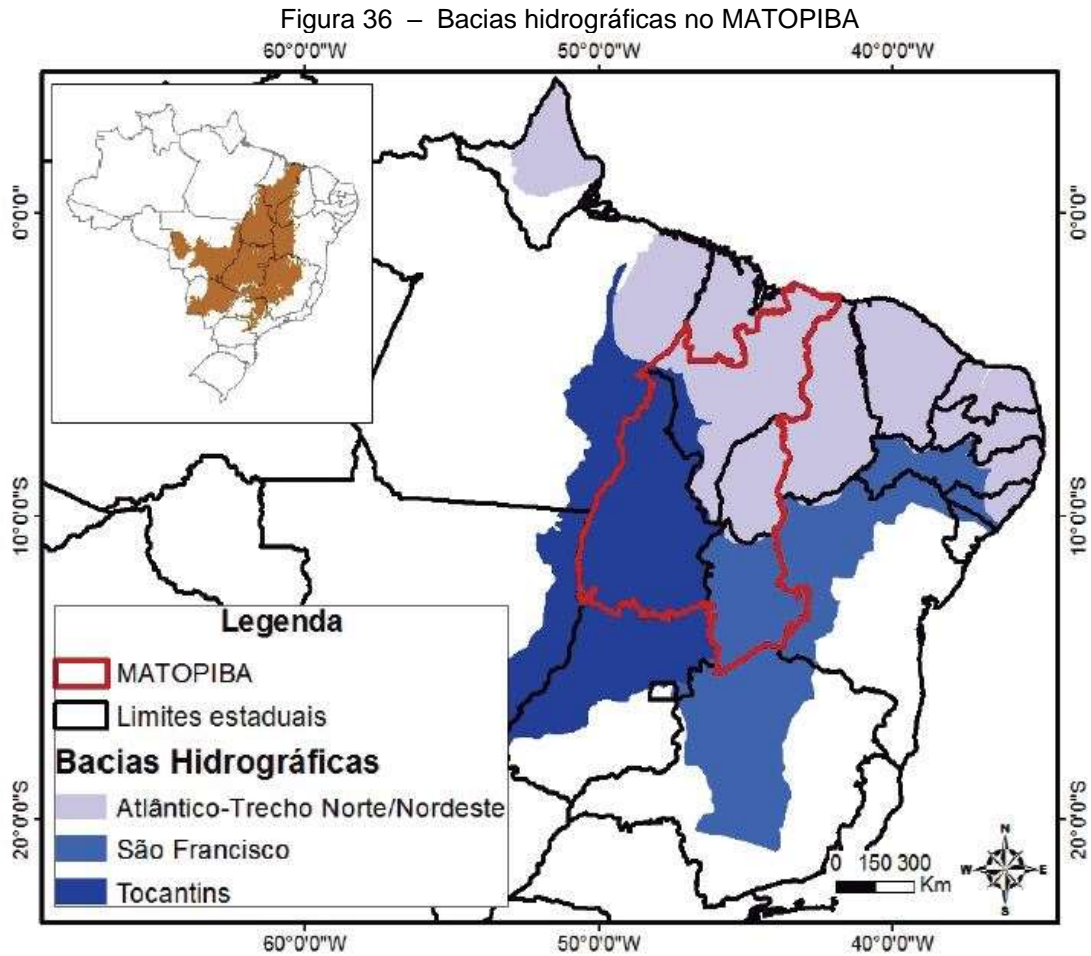


Fonte: SRTM/INPE (2019). Elaboração Própria.

• Hidrografia

O MATOPIBA tem seus territórios em três importantes bacias hidrográficas (Figura 36): Bacia do Rio Tocantins, Bacia do Atlântico (trecho norte-nordeste), e Bacia Rio São Francisco. Os principais rios são: Rio Araguaia, Rio Tocantins, Rio São Francisco; Rio Parnaíba, Rio Itapecuru, Mearim, Gurupi e Pindaré (GARCÍA; VIEIRA FILHO, 2017).

Essas bacias hidrográficas estão apresentadas no mapeamento da geobiodiversidade do Serviço Geológico do Brasil, que dividiu o país em 23 domínios geológicos-ambientais identificados segundo as qualidades morfológicas, desse total, 19 ocorrem na região do MATOPIBA (CPRM, 2016).

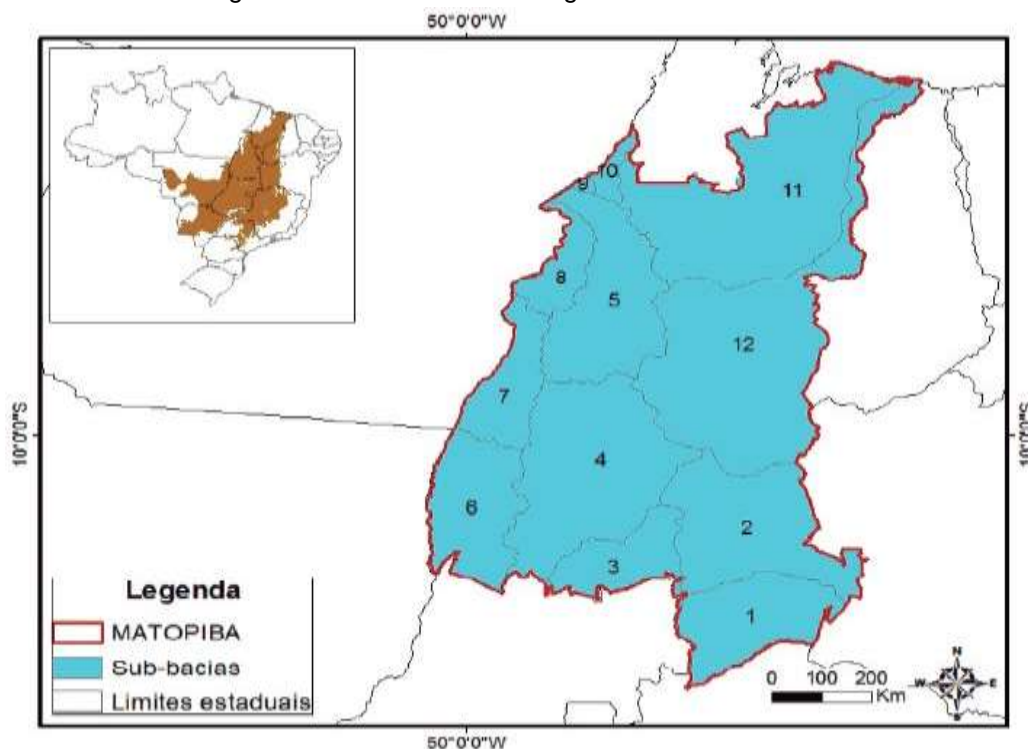


Fonte: Embrapa (2015), IBGE (2016) e ANA (2016). Elaboração: García e Vieira Filho (2017).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – Lei nº 9.433/1997 – instituiu a bacia hidrográfica como unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos no Brasil. De acordo com García e Vieira Filho (2017) sugerem que, talvez a delimitação do MATOPIBA devesse considerar prioritariamente as bacias hidrográficas, uma vez que a ocupação agrícola altera o uso e cobertura das terras afetando a dinâmica hídrica. Esta delimitação poderia auxiliar na gestão mais adequada dos recursos naturais a partir das características ambientais de cada sub-bacia apoiadas na PNRH.

Nesse sentido, Magalhães e Miranda (2014) organizaram a região em doze sub-bacias hidrográficas do MATOPIBA (Figura 37), assim distribuídas: 1. Corrente e outros – São Francisco; 2. Grande e outros – São Francisco; 3. Tocantins, entre os rios Preto e Paraná; 4. Tocantins, entre os rios Paraná e do Sono; 5. Tocantins, entre os rios do Sono e Araguaia; 6. Araguaia, trecho da ilha do Bananal; 7. Araguaia, a jusante da ilha do Bananal; 8. Baixo Araguaia; 9. Guamá e outros; 10. Litorâneas do Para e Maranhão; 11. Pindaré, Itapecuru, Mearim e outros; 12. Parnaíba.

Figura 37 – Sub-bacias hidrográficas do MATOPIBA

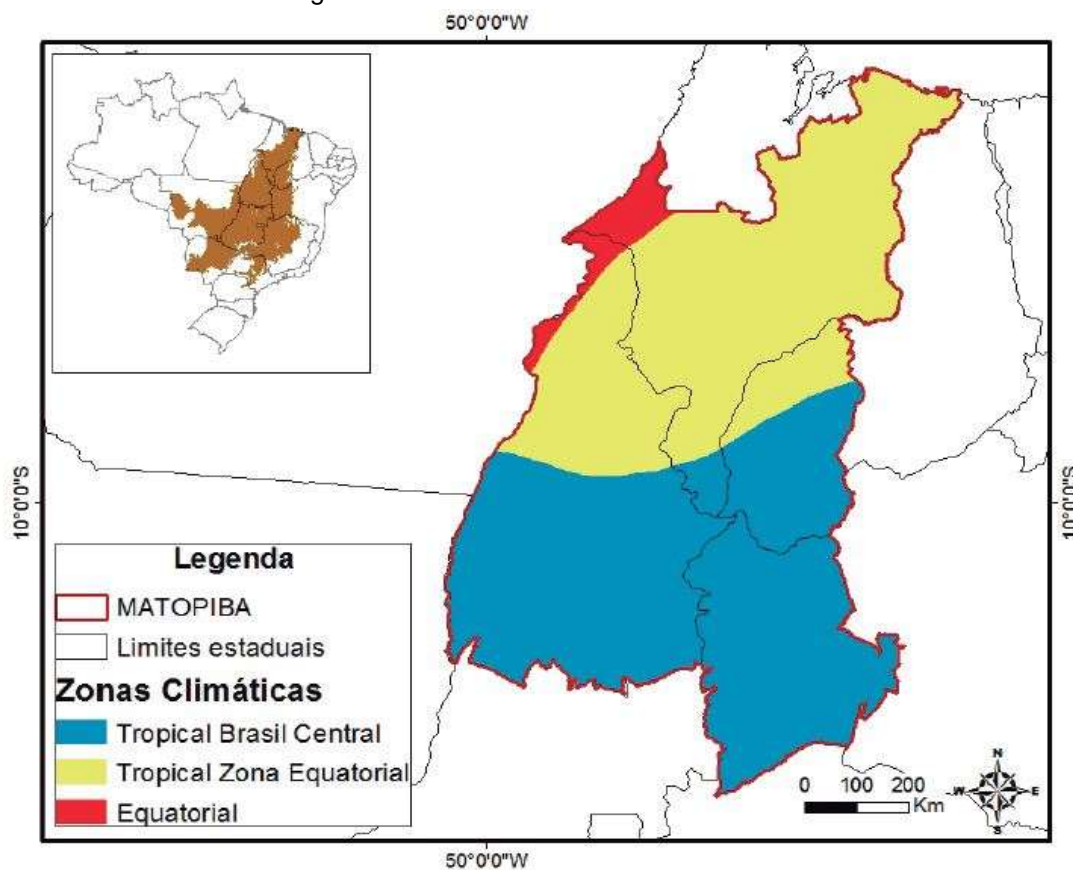


Fonte: Embrapa (2015) e IBGE (2016). Elaboração: García e Vieira Filho (2017)

- **Clima**

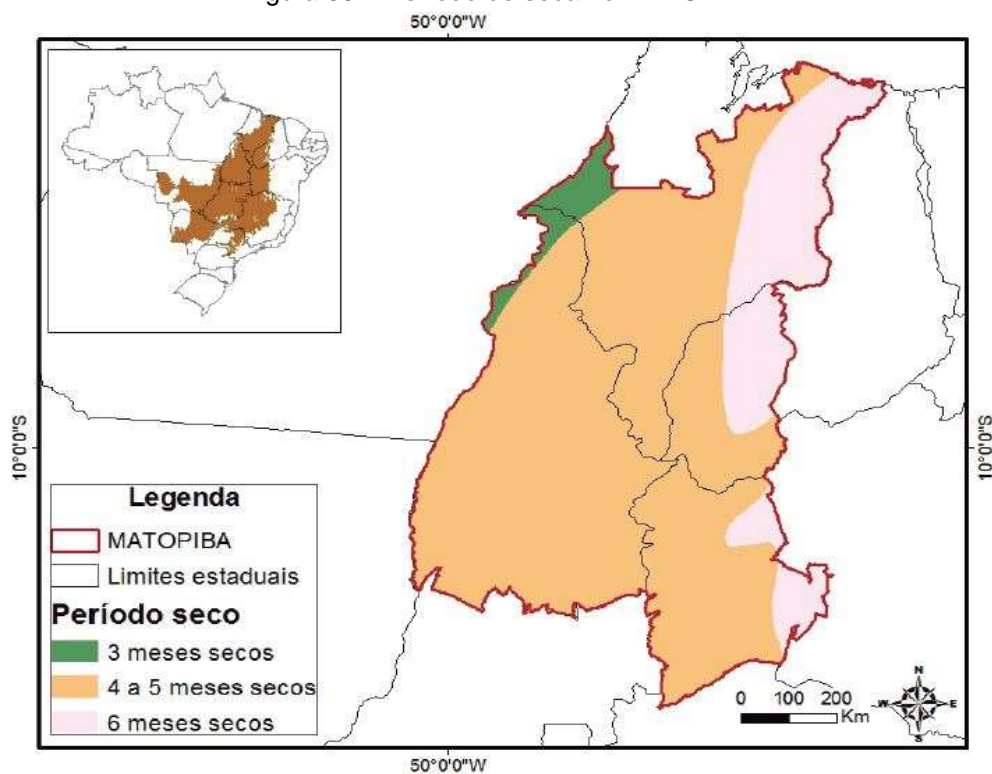
Conforme Classificação Köppen-Geiger, predomina na região o clima tropical com estação seca de inverno; tropical com estação seca no verão; no litoral o de monção (ALVARES *et al.*, 2013). A região é caracterizada por três zonas climáticas (Figuras 38 e 39): i) Tropical Brasil Central, clima semiúmido e semiárido, períodos secos entre 4 a 8 meses do ano e temperatura quente, média superior a 18°C em todos os meses do ano; ii) Tropical Equatorial, semiúmido e semiárido, períodos secos entre 4 a 6 meses do ano e temperatura quente, média superior a 18°C em todos os meses do ano; iii) Equatorial, úmida, períodos secos de até 3 meses no ano e temperatura quente, média superior a 18°C todos os meses do ano (IBGE, 2016), a temperatura média anual é igual ou superior a 22°C, alcançando médias de 28°C, ocorrendo uma baixa variabilidade da temperatura média mensal (ALVARES *et al.*, 2013).

Figura 38 – Zonas climáticas do MATOPIBA



Fonte: Alvares *et al.* (2013), Embrapa (2015) e IBGE (2016). Elaboração: García e Vieira Filho (2017).

Figura 39 – Período de seca no MATOPIBA



Fonte Embrapa (2015) e IBGE (2016). Elaboração: García e Vieira Filho (2017).

- **Temperatura**

A região do MATOPIBA, apresenta baixa variabilidade de temperatura média, de acordo com os dados (Tabela 61) avaliadas por Alvares *et al.* (2013). O desvio-padrão para a região é de 0,95. A Bahia apresenta a menor temperatura média, 23° C, mas a maior variabilidade (desvio-padrão 1,28) entre os estados do MATOPIBA. O estado do Maranhão registrou a maior temperatura média, 27° C, mas o menor desvio-padrão, 0,83. Embora a amplitude entre o estado com a maior temperatura e a menor seja relativamente pequena, esses dados revelam a heterogeneidade climática da região.

Tabela 61 – Temperatura média mensal e anual (graus celsius)

Região	Jan.	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Desvio-padrão
MA	27	27	26	26	26	26	26	27	28	28	28	28	27	0.83
TO	26	26	26	26	25	25	25	26	28	28	28	27	26	1.05
PI	26	25	25	25	24	24	24	25	26	27	26	26	25	1.00
BA	24	24	24	24	22	21	21	23	24	25	25	24	23	1.28
MATOPIBA	26	26	26	26	25	25	25	26	27	28	27	27	26	0.95

Fonte: Alvares *et al.* (2013).

Os resultados obtidos a partir da base de dados Alvares *et al.* (2013), indicam que o volume médio anual precipitado no MATOPIBA alcança 1.508 mm (Tabela 62), média mensal de 126 mm. O período chuvoso na região encontra-se entre outubro e maio, onde o volume médio mensal alcança 163 mm, variando entre 79 mm em maio e 256 mm em março. O período seco está entre junho e setembro, com média mensal de apenas 20 mm.

Tabela 62 – Tabela de precipitação no MATOPIBA (média mensal e anual)

Região	Jan.	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média mensal	Média anual
MA	207	242	301	252	134	41	23	13	25	50	82	135	126	1506
TO	268	264	257	169	52	13	6	12	57	156	210	260	144	1724
PI	175	173	170	118	22	3	2	2	14	73	139	159	87	1049
BA	158	145	138	80	11	2	1	2	17	87	184	200	85	1025
MATOPIBA	225	236	256	189	79	22	12	10	36	99	149	195	126	1508

Fonte: Alvares *et al.* (2013).

A parcela do estado da Bahia apresenta o menor volume médio anual precipitado, por volta de 1.025 mm. O período chuvoso na parcela da Bahia encontra-se entre outubro e abril, volume médio mensal alcança 113 mm, variando entre 80 mm em abril e 200 mm em dezembro. O período seco está entre maio e setembro, com média mensal de apenas 6 mm.

Na parcela do estado do Piauí, o volume médio anual precipitado alcança 1.049 mm. O período chuvoso na parcela do Piauí encontra-se entre outubro e abril, volume médio mensal alcança 116 mm, variando entre 73 mm em outubro e 175 mm em janeiro. O período seco está entre maio e setembro, com média mensal de apenas 9 mm.

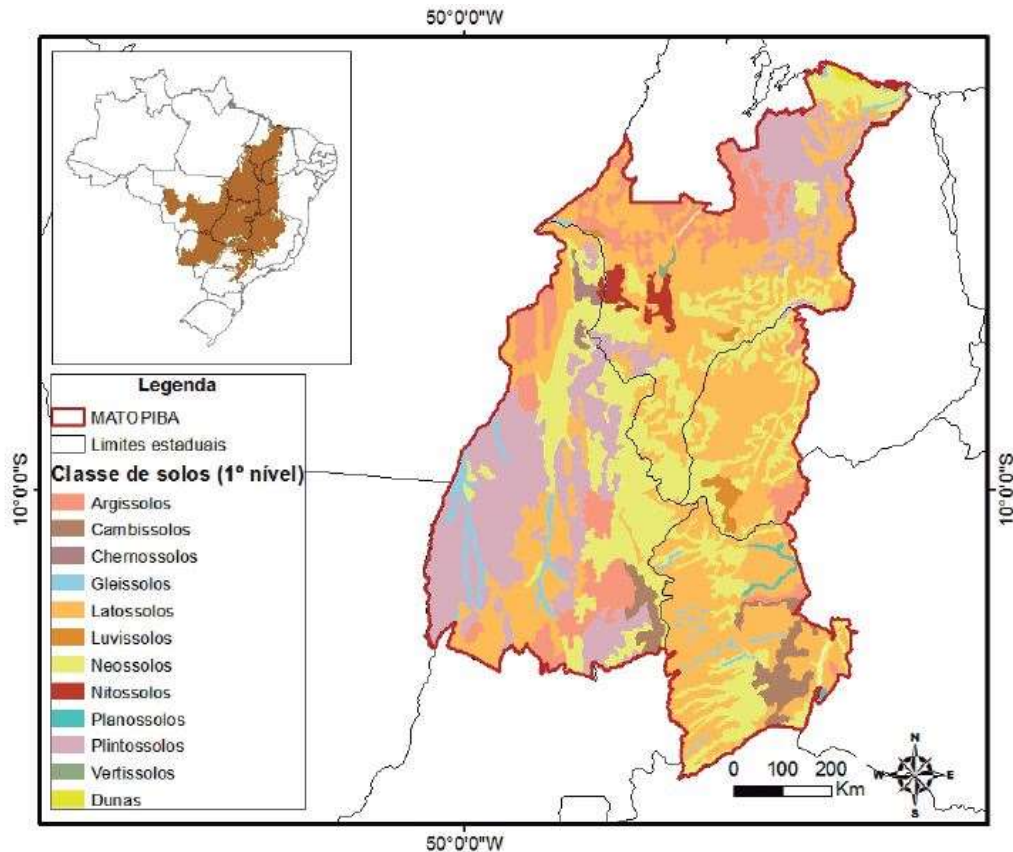
Na parcela do estado do Maranhão, o volume médio anual precipitado é da ordem de 1.506 mm, o segundo maior da região, perdendo apenas para Tocantins com 1.724 mm. O período chuvoso na parcela do Maranhão encontra-se entre novembro e maio, volume médio mensal alcança 208 mm, variando entre 82 mm em novembro e 301 mm em março. O período seco está entre abril e outubro, com média mensal de 30 mm.

O estado do Tocantins apresenta o maior volume médio anual precipitado na região, 1.724 mm. O período chuvoso neste estado encontra-se entre outubro e abril, volume médio mensal de 216 mm, variando entre 156 mm em outubro e 268 mm em janeiro. O período seco está entre maio e setembro, média mensal de 28 mm.

- **Solo**

No MATOPIBA são encontradas 12 classes de solos do 1º nível (Figura 40) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e 19 classes do 2º nível (IBGE, 2016). Os Latossolos são a classe dominante, com cerca de 28 milhões de hectare (38%), seguido por Neossolos 18 milhões hectares (25%) e o plintossolo, encontrado em 14 milhões de hectares (19%) (CPRM, 2016).

Figura 40 – Classe de solo do 1º nível do sistema brasileiro de classificação de solos no MATOPIBA.



Fonte: Santos *et al.* (2011), Embrapa (2015) e IBGE (2016). Elaboração: García e Vieira Filho (2017).

Os Latossolos são caracterizados pelo avançado estágio de intemperismo, profundo e boa drenagem, mas baixa fertilidade natural (EMBRAPA SOLOS, 2014; IBGE, 2016). Todavia, esta classe tem características físicas mais favoráveis para o cultivo (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014), tais como boa permeabilidade e alta porosidade.

Neossolo, é constituído por material mineral e orgânico pouco espesso, menos de 20 cm ou 30 cm de espessura, ou seja, solo raso. O neossolo quartzarênico é caracterizado pela presença de minerais primários de fácil intemperização, profundo e arenosos (EMBRAPA SOLOS, 2014), baixa fertilidade natural e alta porosidade e permeabilidade, com baixa capacidade de retenção da água (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014).

O plintossolo, é a classe que compreende solos minerais, formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados. Além disso, este solo é fortemente ácido, típico de zonas quentes e úmidas e com estação seca bem

definida (EMBRAPA SOLOS, 2014). As classes de solos foram identificadas com base no mapa atualizado de solos do Brasil (SANTOS *et al.*, 2011).

De maneira geral, no tocante às propriedades químicas, os solos do cerrado são de baixa fertilidade natural (solos pobres) e apenas mediante a adubação complementar (geralmente química) é que se tornam solos produtivos (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014).

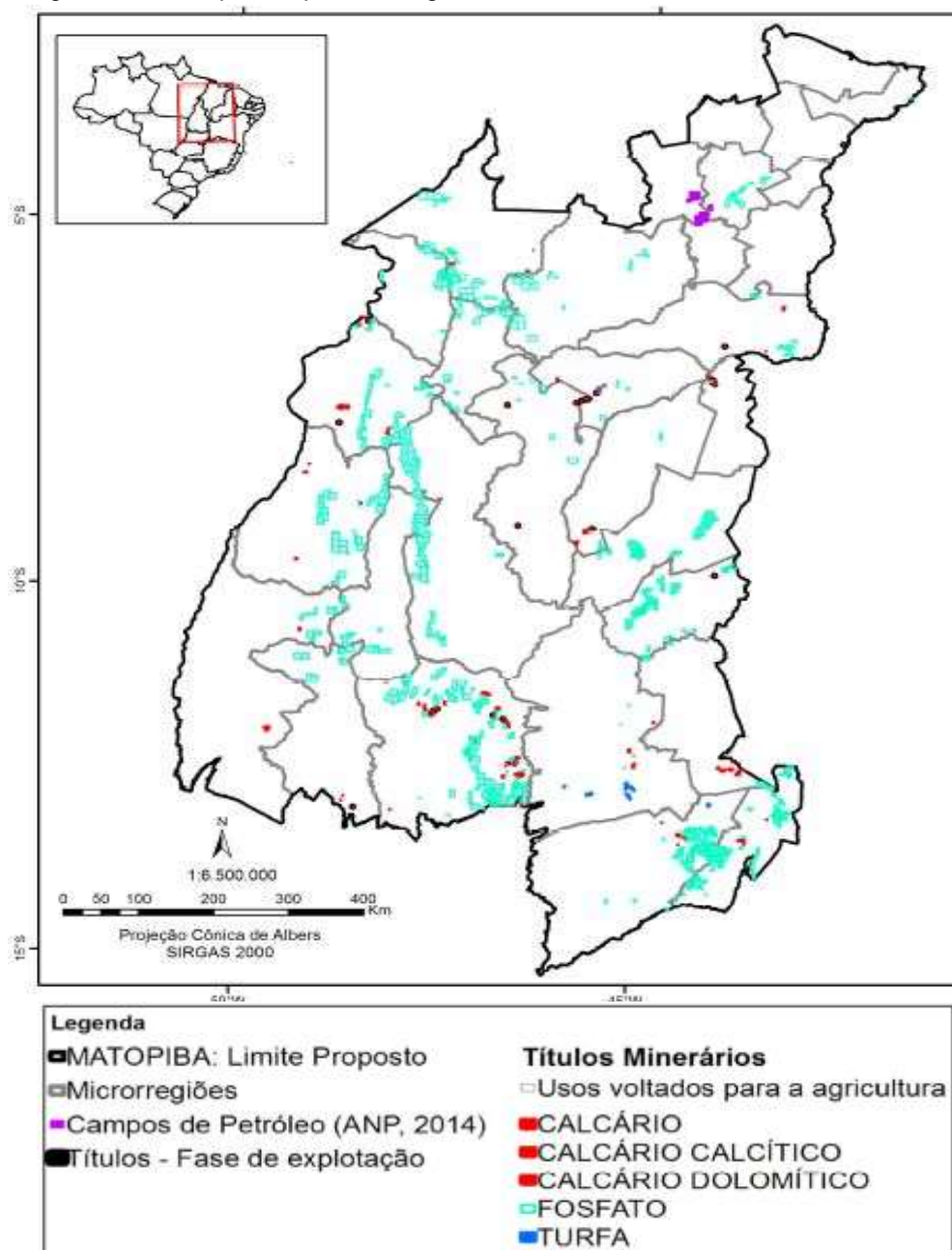
• Recursos Minerais e Energéticos

A região do MATOPIBA, possui uma das maiores reservas de gás do Brasil. Estas reservas encontram-se no território do Maranhão (Figura 41), em quatro campos conhecidos como Gavião Azul, Gavião Real, Gavião Branco e Gavião Branco Oeste. O único campo em produção, até 2014, era o Campo Gavião Real, que colocou o Maranhão na 8ª posição da lista de Estados produtores de óleo e gás no país, em março de 2014 (ANP, 2014).

Além das riquezas energéticas o MATOPIBA possui 7019 de títulos minerários em diferentes fases. Dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) de 2014 apontam para 916 títulos (13%) nos quais o aproveitamento das substâncias tem o uso cadastrado para corretivo de solo, fertilizantes ou insumos agrícolas (e.g. calcário, dolomito, fosfato e trufa).

Apesar do grande número de títulos minerários, apenas 54 encontram-se na fase de concessão de lavra e licenciamento, distribuídos em todos os estados do Maranhão, Tocantins e Piauí. Com exceção da jazida de fosfato do município de Arraias (TO), todas as outras 53 extrações são em jazidas de calcário. Estas plantas minerais para a produção de fertilizantes poderiam ser melhor exploradas, visto que o Brasil é um grande consumidor, porém com baixa produção e alta dependência dos produtos importados (CELLA; ROSSI, 2010; NASCIMENTO; MIRANDA, 2015).

Figura 41 – Campos de petróleo e gás natural e títulos minerários no MATOPIBA



Fonte: GITE/EMBRAPA - Magalhães e Miranda (2014).

Apêndice Q – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS

Para ONU (2017), o desafio da agenda nos inspira a pensar criativamente sobre os atuais desafios da sustentabilidade. A base de sustentação dos 17 objetivos de desenvolvimento da agenda 2030 são os cinco componentes principais: Pessoas, Prosperidades, Paz, Parcerias e Planeta, e são aplicáveis a todos os países. De acordo com PNUD (2020), se conseguirmos atingir essas metas, seremos a primeira geração a erradicar a pobreza extrema e iremos poupar as gerações futuras dos piores efeitos adversos da mudança do clima. Esse, portanto, é um grande desafio que precisamos enfrentar. Uma descrição dos ODS em 17 grandes temas, é apresentada na Tabela 63.

Tabela 63 – Objetivos de desenvolvimento sustentável

nº	Objetivo
ODS 1	Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares
ODS 2	Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável
ODS 3	Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades Saúde infantil
ODS 4	Assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
ODS 5	Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
ODS 6	Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos
ODS 7	Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos.
ODS 8	Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos
ODS 9	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação
ODS 10	Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles

- ODS 11 Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis
- ODS 12 Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis
- ODS 13 Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.
- ODS 14 Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável
- ODS 15 Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.
- ODS 16 Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
- ODS 17 Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável

Fonte: ONU (2017).

Apêndice R – PIB percapita e IDHM por municípios do MATOPIBA

GEOCODM	Municípios	SIGLA	Pibcap2017	IDHM_1991	IDHM_2000	IDHM_2010	IDHM_2018
1700251	Abreulândia	TO	21850.43	0.215	0.454	0.665	0.862
1700301	Aguiarnópolis	TO	18719.04	0.295	0.466	0.657	0.809
1700350	Aliança do Tocantins	TO	20773.07	0.38	0.544	0.663	0.791
1700400	Almas	TO	20625.98	0.263	0.42	0.636	0.787
1700707	Alvorada	TO	38266	0.471	0.578	0.708	0.806
1701002	Ananás	TO	12561.3	0.295	0.496	0.671	0.836
1701051	Angico	TO	10310.04	0.235	0.485	0.648	0.838
1701101	Aparecida do Rio Negro	TO	19229.27	0.373	0.479	0.651	0.76
1701309	Aragominas	TO	10749.47	0.32	0.402	0.593	0.694
1701903	Araguacema	TO	18856.47	0.32	0.477	0.639	0.775
1702000	Araguaçu	TO	21155.78	0.332	0.542	0.675	0.834
1702109	Araguaína	TO	22809.8	0.451	0.58	0.752	0.875
1702158	Araguanã	TO	11381.26	0.28	0.388	0.604	0.727
1702208	Araguatins	TO	10887.03	0.301	0.432	0.631	0.762
1702307	Arapoema	TO	14515.35	0.318	0.48	0.68	0.83
1702406	Arraias	TO	14692.69	0.338	0.474	0.651	0.779
1702554	Augustinópolis	TO	12740.56	0.297	0.462	0.67	0.824
1702703	Aurora do Tocantins	TO	10900.58	0.355	0.486	0.677	0.806
1702901	Axixá do Tocantins	TO	10495.5	0.261	0.432	0.627	0.78
1703008	Babaçulândia	TO	9531.2	0.265	0.397	0.642	0.787
1703057	Bandeirantes do Tocantins	TO	19542.67	0.282	0.445	0.638	0.786
1703073	Barra do Ouro	TO	10127.36	0.17	0.36	0.603	0.781
1703107	Barrolândia	TO	14386.09	0.331	0.497	0.642	0.779
1703206	Bernardo Sayão	TO	17004.32	0.335	0.504	0.638	0.773
1703305	Bom Jesus do Tocantins	TO	13423.62	0.24	0.396	0.66	0.824
1703602	Brasilândia do Tocantins	TO	16875.46	0.297	0.505	0.684	0.854
1703701	Brejinho de Nazaré	TO	27951.13	0.346	0.487	0.686	0.823
1703800	Buriti do Tocantins	TO	8373.92	0.269	0.462	0.627	0.785
1703826	Cachoeirinha	TO	11281.5	0.314	0.443	0.627	0.753
1703842	Campos Lindos	TO	29538.91	0.138	0.343	0.544	0.719
1703867	Cariri do Tocantins	TO	77488.15	0.292	0.528	0.662	0.836
1703883	Carmolândia	TO	13805.41	0.239	0.447	0.64	0.814
1703891	Carrasco Bonito	TO	9191.64	0.152	0.407	0.594	0.794
1703909	Caseara	TO	24963.71	0.374	0.49	0.658	0.772
1704105	Centenário	TO	11400.86	0.209	0.407	0.569	0.729
1704600	Chapada de Areia	TO	18478.35	0.24	0.41	0.619	0.776
1705102	Chapada da Natividade	TO	19579.81	0.239	0.401	0.62	0.775

1705508	Colinas do Tocantins	TO	18881.73	0.418	0.561	0.701	0.823
1705557	Combinado	TO	13067.05	0.341	0.526	0.697	0.852
1705607	Conceição do Tocantins	TO	11583.23	0.31	0.422	0.592	0.704
1706001	Couto Magalhães	TO	16637.32	0.274	0.409	0.605	0.738
1706100	Cristalândia	TO	14258.33	0.431	0.544	0.673	0.774
1706258	Crixás do Tocantins	TO	24191.33	0.316	0.491	0.644	0.788
1706506	Darcinópolis	TO	22014.24	0.208	0.41	0.581	0.746
1707009	Dianópolis	TO	13757.54	0.385	0.515	0.701	0.828
1707108	Divinópolis do Tocantins	TO	17108.33	0.34	0.503	0.683	0.828
1707207	Dois Irmãos do Tocantins	TO	13895.55	0.27	0.439	0.583	0.721
1707306	Dueré	TO	25916.04	0.319	0.5	0.679	0.834
1707405	Esperantina	TO	7872.94	0.189	0.357	0.57	0.727
1707553	Fátima	TO	14654.18	0.412	0.543	0.697	0.816
1707652	Figueirópolis	TO	28630.9	0.393	0.553	0.689	0.82
1707702	Filadélfia	TO	10993.8	0.327	0.447	0.621	0.739
1708205	Formoso do Araguaia	TO	21418.63	0.311	0.507	0.67	0.829
1708254	Fortaleza do Tabocão	TO	52994.69	0.264	0.473	0.659	0.832
1708304	Goianorte	TO	15144.24	0.309	0.416	0.621	0.74
1709005	Goiatins	TO	11489.13	0.264	0.347	0.576	0.688
1709302	Guaraí	TO	22811.12	0.417	0.559	0.741	0.874
1709500	Gurupi	TO	25209.5	0.497	0.61	0.759	0.866
1709807	Ipueiras	TO	18720.03	0.16	0.384	0.62	0.816
1710508	Itacajá	TO	12974.96	0.311	0.426	0.612	0.73
1710706	Itaguatins	TO	9896.42	0.258	0.378	0.616	0.752
1710904	Itapiratins	TO	18412.1	0.258	0.382	0.601	0.734
1711100	Itaporã do Tocantins	TO	17394.34	0.35	0.515	0.65	0.783
1711506	Jaú do Tocantins	TO	15142.41	0.311	0.471	0.662	0.808
1711803	Juarina	TO	15890.7	0.177	0.448	0.584	0.779
1711902	Lagoa da Confusão	TO	39290.31	0.332	0.479	0.627	0.753
1711951	Lagoa do Tocantins	TO	9163.15	0.224	0.317	0.579	0.706
1712009	Lajeado	TO	20486.41	0.403	0.506	0.675	0.782
1712157	Lavandeira	TO	12707.78	0.305	0.431	0.66	0.797
1712405	Lizarda	TO	9000.14	0.306	0.388	0.57	0.668
1712454	Luzinópolis	TO	11110.76	0.28	0.454	0.639	0.791
1712504	Marianópolis do Tocantins	TO	23491.05	0.321	0.497	0.631	0.77
1712702	Mateiros	TO	48252.43	0.147	0.281	0.607	0.775
1712801	Maurilândia do Tocantins	TO	9699.28	0.195	0.383	0.58	0.744
1713205	Miracema do Tocantins	TO	27317.54	0.46	0.58	0.684	0.782
1713304	Miranorte	TO	16295.83	0.432	0.508	0.662	0.749
1713601	Monte do Carmo	TO	20453.07	0.302	0.413	0.622	0.745

1713700	Monte Santo do Tocantins	TO	16096.22	0.153	0.454	0.62	0.841
1713809	Palmeiras do Tocantins	TO	9815.28	0.169	0.435	0.628	0.836
1713957	Muricilândia	TO	12260.77	0.331	0.386	0.596	0.686
1714203	Natividade	TO	12299.64	0.336	0.476	0.673	0.809
1714302	Nazaré	TO	10960.34	0.295	0.482	0.643	0.796
1714880	Nova Olinda	TO	23044.47	0.326	0.467	0.631	0.758
1715002	Nova Rosalândia	TO	11588.87	0.388	0.556	0.661	0.788
1715101	Novo Acordo	TO	10800.03	0.329	0.473	0.639	0.769
1715150	Novo Alegre	TO	11358.16	0.41	0.544	0.699	0.82
1715259	Novo Jardim	TO	10706.17	0.235	0.371	0.596	0.737
1715507	Oliveira de Fátima	TO	17626.87	0.34	0.496	0.675	0.815
1715705	Palmeirante	TO	13964.04	0.205	0.326	0.571	0.709
1715754	Palmeirópolis	TO	14492.62	0.412	0.545	0.673	0.786
1716109	Paraíso do Tocantins	TO	23756.02	0.488	0.613	0.764	0.878
1716208	Paraná	TO	20131.09	0.267	0.334	0.595	0.707
1716307	Pau D'Arco	TO	15322.22	0.281	0.426	0.661	0.81
1716505	Pedro Afonso	TO	50129.16	0.421	0.546	0.732	0.856
1716604	Peixe	TO	46507.07	0.32	0.482	0.674	0.821
1716653	Pequizeiro	TO	13650.9	0.344	0.433	0.627	0.733
1716703	Colméia	TO	16952.4	0.391	0.502	0.671	0.782
1717008	Pindorama do Tocantins	TO	10741.92	0.315	0.423	0.605	0.718
1717206	Piraquê	TO	14908.39	0.271	0.431	0.621	0.767
1717503	Pium	TO	18529.68	0.326	0.487	0.65	0.789
1717800	Ponte Alta do Bom Jesus	TO	9605.82	0.276	0.411	0.603	0.735
1717909	Ponte Alta do Tocantins	TO	9886.69	0.32	0.461	0.624	0.751
1718006	Porto Alegre do Tocantins	TO	9271.25	0.383	0.44	0.645	0.735
1718204	Porto Nacional	TO	49738.85	0.424	0.562	0.74	0.87
1718303	Praia Norte	TO	8196.48	0.252	0.374	0.583	0.712
1718402	Presidente Kennedy	TO	13325.59	0.355	0.527	0.669	0.808
1718451	Pugmil	TO	18313.39	0.196	0.45	0.669	0.877
1718501	Recursolândia	TO	9660.9	0.148	0.33	0.5	0.653
1718550	Riachinho	TO	9760.01	0.157	0.361	0.572	0.749
1718659	Rio da Conceição	TO	9216.1	0.247	0.412	0.608	0.758
1718709	Rio dos Bois	TO	15675.51	0.255	0.476	0.616	0.783
1718758	Rio Sono	TO	9388.07	0.284	0.363	0.6	0.712
1718808	Sampaio	TO	8123.8	0.205	0.457	0.606	0.794
1718840	Sandolândia	TO	20240.37	0.294	0.498	0.659	0.822
1718865	Santa Fé do Araguaia	TO	15228.8	0.263	0.439	0.616	0.767
1718881	Santa Maria do Tocantins	TO	11870.26	0.248	0.412	0.634	0.791
1718899	Santa Rita do Tocantins	TO	35707.78	0.281	0.43	0.651	0.799

1718907	Santa Rosa do Tocantins	TO	30126.67	0.285	0.41	0.595	0.719
1719004	Santa Tereza do Tocantins	TO	11275.22	0.333	0.479	0.662	0.798
1720002	Santa Terezinha do Tocantins	TO	12002.96	0.224	0.398	0.637	0.804
1720101	São Bento do Tocantins	TO	9426.17	0.208	0.411	0.605	0.777
1720150	São Félix do Tocantins	TO	11715.31	0.294	0.419	0.574	0.69
1720200	São Miguel do Tocantins	TO	8551.96	0.24	0.42	0.623	0.784
1720259	São Salvador do Tocantins	TO	10922.99	0.222	0.419	0.605	0.771
1720309	São Sebastião do Tocantins	TO	9293.44	0.249	0.439	0.573	0.72
1720499	São Valério	TO	32938.67	0.327	0.46	0.643	0.771
1720655	Silvanópolis Sítio Novo do	TO	27147.79	0.33	0.451	0.675	0.808
1720804	Tocantins	TO	9607.02	0.302	0.457	0.604	0.735
1720853	Sucupira	TO	30301.35	0.319	0.453	0.667	0.804
1720903	Taguatinga Taipas do	TO	13719.94	0.316	0.451	0.634	0.763
1720937	Tocantins	TO	10287.79	0.281	0.387	0.601	0.722
1720978	Talismã	TO	29604.07	0.296	0.481	0.654	0.809
1721000	Palmas	TO	28754	0.439	0.654	0.788	0.95
1721109	Tocantínia	TO	9010.85	0.349	0.445	0.589	0.685
1721208	Tocantinópolis	TO	12708.47	0.387	0.542	0.681	0.81
1721257	Tupirama	TO	24990.62	0.238	0.445	0.67	0.853
1721307	Tupiratins	TO	11060.03	0.421	0.446	0.587	0.641
1722081	Wanderlândia	TO	13507.58	0.346	0.474	0.638	0.758
1722107	Xambioá	TO	29024.18	0.344	0.504	0.671	0.81
2100055	Açailândia	MA	19780.01	0.344	0.498	0.672	0.81
2100105	Afonso Cunha	MA	6934.67	0.278	0.337	0.529	0.617
2100154	Água Doce do Maranhão	MA	5895.85	0.21	0.293	0.5	0.606
2100303	Aldeias Altas	MA	6614.18	0.257	0.349	0.513	0.612
2100436	Alto Alegre do Maranhão	MA	8208.16	0.209	0.331	0.554	0.687
2100501	Alto Parnaíba	MA	26172.09	0.308	0.435	0.633	0.762
2100600	Amarante do Maranhão	MA	6666.52	0.284	0.374	0.555	0.658
2100808	Anapurus	MA	8681.76	0.292	0.421	0.581	0.7
2100907	Araioses	MA	5858.01	0.199	0.298	0.521	0.64
2100956	Arame	MA	6609.85	0.21	0.334	0.512	0.633
2101202	Bacabal	MA	11010.12	0.372	0.481	0.651	0.762
2101400	Balsas	MA	32142.28	0.347	0.521	0.687	0.834
2101509	Barão de Grajaú	MA	11313.71	0.31	0.424	0.592	0.705
2101608	Barra do Corda	MA	7481.35	0.287	0.423	0.606	0.736
2101707	Barreirinhas	MA	7357.05	0.251	0.361	0.57	0.692
2101731	Belágua	MA	6424.95	0.199	0.32	0.512	0.636
2101806	Benedito Leite	MA	7211.34	0.24	0.379	0.546	0.673

2101939	Bernardo do Mearim	MA	8255.39	0.262	0.413	0.604	0.745
2102077	Bom Lugar	MA	5312.23	0.229	0.382	0.562	0.701
2102101	Brejo	MA	7616.85	0.305	0.383	0.562	0.657
2102200	Buriti	MA	6640.98	0.24	0.379	0.548	0.676
2102309	Buriti Bravo	MA	6568.07	0.308	0.395	0.59	0.695
2102358	Buritirana	MA	5912.48	0.19	0.376	0.583	0.748
2102556	Campestre do Maranhão	MA	12238.28	0.249	0.441	0.652	0.822
2102705	Cantanhede	MA	5534.63	0.293	0.378	0.565	0.666
2102754	Capinzal do Norte	MA	12253.01	0.274	0.367	0.537	0.638
2102804	Carolina	MA	12985.61	0.353	0.476	0.634	0.749
2103000	Caxias	MA	10538.06	0.357	0.469	0.624	0.732
2103208	Chapadinha	MA	8332.67	0.328	0.42	0.604	0.709
2103257	Cidelândia	MA	8843.71	0.286	0.414	0.6	0.726
2103307	Codó	MA	7924.31	0.301	0.4	0.595	0.707
2103406	Coelho Neto	MA	6956.75	0.274	0.387	0.564	0.679
2103505	Colinas	MA	7951.45	0.324	0.408	0.596	0.697
2103604	Coroatá	MA	6201.63	0.287	0.376	0.576	0.683
2103752	Davinópolis	MA	49011.39	0.235	0.418	0.607	0.766
2103802	Dom Pedro	MA	9794.57	0.382	0.48	0.622	0.718
2103901	Duque Bacelar	MA	6142.01	0.286	0.383	0.533	0.631
2104008	Esperantinópolis	MA	7481.43	0.271	0.375	0.586	0.705
2104057	Estreito	MA	18883.37	0.333	0.468	0.659	0.79
2104073	Feira Nova do Maranhão	MA	7795.59	0.123	0.302	0.532	0.7
2104081	Fernando Falcão	MA	5323.22	0.155	0.261	0.443	0.555
2104099	Formosa da Serra Negra	MA	6956.68	0.187	0.335	0.556	0.703
2104107	Fortaleza dos Nogueiras	MA	11460.48	0.3	0.42	0.616	0.74
2104206	Fortuna	MA	6753.65	0.302	0.43	0.58	0.696
2104404	Gonçalves Dias	MA	6536.8	0.288	0.395	0.568	0.678
2104503	Governador Archer	MA	6307.01	0.321	0.377	0.565	0.65
2104552	Governador Edison Lobão	MA	14354.75	0.267	0.422	0.629	0.776
2104602	Governador Eugênio Barros	MA	5750.58	0.241	0.393	0.572	0.71
2104628	Governador Luiz Rocha	MA	6625.29	0.213	0.369	0.544	0.683
2104701	Graça Aranha	MA	6894.31	0.316	0.406	0.57	0.668
2104800	Grajaú	MA	9705.29	0.295	0.421	0.609	0.734
2105005	Humberto de Campos	MA	5093.34	0.212	0.365	0.535	0.671
2105203	Igarapé Grande	MA	7329.48	0.333	0.443	0.614	0.725
2105302	Imperatriz	MA	25924.47	0.444	0.591	0.731	0.855
2105351	Itaipava do Grajaú	MA	4920.06	0.143	0.319	0.518	0.675
2105401	Itapecuru	MA	8797.73	0.338	0.431	0.599	0.7
2105427	Mirim Itinga do Maranhão	MA	11107.21	0.313	0.48	0.63	0.769

2105450	Jatobá	MA	5875.72	0.194	0.385	0.561	0.721
2105476	Jenipapo dos Vieiras	MA	5480.32	0.17	0.335	0.49	0.629
2105500	João Lisboa	MA	8287.46	0.299	0.454	0.641	0.783
2105609	Joselândia	MA	6154.28	0.251	0.367	0.561	0.682
2105807	Lago do Junco	MA	6178.77	0.32	0.388	0.581	0.674
2105906	Lago Verde	MA	6213.75	0.257	0.348	0.557	0.668
2105922	Lagoa do Mato	MA	6848.23	0.217	0.313	0.566	0.692
2105948	Lago dos Rodrigues	MA	8344.56	0.279	0.393	0.602	0.726
2105989	Lajeado Novo	MA	9430.43	0.149	0.374	0.589	0.779
2106003	Lima Campos	MA	12888.02	0.325	0.405	0.581	0.676
2106102	Loreto	MA	16003.68	0.293	0.398	0.582	0.694
2106300	Magalhães de Almeida	MA	5854.1	0.277	0.386	0.567	0.681
2106409	Mata Roma	MA	7334.4	0.267	0.39	0.57	0.691
2106607	Matões	MA	5244.87	0.222	0.33	0.55	0.674
2106631	Matões do Norte	MA	4699.67	0.209	0.342	0.533	0.663
2106672	Milagres do Maranhão	MA	6030.15	0.192	0.322	0.527	0.659
2106706	Mirador	MA	8741.93	0.26	0.368	0.545	0.657
2106755	Miranda do Norte	MA	17151.67	0.34	0.471	0.61	0.725
2107001	Montes Altos	MA	6975.7	0.234	0.412	0.575	0.724
2107209	Nina Rodrigues	MA	4484.9	0.278	0.415	0.585	0.712
2107258	Nova Colinas	MA	10458.89	0.22	0.371	0.566	0.708
2107308	Nova Iorque	MA	8053.01	0.32	0.416	0.584	0.686
2107407	Olho D'Água das Cunhãs	MA	7154.96	0.276	0.402	0.589	0.714
2107704	Paraibano	MA	6568.38	0.297	0.409	0.58	0.693
2107803	Parnarama	MA	5823.94	0.223	0.352	0.542	0.67
2107902	Passagem Franca	MA	6815.21	0.265	0.383	0.532	0.642
2108009	Pastos Bons	MA	9894.21	0.323	0.431	0.61	0.722
2108058	Paulino Neves	MA	6667.1	0.201	0.317	0.561	0.696
2108207	Pedreiras	MA	14705.56	0.39	0.502	0.682	0.797
2108454	Peritoró	MA	7959.81	0.238	0.354	0.564	0.69
2108702	Pio Xii	MA	7091.8	0.247	0.36	0.541	0.657
2108801	Pirapemas	MA	6012.5	0.286	0.384	0.576	0.686
2108900	Poção de Pedras	MA	7990.07	0.265	0.396	0.576	0.702
2109007	Porto Franco	MA	19854.89	0.34	0.504	0.684	0.829
2109106	Presidente Dutra	MA	11704.58	0.373	0.496	0.653	0.768
2109304	Presidente Vargas	MA	5097.1	0.254	0.389	0.587	0.72
2109403	Primeira Cruz	MA	4979.21	0.268	0.378	0.512	0.613
2109502	Riachão	MA	15759.97	0.231	0.38	0.576	0.717
2109551	Ribamar Fiquene	MA	10099.64	0.131	0.402	0.615	0.831
2109700	Sambaíba	MA	38915.83	0.292	0.403	0.565	0.674
2109759	Santa Filomena do Maranhão	MA	6135.39	0.16	0.337	0.525	0.68

2110104	Santa Quitéria do Maranhão	MA	6451.79	0.283	0.383	0.555	0.661
2110237	Santana do Maranhão	MA	4348.04	0.192	0.267	0.51	0.621
2110278	Santo Amaro do Maranhão	MA	5124.39	0.216	0.336	0.518	0.638
2110302	Santo Antônio dos Lopes	MA	113447.66	0.265	0.379	0.566	0.684
2110401	São Benedito do Rio Preto	MA	6070.72	0.272	0.368	0.541	0.645
2110609	São Bernardo São Domingos do Azeitão	MA	8816.39	0.222	0.374	0.572	0.715
2110658	São Domingos do Maranhão	MA	23804.32	0.289	0.398	0.59	0.707
2110708	São Félix de Balsas	MA	8017.04	0.283	0.394	0.582	0.699
2110807	São Francisco do Brejão	MA	10781.18	0.257	0.391	0.557	0.681
2110856	São Francisco do Maranhão	MA	8115.26	0.256	0.424	0.584	0.726
2110906	São João do Paraíso	MA	6031.69	0.27	0.349	0.528	0.624
2111052	São João do Soter	MA	10674.65	0.23	0.421	0.609	0.772
2111078	São João dos Patos	MA	5176.59	0.205	0.334	0.517	0.643
2111102	São José dos Basílios	MA	10343.26	0.347	0.478	0.615	0.729
2111250	São Luís Gonzaga do Maranhão	MA	6999.77	0.208	0.374	0.557	0.704
2111409	São Mateus do Maranhão	MA	6977.18	0.25	0.336	0.54	0.647
2111508	São Pedro da Água Branca	MA	9057.11	0.285	0.388	0.616	0.739
2111532	São Pedro dos Crentes	MA	7630.68	0.249	0.415	0.605	0.754
2111573	São Raimundo das Mangabeiras	MA	11274.14	0.226	0.365	0.6	0.746
2111607	São Raimundo do Doca Bezerra	MA	20683.03	0.31	0.451	0.61	0.736
2111631	São Roberto	MA	7194.22	0.212	0.34	0.516	0.639
2111672	Satubinha	MA	6450.78	0.198	0.285	0.516	0.631
2111722	Senador Alexandre Costa	MA	4766.83	0.191	0.319	0.493	0.616
2111748	Senador La Rocque	MA	6738.25	0.238	0.362	0.538	0.659
2111763	Sítio Novo	MA	10879.42	0.219	0.392	0.602	0.761
2111805	Sucupira do Norte	MA	8016.95	0.286	0.376	0.564	0.669
2111904	Sucupira do Riachão	MA	7155.23	0.259	0.398	0.579	0.71
2111953	Tasso Fragoso	MA	7612.63	0.249	0.378	0.568	0.696
2112001	Timbiras	MA	116445.26	0.261	0.445	0.599	0.749
2112100	Timon	MA	5266.5	0.241	0.344	0.537	0.65
2112209	Trizidela do Vale	MA	10754.47	0.362	0.479	0.649	0.764
2112233	Tuntum	MA	8875.29	0.328	0.434	0.606	0.715
2112308	Tutóia	MA	6708.4	0.254	0.387	0.572	0.701
2112506	Urbano Santos	MA	6750.49	0.236	0.343	0.561	0.684
2112605	Vargem Grande	MA	5519.49	0.299	0.379	0.588	0.693
2112704	Vila Nova dos Martírios	MA	5461.52	0.276	0.363	0.542	0.642
2112852		MA	8050.3	0.245	0.379	0.581	0.715

2200459	Alvorada do Gurguéia	PI	13884.66	0.273	0.403	0.578	0.702
2200806	Antônio Almeida	PI	22675.63	0.32	0.478	0.62	0.751
2201101	Avelino Lopes	PI	6759.8	0.256	0.367	0.554	0.67
2201150	Baixa Grande do Ribeiro	PI	65454.41	0.202	0.349	0.564	0.709
2201309	Barreiras do Piauí	PI	7353.81	0.358	0.413	0.557	0.629
2201705	Bertolínia	PI	9849.4	0.343	0.441	0.612	0.716
2201903	Bom Jesus	PI	35355.77	0.376	0.486	0.668	0.782
2202752	Colônia do Gurguéia	PI	8208.72	0.337	0.445	0.628	0.742
2202901	Corrente	PI	14540.63	0.386	0.474	0.642	0.74
2203008	Cristalândia do Piauí	PI	6590.56	0.288	0.416	0.573	0.691
2203107	Cristino Castro	PI	9659.51	0.344	0.46	0.566	0.663
2203206	Curimatá	PI	7938.47	0.329	0.489	0.607	0.733
2203230	Currais	PI	32119.24	0.226	0.339	0.542	0.664
2203602	Eliseu Martins	PI	8449.29	0.343	0.449	0.595	0.697
2204402	Gilbués	PI	17665.72	0.313	0.411	0.548	0.643
2205524	Júlio Borges	PI	7309.32	0.227	0.382	0.582	0.728
2205607	Landri Sales	PI	11844.77	0.367	0.451	0.584	0.67
2205904	Manoel Emídio	PI	8053.51	0.321	0.442	0.573	0.68
2206001	Marcos Parente	PI	8872.92	0.334	0.466	0.59	0.701
2206605	Monte Alegre do Piauí	PI	14847.26	0.3	0.387	0.578	0.682
2206654	Morro Cabeça no Tempo	PI	7532.1	0.213	0.317	0.542	0.665
2207405	Palmeira do Piauí	PI	14312.04	0.279	0.428	0.557	0.679
2207603	Parnaguá	PI	7629.27	0.295	0.362	0.575	0.673
2208551	Porto Alegre do Piauí	PI	8520.42	0.264	0.374	0.563	0.679
2208700	Redenção do Gurguéia	PI	7807.64	0.282	0.402	0.589	0.711
2208858	Riacho Frio	PI	8277.65	0.207	0.395	0.541	0.691
2208908	Ribeiro Gonçalves	PI	48076.94	0.333	0.439	0.601	0.708
2209203	Santa Filomena	PI	34627.48	0.281	0.393	0.544	0.651
2209302	Santa Luz	PI	7963	0.328	0.414	0.588	0.686
2209757	São Gonçalo do Gurguéia	PI	9616.43	0.229	0.384	0.56	0.699
2210623	Sebastião Barros	PI	10254.3	0.199	0.338	0.536	0.672
2210631	Sebastião Leal	PI	29192.12	0.219	0.369	0.562	0.703
2211209	Uruçuí	PI	59528.58	0.294	0.432	0.631	0.766
2901403	Angical	BA	9246.08	0.312	0.426	0.625	0.746
2902500	Baianópolis	BA	10091.3	0.259	0.383	0.589	0.718
2903201	Barreiras	BA	24676.48	0.408	0.572	0.721	0.858
2903904	Bom Jesus da Lapa	BA	14080.19	0.372	0.486	0.633	0.74
2904407	Brejolândia	BA	7419.89	0.271	0.414	0.592	0.724
2906105	Canápolis	BA	6339.19	0.285	0.435	0.565	0.688
2907103	Carinhanha	BA	6933.9	0.25	0.382	0.576	0.707
2907400	Catolândia	BA	20589.03	0.294	0.426	0.582	0.702

2908101	Cocos	BA	14840.75	0.26	0.413	0.596	0.736
2909109	Coribe	BA	7853.12	0.314	0.397	0.6	0.705
2909307	Correntina	BA	37915.24	0.279	0.442	0.603	0.742
2909406	Cotegipe	BA	8810.51	0.261	0.405	0.59	0.725
2909703	Cristópolis	BA	7603.61	0.282	0.427	0.614	0.75
2910776	Feira da Mata Formosa do Rio	BA	7722.45	0.292	0.442	0.588	0.716
2911105	Preto	BA	67321.52	0.376	0.449	0.618	0.707
2917359	Jaborandi	BA	45886.43	0.235	0.374	0.613	0.76
2919553	Luís Eduardo Magalhães	BA	57502.42	0.391	0.547	0.716	0.853
2920452	Mansidão	BA	5125.4	0.252	0.389	0.599	0.737
2923704	Paratinga	BA	6404.91	0.251	0.371	0.59	0.721
2926202	Riachão das Neves	BA	28481.74	0.267	0.389	0.578	0.701
2928109	Santa Maria da Vitória	BA	10360.61	0.322	0.449	0.614	0.734
2928208	Santana	BA	8485.24	0.348	0.471	0.608	0.717
2928406	Santa Rita de Cássia	BA	7432.29	0.329	0.453	0.605	0.719
2928901	São Desidério	BA	69979.13	0.272	0.398	0.579	0.702
2929057	São Félix do Coribe	BA	10657.65	0.308	0.462	0.639	0.778
2930154	Serra do Ramalho	BA	9088.06	0.233	0.413	0.595	0.75
2930303	Serra Dourada	BA	7663.52	0.271	0.436	0.608	0.752
2930758	Sítio do Mato	BA	6704.29	0.259	0.389	0.564	0.688
2930907	Tabocas do Brejo Velho	BA	10386.03	0.307	0.446	0.584	0.703
2933455	Wanderley	BA	9452.11	0.29	0.397	0.6	0.719
MATOIPIBA			10538.06	0.28	0.42	0.60	0.73

Apêndice S – Indicador de Renda percapita por municípios do MATOPIBA

GEOCODM	Municípios	SIGLA	Rendacap_1991	Rendacap_2000	Rendacap_2010	Rendacap_2018
1700251	Abreulândia	TO	109.42	186.14	624.03	790.47
1700301	Aguiarnópolis	TO	158.75	194.86	374.27	445.17
1700350	Aliança do Tocantins	TO	192.3	254.82	357.08	421.79
1700400	Almas	TO	114.97	219.3	369.39	471.65
1700707	Alvorada	TO	417.88	471.53	539.26	589.21
1701002	Ananás	TO	137.47	241.29	380.36	479.25
1701051	Angico	TO	84.69	218.35	288.86	385.94
1701101	Aparecida do Rio Negro	TO	165.55	194.8	320.54	372.52
1701309	Aragominas	TO	149.08	143.03	357.45	413.68
1701903	Araguacema	TO	181.99	263	308.94	368.67
1702000	Araguaçu	TO	232.83	368.3	435.22	532.35
1702109	Araguaína	TO	369.9	423.56	737.63	856.22
1702158	Araguanã	TO	120.26	278.68	372.96	491.01
1702208	Araguatins	TO	137.72	198.04	342.07	417.14
1702307	Arapoema	TO	199.39	319.2	442.33	546.04
1702406	Arraias	TO	214.65	286.18	418.64	496.98
1702554	Augustinópolis	TO	161.12	211.99	364.32	436.23
1702703	Aurora do Tocantins	TO	142.72	175.97	535.8	655.31
1702901	Axixá do Tocantins	TO	91.21	149.7	324.56	407.16
1703008	Babaçulândia	TO	112.1	134.07	313.37	376.05
1703057	Bandeirantes do Tocantins	TO	209.03	318.8	278	330.23
1703073	Barra do Ouro	TO	94.29	117.2	256.28	308.3
1703107	Barrolândia	TO	168.57	275.33	335.26	413.81
1703206	Bernardo Sayão	TO	143.3	398.33	347.03	480.49
1703305	Bom Jesus do Tocantins	TO	85.11	188.38	381.43	495.04
1703602	Brasilândia do Tocantins	TO	170.04	228.01	428.48	517.92
1703701	Brejinho de Nazaré	TO	147.55	235.47	414.87	515.79
1703800	Buriti do Tocantins	TO	99.71	145.99	287.05	353.16
1703826	Cachoeirinha	TO	89.16	103.17	241.7	288.41
1703842	Campos Lindos	TO	158.54	211.95	292.64	346.06
1703867	Cariri do Tocantins	TO	179.11	386.4	425.49	556.47
1703883	Carmolândia	TO	138.36	171.94	382.31	460.37
1703891	Carrasco Bonito	TO	42.39	112.41	234.45	309.02
1703909	Caseara	TO	198.86	235.27	447.52	527.75
1704105	Centenário	TO	79.73	138.82	280.17	353.78
1704600	Chapada de Areia	TO	105.1	325.14	376.48	518.26

	Chapada da					
1705102	Natividade	TO	99.98	293.29	315.34	433.47
	Colinas do					
1705508	Tocantins	TO	316.38	416.62	587.11	692.68
1705557	Combinado	TO	157.9	285.2	455.39	576.55
	Conceição do					
1705607	Tocantins	TO	129.39	203.47	310.96	383.82
	Couto					
1706001	Magalhães	TO	168.14	209.31	284.33	329.08
1706100	Cristalândia	TO	323.02	275.46	495.57	529.34
	Crixás do					
1706258	Tocantins	TO	136	206.93	341.27	419.79
1706506	Darcinópolis	TO	107.54	145.93	327.64	400.51
1707009	Dianópolis	TO	257.55	288.49	528.6	613.42
	Divinópolis do					
1707108	Tocantins	TO	166.45	227.96	507.04	620.43
	Dois Irmãos do					
1707207	Tocantins	TO	127.51	209.51	245.98	303.65
1707306	Dueré	TO	165.41	271.61	467.9	584.11
1707405	Esperantina	TO	73.58	101.11	174.51	210.91
1707553	Fátima	TO	197.13	274.57	464.94	562.84
1707652	Figueirópolis	TO	196.39	285.94	498.31	609.36
1707702	Filadélfia	TO	156.74	230.73	291.57	351.39
	Formoso do					
1708205	Araguaia	TO	200.56	331.73	429.17	532.31
	Fortaleza do					
1708254	Tabocão	TO	127.15	322.22	370	496.32
1708304	Goianorte	TO	192.04	221.7	329.64	376.9
1709005	Goiatins	TO	122.32	138.29	232.19	267.6
1709302	Guaraí	TO	283.61	339.9	722.83	862.12
1709500	Gurupi	TO	491.98	483.91	778.9	856.41
1709807	Ipueiras	TO	112.03	138.62	288.55	345.73
1710508	Itacajá	TO	123.58	224.99	304.55	385.47
1710706	Itaguatins	TO	118.62	145.6	281.62	335.15
1710904	Itapiratins	TO	100.14	119.01	357.54	434.93
	Itaporã do					
1711100	Tocantins	TO	159.11	292.11	363.13	459.97
1711506	Jaú do Tocantins	TO	188.22	245.49	523.53	634.17
1711803	Juarina	TO	100.88	159.55	265.5	329.01
	Lagoa da					
1711902	Confusão	TO	162.85	324.33	404.61	520.53
	Lagoa do					
1711951	Tocantins	TO	71.62	77.29	235.28	282.58
1712009	Lajeado	TO	195.04	312.38	527.21	655.04
1712157	Lavandeira	TO	102.79	95.03	330.96	392.19
1712405	Lizarda	TO	147.73	132.48	302.83	341.45
1712454	Luzinópolis	TO	97.17	154.55	319.83	399.12
	Marianópolis do					
1712504	Tocantins	TO	134.91	334.64	403.96	538.98
1712702	Mateiros	TO	69.46	98.94	307.46	382.63
	Maurilândia do					
1712801	Tocantins	TO	123.63	120.08	233.68	263.27

	Miracema do						
1713205	Tocantins	TO	524.73	528.85	533.46	537.13	
1713304	Miranorte	TO	347.35	361.49	410.45	432.28	
	Monte do						
1713601	Carmo	TO	160.96	195.11	351.96	415.44	
	Monte Santo do						
1713700	Tocantins	TO	159.09	221.55	280.98	333.72	
	Palmeiras do						
1713809	Tocantins	TO	100.02	140.71	307.43	377.45	
1713957	Muricilândia	TO	179.32	190.55	234.22	252.89	
1714203	Natividade	TO	187.5	282.97	446.32	547.14	
1714302	Nazaré	TO	110.07	156.2	302.39	369.84	
1714880	Nova Olinda	TO	183.38	285.24	365.84	447.31	
1715002	Nova Rosalândia	TO	202.2	309.21	299.38	358.64	
1715101	Novo Acordo	TO	137.51	293.96	374.83	488	
1715150	Novo Alegre	TO	184.7	230.74	433.31	516.42	
1715259	Novo Jardim	TO	90.14	203.95	259.32	340.68	
	Oliveira de						
1715507	Fátima	TO	154.63	457.93	396.97	555.7	
1715705	Palmeirante	TO	98.16	113.66	267.76	319.67	
1715754	Palmeirópolis	TO	322.18	339.21	463.45	507.93	
	Paraíso do						
1716109	Tocantins	TO	555.09	620.01	899.57	1015.07	
1716208	Paraná	TO	153.38	175.47	311.37	362.03	
1716307	Pau D'Arco	TO	200.32	241.66	380.41	443.02	
1716505	Pedro Afonso	TO	280.3	319.3	618.56	724.53	
1716604	Peixe	TO	151.58	244.1	547.9	686.14	
1716653	Pequizeiro	TO	165.06	207.38	313.34	367.38	
1716703	Colméia	TO	243.5	294.77	442.96	513.95	
	Pindorama do						
1717008	Tocantins	TO	171.74	221.36	293.47	342.31	
1717206	Piraquê	TO	118.1	219.69	319.42	406.06	
1717503	Pium	TO	211.95	305.06	411.25	494.78	
	Ponte Alta do						
1717800	Bom Jesus	TO	116.56	228.3	313.2	401.59	
	Ponte Alta do						
1717909	Tocantins	TO	143.72	249.79	308.4	386.18	
	Porto Alegre do						
1718006	Tocantins	TO	141.3	150.71	305.98	354.69	
1718204	Porto Nacional	TO	310.2	375.93	621.1	727.48	
1718303	Praia Norte	TO	97.81	89.39	210.53	239.4	
	Presidente						
1718402	Kennedy	TO	203.04	236.29	398.02	462.34	
1718451	Pugmil	TO	130.03	229.71	380.52	480.28	
1718501	Recursolândia	TO	66.37	104.2	168.85	208.78	
1718550	Riachinho	TO	74.39	99.31	182.97	220.72	
	Rio da						
1718659	Conceição	TO	87.12	156.84	256.83	325.08	
1718709	Rio dos Bois	TO	126.98	252.61	310.91	399.93	
1718758	Rio Sono	TO	143.3	121.34	285.17	318.09	
1718808	Sampaio	TO	61.78	116.53	239.06	304.92	
1718840	Sandolândia	TO	124.22	345.05	393.98	535.55	

1718865	Santa Fé do Araguaia	TO	147.04	218.12	342.15	417.88
1718881	Santa Maria do Tocantins	TO	83.61	136.92	334.09	419.91
1718899	Santa Rita do Tocantins	TO	128.96	212.98	402.99	504.6
1718907	Santa Rosa do Tocantins	TO	150.15	174.4	284.63	329.39
1719004	Santa Tereza do Tocantins	TO	148.26	146.45	373.96	436.3
1720002	Santa Terezinha do Tocantins	TO	57.06	107.94	301.14	384.44
1720101	São Bento do Tocantins	TO	80.39	137.89	324.27	409.51
1720150	São Félix do Tocantins	TO	76.01	237.6	244.55	340.1
1720200	São Miguel do Tocantins	TO	109.19	109.31	298.31	351.04
1720259	São Salvador do Tocantins	TO	175.33	157.46	318.39	352.87
1720309	São Sebastião do Tocantins	TO	137.7	120.93	198.01	209.77
1720499	São Valério	TO	165.77	245.29	344.49	418.2
1720655	Silvanópolis	TO	161.56	214.05	423.43	512.17
1720804	Sítio Novo do Tocantins	TO	96.58	133.23	245.11	297.51
1720853	Sucupira	TO	150.76	324.39	386.22	504.04
1720903	Taguatinga	TO	140.69	259.56	399.35	507.16
1720937	Taipas do Tocantins	TO	95.83	213.09	292.72	382.84
1720978	Talismã	TO	265.29	340.05	467.87	546.79
1721000	Palmas	TO	446.49	714.58	1087.35	1346.52
1721109	Tocantínia	TO	224.65	248.19	277.25	298.98
1721208	Tocantinópolis	TO	186.94	252.16	414.08	496.98
1721257	Tupirama	TO	115.7	201.92	401.76	507.39
1721307	Tupiratins	TO	210.3	263.23	337.79	389.23
1722081	Wanderlândia	TO	161.45	201.02	376.35	448.12
1722107	Xambioá	TO	220.56	288.71	450.43	534.97
2100055	Açailândia	MA	269.72	294.27	438.56	492.98
2100105	Afonso Cunha	MA	70.12	87.25	149.78	177.13
2100154	Água Doce do Maranhão	MA	89.32	96.12	172.55	197.78
2100303	Aldeias Altas	MA	94.82	112.18	179.92	208.85
2100436	Alto Alegre do Maranhão	MA	73.25	129.19	198.43	250.13
2100501	Alto Parnaíba	MA	152.16	184.36	559.61	682.81
2100600	Amarante do Maranhão	MA	107.77	116.3	231.79	268.91
2100808	Anapurus	MA	92.28	214.42	192.8	257.54
2100907	Araioses	MA	89.13	88.92	175.81	199.9
2100956	Arame	MA	92.78	129.69	210.09	253.87
2101202	Bacabal	MA	155.7	201.74	375.57	450.67

2101400	Balsas	MA	145.95	353.17	531.6	701.36
2101509	Barão de Grajaú	MA	98.11	151.92	292.55	362.9
2101608	Barra do Corda	MA	95.94	196.81	305.61	394.36
2101707	Barreirinhas	MA	74.44	119.52	197.08	244.81
2101731	Belágua	MA	67.65	84.11	107.14	123.09
2101806	Benedito Leite Bernardo do	MA	95.02	141.05	217.65	265.66
2101939	Mearim	MA	74.85	143.07	236.18	301.64
2102077	Bom Lugar	MA	80.14	96.88	164.44	192.96
2102101	Brejo	MA	100.25	100.14	200.25	228.08
2102200	Buriti	MA	100.92	107.6	157.21	174.9
2102309	Buriti Bravo	MA	115.63	123.43	229.21	263.2
2102358	Buritirana Campestre do	MA	87.91	99.74	230.11	273.28
2102556	Maranhão	MA	110.72	173.64	358	445.81
2102705	Cantanhede Capinzal do	MA	89.98	76.69	176.61	196.75
2102754	Norte	MA	95.95	112.64	200.15	234.2
2102804	Carolina	MA	143.41	232.35	334.51	414.5
2103000	Caxias	MA	141.02	206.26	324.9	395.75
2103208	Chapadinha	MA	127.05	145.19	251.75	291.95
2103257	Cidelândia	MA	119.16	159.98	263.53	316.03
2103307	Codó	MA	119.2	150.53	273.45	325.85
2103406	Coelho Neto	MA	146.01	167.17	236.47	268.04
2103505	Colinas	MA	161.53	147.23	279.81	308.46
2103604	Coroatá	MA	98.33	127.96	237.3	284.93
2103752	Davinópolis	MA	107.25	140.63	263.12	316.58
2103802	Dom Pedro	MA	174.57	250.16	298.33	355.54
2103901	Duque Bacelar	MA	79.16	114.67	163.87	198.15
2104008	Esperantinópolis	MA	100.26	137.61	262.41	318.82
2104057	Estreito Feira Nova do	MA	172.06	250.24	503.29	619.08
2104073	Maranhão	MA	52.02	115.04	192.39	250.45
2104081	Fernando Falcão Formosa da	MA	59.66	101	106.99	132.61
2104099	Serra Negra Fortaleza dos	MA	122.62	140.38	163.15	179.78
2104107	Nogueiras	MA	82.81	145.99	271.6	343.2
2104206	Fortuna	MA	85.28	157.66	257.81	327.64
2104404	Gonçalves Dias Governador	MA	183.47	205.54	233.2	253.69
2104503	Archer Governador	MA	128.93	131.62	237.47	268.52
2104552	Edison Lobão Governador	MA	94.46	154.86	312.56	391.49
2104602	Eugênio Barros Governador Luiz	MA	67.83	119.13	245.38	310.27
2104628	Rocha	MA	80.4	101.55	188.68	225.21
2104701	Graça Aranha	MA	88.96	120.35	227.51	275.55
2104800	Grajaú Humberto de	MA	137.73	170.6	340.1	406.37
2105005	Campos	MA	85.88	85.88	125.91	137.06

2105203	Igarapé Grande	MA	108.62	134.68	292.16	351.13
2105302	Imperatriz	MA	278.01	386.04	613.87	739.93
	Itaipava do					
2105351	Grajaú	MA	90.95	110.34	136.77	155.37
2105401	Itapecuru Mirim	MA	102.83	133.89	221.87	264.38
	Itinga do					
2105427	Maranhão	MA	222.86	364.43	336.91	411.26
2105450	Jatobá	MA	67.19	181.62	206.58	279.83
	Jenipapo dos					
2105476	Vieiras	MA	60.39	120.5	127.24	163.94
2105500	João Lisboa	MA	124.18	192.68	303.91	374.58
2105609	Joselândia	MA	91.81	101.84	221.23	260.3
2105807	Lago do Junco	MA	144.86	179.09	226.69	259.78
2105906	Lago Verde	MA	79.85	91.13	188.31	221.92
2105922	Lagoa do Mato	MA	82.56	86.43	210.29	247.04
	Lago dos					
2105948	Rodrigues	MA	101.44	119.73	252.89	300.58
2105989	Lajeado Novo	MA	112.01	157.62	263.2	319.04
2106003	Lima Campos	MA	142.88	157.89	292.37	338.53
2106102	Loreto	MA	67.46	104.97	198.73	246.58
	Magalhães de					
2106300	Almeida	MA	69.81	93.11	181.73	219.92
2106409	Mata Roma	MA	60.19	105.16	161.49	203.24
2106607	Matões	MA	83.76	113.76	202.66	244.81
	Matões do					
2106631	Norte	MA	51.11	80.5	133.33	165.08
	Milagres do					
2106672	Maranhão	MA	81.65	102.76	144.42	168.26
2106706	Mirador	MA	80.43	130.49	163.97	202.3
	Miranda do					
2106755	Norte	MA	129.55	191.87	245.25	296.23
2107001	Montes Altos	MA	97.22	162.6	221.57	275.88
2107209	Nina Rodrigues	MA	64.83	92.72	152.75	185.63
2107258	Nova Colinas	MA	33.24	88.99	181.59	239.69
2107308	Nova Iorque	MA	66.15	155.12	257.61	337.71
	Olho D'Água das					
2107407	Cunhãs	MA	107	140.96	247.36	296.68
2107704	Paraibano	MA	135.3	183.74	281.23	336.45
2107803	Parnarama	MA	75.99	97.3	183.8	220.24
	Passagem					
2107902	Franca	MA	102.08	118.93	210.4	245.65
2108009	Pastos Bons	MA	91.3	137.62	230.94	283.77
2108058	Paulino Neves	MA	78.99	73.28	159.46	180.16
2108207	Pedreiras	MA	175.29	220.77	441.42	529.24
2108454	Peritoró	MA	90.18	119.28	178.51	211.87
2108702	Pio Xii	MA	97.95	117.46	223.37	264.18
2108801	Pirapemas	MA	73.68	99.32	181.05	218.67
2108900	Poção de Pedras	MA	88.23	109.14	234.72	281.82
2109007	Porto Franco	MA	170.82	288.72	497.56	624.05
	Presidente					
2109106	Dutra	MA	152.06	230.43	398.15	490.28

	Presidente					
2109304	Vargas	MA	63.22	97.27	149.19	183.38
2109403	Primeira Cruz	MA	85.3	117.39	129.85	151.91
2109502	Riachão	MA	79.53	147.21	281.53	358.16
	Ribamar					
2109551	Fiquene	MA	106.76	165.92	317.75	394.32
2109700	Sambaíba	MA	108.24	129	233.92	275.18
	Santa Filomena					
2109759	do Maranhão	MA	73.85	101.79	140.76	167.8
	Santa Quitéria					
2110104	do Maranhão	MA	94.95	124.5	168.77	198.22
	Santana do					
2110237	Maranhão	MA	70.3	76.12	127.77	145.53
	Santo Amaro do					
2110278	Maranhão	MA	78.07	64.55	135.04	146.85
	Santo Antônio					
2110302	dos Lopes	MA	122.76	139.9	240.2	278.07
	São Benedito do					
2110401	Rio Preto	MA	54.62	76.86	147.34	179.86
2110609	São Bernardo	MA	87.99	95	196.57	228.93
	São Domingos					
2110658	do Azeitão	MA	95.38	119.21	288.68	349.7
	São Domingos					
2110708	do Maranhão	MA	107.03	178.55	243.74	303.34
	São Félix de					
2110807	Balsas	MA	63.42	141.81	199.47	260.95
	São Francisco do					
2110856	Brejão	MA	173.04	185.64	253.78	280.06
	São Francisco do					
2110906	Maranhão	MA	98.49	100.67	182.63	206.73
	São João do					
2111052	Paraíso	MA	86.25	167.55	251.04	321.4
	São João do					
2111078	Soter	MA	75.64	99.24	165.1	197.12
	São João dos					
2111102	Patos	MA	129.75	198.85	362.47	448.09
	São José dos					
2111250	Basílios	MA	60.72	121.25	180.77	232.42
	São Luís					
	Gonzaga do					
2111409	Maranhão	MA	120.43	98.14	182.83	193.51
	São Mateus do					
2111508	Maranhão	MA	105.45	157.35	396.29	492.93
	São Pedro da					
2111532	Água Branca	MA	159.77	177.37	289.7	331.19
	São Pedro dos					
2111573	Crentes	MA	102.74	96.71	257.76	299.14
	São Raimundo					
	das					
2111607	Mangabeiras	MA	119.39	211.4	301.25	379.59
	São Raimundo					
2111631	do Doca Bezerra	MA	112.27	100.1	156.4	165.04

2111672	São Roberto	MA	80.04	70.7	153.65	171.35
2111722	Satubinha	MA	87.52	86.51	131.73	143.74
	Senador					
2111748	Alexandre Costa	MA	82.67	127.72	203.17	250.29
	Senador La					
2111763	Rocque	MA	90.4	130.99	277.19	341.44
2111805	Sítio Novo	MA	82.33	148.87	190.06	240.08
	Sucupira do					
2111904	Norte	MA	65.1	109.45	210.88	264.83
	Sucupira do					
2111953	Riachão	MA	74.2	135.37	226.96	287.92
2112001	Tasso Fragoso	MA	57.33	129.4	264.76	344.22
2112100	Timbiras	MA	78.98	100.08	177.46	211.24
2112209	Timon	MA	149.22	205.21	365.26	442.29
2112233	Trizidela do Vale	MA	136.15	163.22	269.74	315.1
2112308	Tuntum	MA	97.69	128.73	221.27	265.03
2112506	Tutóia	MA	87.2	113.85	235.35	284.64
2112605	Urbano Santos	MA	92.68	94.53	186.07	212.65
2112704	Vargem Grande	MA	75.11	100.86	165.37	198.26
	Vila Nova dos					
2112852	Martírios	MA	74.34	145.96	252.89	324.17
	Alvorada do					
2200459	Gurguéia	PI	67.94	146.1	203.23	264.43
	Antônio					
2200806	Almeida	PI	63.16	159.48	293.53	386.68
2201101	Avelino Lopes	PI	97.21	104.55	218.97	255.1
	Baixa Grande do					
2201150	Ribeiro	PI	83.42	130.98	225.94	279.95
	Barreiras do					
2201309	Piauí	PI	113.7	168.34	260.79	318.2
2201705	Bertolândia	PI	90.6	150.04	325.94	409.38
2201903	Bom Jesus	PI	202.48	262.87	501.14	602.51
	Colônia do					
2202752	Gurguéia	PI	99.1	140.88	291.37	357.5
2202901	Corrente	PI	158.52	236.06	378.39	462.97
	Cristalândia do					
2203008	Piauí	PI	81.38	138.62	204.49	256
2203107	Cristino Castro	PI	103.2	244.69	307.32	406.74
2203206	Curimatá	PI	121.3	267.37	285.52	375.2
2203230	Currais	PI	48.69	98.52	168.68	217.1
2203602	Eliseu Martins	PI	91.21	155.09	370.7	467.78
2204402	Gilbués	PI	119.88	170.7	285.45	346.86
2205524	Júlio Borges	PI	43.02	81.82	179.61	229.33
2205607	Landri Sales	PI	133.87	173.88	266.01	314.86
2205904	Manoel Emídio	PI	63.35	130.66	222.62	287.24
2206001	Marcos Parente	PI	85.87	192.53	295.66	386.18
	Monte Alegre					
2206605	do Piauí	PI	120.42	126.56	217.23	246.05
	Morro Cabeça					
2206654	no Tempo	PI	58.71	79.27	150.52	182.28
	Palmeira do					
2207405	Piauí	PI	71.73	163.2	278.54	363.67

2207603	Parnaguá Porto Alegre do	PI	91.57	133.82	211.44	257.54
2208551	Piauí Redenção do	PI	71.27	114.28	228.65	285.43
2208700	Gurguéia	PI	77.63	123.32	255.92	319.33
2208858	Riacho Frio Ribeiro	PI	59.5	149.4	161.99	217.58
2208908	Gonçalves	PI	110.33	236	274.79	358.4
2209203	Santa Filomena	PI	104.82	155.92	216.61	263.12
2209302	Santa Luz São Gonçalo do	PI	81.86	120.79	228.71	281.33
2209757	Gurguéia Sebastião	PI	83.1	128.97	281.43	350.48
2210623	Barros	PI	46.09	98.02	189.25	244.75
2210631	Sebastião Leal	PI	43.4	112.67	198.01	261.92
2211209	Uruçuí	PI	124.67	177.16	364.39	446.96
2901403	Angical	BA	117.98	141.71	266.89	315.51
2902500	Baianópolis	BA	88.78	148.44	235.05	293.74
2903201	Barreiras Bom Jesus da	BA	305.76	432.93	602.82	723.83
2903904	Lapa	BA	171.18	247.5	367.62	445.3
2904407	Brejolândia	BA	99.56	126.81	221.22	263.31
2906105	Canápolis	BA	84.07	164.6	217.86	279.35
2907103	Carinhanha	BA	93.25	133.12	209.51	253.89
2907400	Catolândia	BA	93.18	125.66	251.21	305.01
2908101	Cocos	BA	116.62	160.51	258.27	310.93
2909109	Coribe	BA	143.52	115.46	237.03	254.64
2909307	Correntina	BA	134.99	183.7	285.96	342.67
2909406	Cotegipe	BA	104.36	150.64	237.5	288.51
2909703	Cristópolis	BA	130.66	149.21	239.23	275.06
2910776	Feira da Mata Formosa do Rio	BA	183.64	196.66	212.22	224.1
2911105	Preto	BA	193.84	280.66	287.94	340.27
2917359	Jaborandi Luís Eduardo	BA	94.93	118.09	281.14	339.98
2919553	Magalhães	BA	508.25	625.07	871.12	1007.35
2920452	Mansidão	BA	68.33	88.61	182.65	220.6
2923704	Paratinga Riachão das	BA	75.61	96.99	201.79	243.37
2926202	Neves Santa Maria da	BA	106.43	119.97	212.09	245.6
2928109	Vitória	BA	157.26	196.77	318.31	375.06
2928208	Santana Santa Rita de	BA	157.22	209	304.18	360.7
2928406	Cássia	BA	96.94	152.85	267.32	331.6
2928901	São Desidério São Félix do	BA	125.52	163.73	302.2	362.91
2929057	Coribe Serra do	BA	139.04	193.74	335.9	407.2
2930154	Ramalho	BA	71.49	122.5	216.59	272.36
2930303	Serra Dourada	BA	76.5	136.27	228.74	289.13
2930758	Sítio do Mato	BA	80.58	109.28	135.49	159.42

	Tabocas do					
2930907	Brejo Velho	BA	79.43	149.13	216.5	275.65
2933455	Wanderley	BA	123.65	203.15	275.76	342.05
	MATUPIBA		109.42	155.92	280.17	339.98

Apêndice T – Índice de GINI por municípios do MATOPIBA

GEOCODM	Municípios	SIGLA	Gini_1991	Gini_2000	Gini_2010	Gini_2018
1700251	Abreulândia	TO	0.45	0.47	0.71	0.788
1700301	Aguiarnópolis	TO	0.45	0.62	0.48	0.539
1700350	Aliança do Tocantins	TO	0.51	0.55	0.47	0.471
1700400	Almas	TO	0.61	0.59	0.57	0.553
1700707	Alvorada	TO	0.63	0.53	0.47	0.395
1701002	Ananás	TO	0.58	0.55	0.48	0.443
1701051	Angico	TO	0.41	0.52	0.47	0.52
1701101	Aparecida do Rio Negro	TO	0.56	0.46	0.48	0.428
1701309	Aragominas	TO	0.42	0.55	0.54	0.613
1701903	Araguacema	TO	0.56	0.71	0.56	0.605
1702000	Araguaçu	TO	0.54	0.56	0.49	0.482
1702109	Araguaína	TO	0.62	0.6	0.56	0.537
1702158	Araguanã	TO	0.42	0.72	0.52	0.638
1702208	Araguatins	TO	0.6	0.6	0.57	0.562
1702307	Arapoema	TO	0.5	0.62	0.51	0.549
1702406	Arraias	TO	0.63	0.69	0.61	0.622
1702554	Augustinópolis	TO	0.58	0.67	0.52	0.53
1702703	Aurora do Tocantins	TO	0.52	0.63	0.68	0.758
1702901	Axixá do Tocantins	TO	0.49	0.59	0.5	0.533
1703008	Babaçulândia	TO	0.49	0.56	0.49	0.511
	Bandeirantes do					
1703057	Tocantins	TO	0.5	0.63	0.55	0.603
1703073	Barra do Ouro	TO	0.46	0.62	0.55	0.623
1703107	Barrolândia	TO	0.53	0.57	0.44	0.427
1703206	Bernardo Sayão	TO	0.58	0.76	0.42	0.43
1703305	Bom Jesus do Tocantins	TO	0.42	0.64	0.5	0.588
	Brasilândia do					
1703602	Tocantins	TO	0.49	0.54	0.53	0.556
1703701	Brejinho de Nazaré	TO	0.56	0.64	0.55	0.571
1703800	Buriti do Tocantins	TO	0.55	0.62	0.56	0.584
1703826	Cachoeirinha	TO	0.28	0.49	0.47	0.586
1703842	Campos Lindos	TO	0.56	0.7	0.67	0.743
1703867	Cariri do Tocantins	TO	0.5	0.59	0.46	0.476
1703883	Carmolândia	TO	0.39	0.53	0.48	0.547
1703891	Carrasco Bonito	TO	0.48	0.63	0.56	0.627
1703909	Caseara	TO	0.59	0.6	0.61	0.619
1704105	Centenário	TO	0.33	0.62	0.63	0.801
1704600	Chapada de Areia	TO	0.36	0.72	0.51	0.66
1705102	Chapada da Natividade	TO	0.39	0.73	0.62	0.786
1705508	Colinas do Tocantins	TO	0.61	0.64	0.56	0.555
1705557	Combinado	TO	0.57	0.68	0.52	0.539
1705607	Conceição do Tocantins	TO	0.5	0.59	0.55	0.591
1706001	Couto Magalhães	TO	0.56	0.5	0.55	0.529
1706100	Cristalândia	TO	0.64	0.54	0.57	0.52
1706258	Crixás do Tocantins	TO	0.43	0.42	0.48	0.491
1706506	Darcinópolis	TO	0.46	0.46	0.51	0.524
1707009	Dianópolis	TO	0.54	0.59	0.57	0.593

	Divinópolis do					
1707108	Tocantins	TO	0.56	0.52	0.64	0.65
	Dois Irmãos do					
1707207	Tocantins	TO	0.53	0.57	0.56	0.58
1707306	Dueré	TO	0.5	0.56	0.56	0.595
1707405	Esperantina	TO	0.5	0.68	0.55	0.618
1707553	Fátima	TO	0.55	0.65	0.56	0.593
1707652	Figueirópolis	TO	0.52	0.54	0.52	0.526
1707702	Filadélfia	TO	0.63	0.6	0.54	0.506
1708205	Formoso do Araguaia	TO	0.56	0.61	0.52	0.524
1708254	Fortaleza do Tabocão	TO	0.53	0.67	0.46	0.483
1708304	Goianorte	TO	0.64	0.57	0.54	0.491
1709005	Goiatins	TO	0.54	0.73	0.61	0.687
1709302	Guaraí	TO	0.56	0.55	0.61	0.621
1709500	Gurupi	TO	0.62	0.57	0.54	0.503
1709807	Ipueiras	TO	0.44	0.56	0.43	0.463
1710508	Itacajá	TO	0.53	0.61	0.58	0.618
1710706	Itaguatins	TO	0.56	0.51	0.57	0.558
1710904	Itapiratins	TO	0.46	0.67	0.52	0.6
1711100	Itaporã do Tocantins	TO	0.41	0.54	0.44	0.487
1711506	Jaú do Tocantins	TO	0.49	0.55	0.64	0.7
1711803	Juarina	TO	0.43	0.62	0.52	0.602
1711902	Lagoa da Confusão	TO	0.49	0.66	0.51	0.567
1711951	Lagoa do Tocantins	TO	0.48	0.66	0.6	0.688
1712009	Lajeado	TO	0.72	0.5	0.58	0.475
1712157	Lavandeira	TO	0.43	0.55	0.51	0.568
1712405	Lizarda	TO	0.53	0.58	0.74	0.814
1712454	Luzinópolis	TO	0.34	0.62	0.49	0.616
	Marianópolis do					
1712504	Tocantins	TO	0.55	0.59	0.53	0.536
1712702	Mateiros	TO	0.44	0.61	0.52	0.593
	Maurilândia do					
1712801	Tocantins	TO	0.4	0.59	0.52	0.611
1713205	Miracema do Tocantins	TO	0.69	0.55	0.54	0.456
1713304	Miranorte	TO	0.65	0.61	0.48	0.421
1713601	Monte do Carmo	TO	0.53	0.54	0.62	0.648
	Monte Santo do					
1713700	Tocantins	TO	0.62	0.51	0.48	0.408
1713809	Palmeiras do Tocantins	TO	0.39	0.66	0.51	0.625
1713957	Muricilândia	TO	0.51	0.63	0.54	0.584
1714203	Natividade	TO	0.59	0.6	0.59	0.593
1714302	Nazaré	TO	0.57	0.56	0.52	0.503
1714880	Nova Olinda	TO	0.55	0.62	0.52	0.533
1715002	Nova Rosalândia	TO	0.48	0.66	0.52	0.585
1715101	Novo Acordo	TO	0.64	0.77	0.55	0.564
1715150	Novo Alegre	TO	0.72	0.61	0.52	0.431
1715259	Novo Jardim	TO	0.43	0.49	0.45	0.474
1715507	Oliveira de Fátima	TO	0.62	0.73	0.55	0.564
1715705	Palmeirante	TO	0.42	0.62	0.57	0.672
1715754	Palmeirópolis	TO	0.61	0.62	0.52	0.498
1716109	Paraíso do Tocantins	TO	0.62	0.69	0.62	0.641
1716208	Paraná	TO	0.55	0.65	0.65	0.708

1716307	Pau D'Arco	TO	0.47	0.69	0.52	0.6
1716505	Pedro Afonso	TO	0.57	0.59	0.5	0.487
1716604	Peixe	TO	0.57	0.54	0.62	0.625
1716653	Pequizeiro	TO	0.45	0.56	0.47	0.509
1716703	Colméia	TO	0.56	0.61	0.5	0.498
	Pindorama do					
1717008	Tocantins	TO	0.62	0.49	0.56	0.504
1717206	Piraquê	TO	0.39	0.7	0.52	0.649
1717503	Pium	TO	0.56	0.61	0.52	0.524
	Ponte Alta do Bom					
1717800	Jesus	TO	0.56	0.63	0.63	0.671
	Ponte Alta do					
1717909	Tocantins	TO	0.65	0.71	0.55	0.54
	Porto Alegre do					
1718006	Tocantins	TO	0.52	0.5	0.51	0.501
1718204	Porto Nacional	TO	0.58	0.6	0.54	0.535
1718303	Praia Norte	TO	0.58	0.63	0.53	0.531
1718402	Presidente Kennedy	TO	0.55	0.5	0.51	0.484
1718451	Pugmil	TO	0.4	0.57	0.44	0.502
1718501	Recursolândia	TO	0.46	0.66	0.64	0.75
1718550	Riachinho	TO	0.41	0.62	0.53	0.627
1718659	Rio da Conceição	TO	0.4	0.5	0.55	0.622
1718709	Rio dos Bois	TO	0.62	0.56	0.48	0.423
1718758	Rio Sono	TO	0.45	0.62	0.59	0.68
1718808	Sampaio	TO	0.37	0.61	0.5	0.608
1718840	Sandolândia	TO	0.45	0.56	0.47	0.509
1718865	Santa Fé do Araguaia	TO	0.45	0.57	0.54	0.601
	Santa Maria do					
1718881	Tocantins	TO	0.39	0.5	0.53	0.602
1718899	Santa Rita do Tocantins	TO	0.41	0.46	0.53	0.578
	Santa Rosa do					
1718907	Tocantins	TO	0.49	0.65	0.54	0.602
	Santa Tereza do					
1719004	Tocantins	TO	0.58	0.58	0.47	0.439
	Santa Terezinha do					
1720002	Tocantins	TO	0.48	0.54	0.54	0.575
1720101	São Bento do Tocantins	TO	0.44	0.56	0.56	0.63
1720150	São Félix do Tocantins	TO	0.27	0.79	0.64	0.899
	São Miguel do					
1720200	Tocantins	TO	0.5	0.58	0.56	0.601
	São Salvador do					
1720259	Tocantins	TO	0.55	0.56	0.61	0.63
	São Sebastião do					
1720309	Tocantins	TO	0.5	0.58	0.55	0.588
1720499	São Valério	TO	0.5	0.61	0.56	0.61
1720655	Silvanópolis	TO	0.61	0.56	0.56	0.531
1720804	Sítio Novo do Tocantins	TO	0.47	0.63	0.56	0.633
1720853	Sucupira	TO	0.5	0.58	0.5	0.524
1720903	Taguatinga	TO	0.6	0.65	0.64	0.666
1720937	Taipas do Tocantins	TO	0.45	0.51	0.55	0.596
1720978	Talismã	TO	0.63	0.69	0.48	0.456
1721000	Palmas	TO	0.64	0.63	0.58	0.56

1721109	Tocantínia	TO	0.64	0.64	0.62	0.614
1721208	Tocantinópolis	TO	0.6	0.6	0.52	0.498
1721257	Tupirama	TO	0.72	0.54	0.48	0.359
1721307	Tupiratins	TO	0.56	0.6	0.57	0.585
1722081	Wanderlândia	TO	0.47	0.46	0.51	0.518
1722107	Xambioá	TO	0.52	0.6	0.6	0.646
2100055	Açailândia	MA	0.62	0.62	0.56	0.543
2100105	Afonso Cunha	MA	0.39	0.52	0.59	0.685
	Água Doce do					
2100154	Maranhão	MA	0.45	0.56	0.59	0.662
2100303	Aldeias Altas	MA	0.46	0.54	0.59	0.65
	Alto Alegre do					
2100436	Maranhão	MA	0.42	0.58	0.51	0.583
2100501	Alto Parnaíba	MA	0.6	0.65	0.78	0.845
	Amarante do					
2100600	Maranhão	MA	0.68	0.6	0.59	0.541
2100808	Anapurus	MA	0.45	0.74	0.54	0.652
2100907	Araioses	MA	0.43	0.61	0.59	0.689
2100956	Arame	MA	0.55	0.54	0.72	0.764
2101202	Bacabal	MA	0.51	0.58	0.55	0.582
2101400	Balsas	MA	0.57	0.71	0.58	0.625
2101509	Barão de Grajaú	MA	0.53	0.63	0.52	0.547
2101608	Barra do Corda	MA	0.66	0.64	0.62	0.603
2101707	Barreirinhas	MA	0.49	0.63	0.61	0.686
2101731	Belágua	MA	0.43	0.69	0.63	0.764
2101806	Benedito Leite	MA	0.49	0.54	0.58	0.62
2101939	Bernardo do Mearim	MA	0.36	0.46	0.47	0.531
2102077	Bom Lugar	MA	0.44	0.56	0.49	0.54
2102101	Brejo	MA	0.54	0.71	0.64	0.719
2102200	Buriti	MA	0.4	0.54	0.63	0.736
2102309	Buriti Bravo	MA	0.56	0.56	0.55	0.547
2102358	Buritirana	MA	0.44	0.51	0.5	0.538
	Campestre do					
2102556	Maranhão	MA	0.49	0.6	0.48	0.51
2102705	Cantanhede	MA	0.49	0.55	0.6	0.649
2102754	Capinzal do Norte	MA	0.38	0.52	0.57	0.665
2102804	Carolina	MA	0.56	0.64	0.55	0.571
2103000	Caxias	MA	0.53	0.61	0.55	0.58
2103208	Chapadinha	MA	0.55	0.6	0.59	0.616
2103257	Cidelândia	MA	0.47	0.55	0.47	0.494
2103307	Codó	MA	0.52	0.61	0.57	0.611
2103406	Coelho Neto	MA	0.5	0.57	0.54	0.572
2103505	Colinas	MA	0.69	0.62	0.63	0.592
2103604	Coroatá	MA	0.5	0.62	0.58	0.638
2103752	Davinópolis	MA	0.44	0.46	0.45	0.459
2103802	Dom Pedro	MA	0.61	0.58	0.48	0.435
2103901	Duque Bacelar	MA	0.49	0.57	0.6	0.655
2104008	Esperantinópolis	MA	0.51	0.59	0.59	0.636
2104057	Estreito	MA	0.57	0.62	0.56	0.572
	Feira Nova do					
2104073	Maranhão	MA	0.49	0.57	0.62	0.68
2104081	Fernando Falcão	MA	0.6	0.56	0.55	0.524

	Formosa da Serra					
2104099	Negra	MA	0.48	0.8	0.63	0.768
	Fortaleza dos					
2104107	Nogueiras	MA	0.65	0.63	0.53	0.491
2104206	Fortuna	MA	0.51	0.63	0.56	0.61
2104404	Gonçalves Dias	MA	0.67	0.46	0.59	0.505
2104503	Governador Archer	MA	0.6	0.5	0.55	0.506
	Governador Edison					
2104552	Lobão	MA	0.53	0.53	0.46	0.44
	Governador Eugênio					
2104602	Barros	MA	0.55	0.53	0.58	0.582
2104628	Governador Luiz Rocha	MA	0.39	0.48	0.55	0.622
2104701	Graça Aranha	MA	0.38	0.46	0.53	0.596
2104800	Grajaú	MA	0.59	0.58	0.61	0.613
2105005	Humberto de Campos	MA	0.47	0.54	0.64	0.708
2105203	Igarapé Grande	MA	0.54	0.49	0.52	0.499
2105302	Imperatriz	MA	0.62	0.6	0.56	0.537
2105351	Itaipava do Grajaú	MA	0.47	0.6	0.55	0.611
2105401	Itapecuru Mirim	MA	0.5	0.57	0.56	0.598
2105427	Itinga do Maranhão	MA	0.47	0.69	0.52	0.6
2105450	Jatobá	MA	0.47	0.51	0.57	0.61
2105476	Jenipapo dos Vieiras	MA	0.51	0.6	0.67	0.742
2105500	João Lisboa	MA	0.5	0.53	0.44	0.432
2105609	Joselândia	MA	0.48	0.58	0.57	0.625
2105807	Lago do Junco	MA	0.47	0.55	0.6	0.66
2105906	Lago Verde	MA	0.4	0.56	0.51	0.589
2105922	Lagoa do Mato	MA	0.4	0.68	0.52	0.638
2105948	Lago dos Rodrigues	MA	0.4	0.49	0.47	0.517
2105989	Lajeado Novo	MA	0.57	0.52	0.6	0.593
2106003	Lima Campos	MA	0.53	0.54	0.56	0.571
2106102	Loreto	MA	0.6	0.65	0.54	0.538
2106300	Magalhães de Almeida	MA	0.49	0.64	0.59	0.663
2106409	Mata Roma	MA	0.49	0.64	0.57	0.637
2106607	Matões	MA	0.52	0.5	0.56	0.565
2106631	Matões do Norte	MA	0.4	0.54	0.57	0.659
2106672	Milagres do Maranhão	MA	0.4	0.52	0.54	0.615
2106706	Mirador	MA	0.48	0.58	0.64	0.715
2106755	Miranda do Norte	MA	0.54	0.54	0.47	0.45
2107001	Montes Altos	MA	0.47	0.64	0.56	0.636
2107209	Nina Rodrigues	MA	0.59	0.56	0.62	0.619
2107258	Nova Colinas	MA	0.6	0.73	0.54	0.562
2107308	Nova Iorque	MA	0.52	0.67	0.53	0.578
	Olho D'Água das					
2107407	Cunhãs	MA	0.45	0.6	0.53	0.597
2107704	Paraibano	MA	0.56	0.61	0.54	0.549
2107803	Parnarama	MA	0.47	0.57	0.55	0.602
2107902	Passagem Franca	MA	0.51	0.59	0.55	0.585
2108009	Pastos Bons	MA	0.55	0.67	0.55	0.586
2108058	Paulino Neves	MA	0.51	0.58	0.62	0.672
2108207	Pedreiras	MA	0.52	0.55	0.59	0.619
2108454	Peritoró	MA	0.45	0.63	0.6	0.696
2108702	Pio Xii	MA	0.46	0.53	0.53	0.571

2108801	Pirapemas	MA	0.41	0.53	0.6	0.689
2108900	Poção de Pedras	MA	0.47	0.53	0.54	0.578
2109007	Porto Franco	MA	0.57	0.59	0.57	0.576
2109106	Presidente Dutra	MA	0.55	0.58	0.56	0.572
2109304	Presidente Vargas	MA	0.45	0.57	0.61	0.691
2109403	Primeira Cruz	MA	0.55	0.53	0.6	0.608
2109502	Riachão	MA	0.52	0.62	0.6	0.652
2109551	Ribamar Fiquene	MA	0.46	0.66	0.57	0.661
2109700	Sambaíba	MA	0.56	0.7	0.55	0.589
2109759	Santa Filomena do Maranhão	MA	0.43	0.53	0.58	0.652
2110104	Santa Quitéria do Maranhão	MA	0.49	0.59	0.51	0.546
2110237	Santana do Maranhão	MA	0.41	0.54	0.57	0.654
2110278	Santo Amaro do Maranhão	MA	0.56	0.57	0.62	0.64
2110302	Santo Antônio dos Lopes	MA	0.51	0.54	0.57	0.596
2110401	São Benedito do Rio Preto	MA	0.42	0.66	0.62	0.748
2110609	São Bernardo São Domingos do	MA	0.51	0.62	0.59	0.645
2110658	Azeitão São Domingos do	MA	0.53	0.5	0.69	0.726
2110708	Maranhão	MA	0.52	0.55	0.6	0.631
2110807	São Félix de Balsas	MA	0.51	0.52	0.57	0.59
2110856	São Francisco do Brejão São Francisco do	MA	0.54	0.57	0.51	0.511
2110906	Maranhão	MA	0.41	0.59	0.57	0.669
2111052	São João do Paraíso	MA	0.51	0.62	0.53	0.569
2111078	São João do Soter	MA	0.42	0.52	0.52	0.578
2111102	São João dos Patos	MA	0.51	0.6	0.56	0.601
2111250	São José dos Basílios São Luís Gonzaga do	MA	0.4	0.49	0.55	0.619
2111409	Maranhão São Mateus do	MA	0.42	0.55	0.55	0.625
2111508	Maranhão São Pedro da Água	MA	0.44	0.59	0.68	0.792
2111532	Branca	MA	0.6	0.54	0.53	0.492
2111573	São Pedro dos Crentes São Raimundo das	MA	0.48	0.57	0.51	0.545
2111607	Mangabeiras São Raimundo do Doca	MA	0.62	0.73	0.55	0.564
2111631	Bezerra	MA	0.48	0.52	0.54	0.569
2111672	São Roberto	MA	0.43	0.55	0.54	0.607
2111722	Satubinha Senador Alexandre	MA	0.37	0.58	0.58	0.702
2111748	Costa	MA	0.5	0.52	0.51	0.519
2111763	Senador La Rocque	MA	0.47	0.51	0.53	0.559
2111805	Sítio Novo	MA	0.6	0.58	0.59	0.581
2111904	Sucupira do Norte	MA	0.5	0.58	0.59	0.639
2111953	Sucupira do Riachão	MA	0.38	0.54	0.51	0.594

2112001	Tasso Fragoso	MA	0.55	0.54	0.58	0.585
2112100	Timbiras	MA	0.46	0.61	0.62	0.71
2112209	Timon	MA	0.49	0.52	0.5	0.512
2112233	Trizidela do Vale	MA	0.49	0.44	0.46	0.437
2112308	Tuntum	MA	0.52	0.57	0.57	0.599
2112506	Tutóia	MA	0.51	0.6	0.56	0.601
2112605	Urbano Santos	MA	0.5	0.68	0.6	0.682
2112704	Vargem Grande	MA	0.5	0.51	0.59	0.618
2112852	Vila Nova dos Martírios	MA	0.55	0.53	0.45	0.416
2200459	Alvorada do Gurguéia	PI	0.59	0.63	0.6	0.615
2200806	Antônio Almeida	PI	0.47	0.48	0.51	0.524
2201101	Avelino Lopes	PI	0.55	0.54	0.56	0.56
	Baixa Grande do					
2201150	Ribeiro	PI	0.45	0.7	0.56	0.666
2201309	Barreiras do Piauí	PI	0.51	0.5	0.53	0.533
2201705	Bertolândia	PI	0.61	0.62	0.53	0.511
2201903	Bom Jesus	PI	0.77	0.64	0.62	0.539
2202752	Colônia do Gurguéia	PI	0.53	0.46	0.49	0.458
2202901	Corrente	PI	0.65	0.63	0.6	0.58
2203008	Cristalândia do Piauí	PI	0.57	0.6	0.61	0.63
2203107	Cristino Castro	PI	0.59	0.68	0.59	0.617
2203206	Curimatá	PI	0.64	0.75	0.55	0.558
2203230	Currais	PI	0.56	0.51	0.51	0.481
2203602	Eliseu Martins	PI	0.53	0.55	0.57	0.587
2204402	Gilbués	PI	0.54	0.67	0.68	0.758
2205524	Júlio Borges	PI	0.54	0.59	0.53	0.542
2205607	Landri Sales	PI	0.52	0.58	0.54	0.564
2205904	Manoel Emídio	PI	0.54	0.51	0.55	0.544
2206001	Marcos Parente	PI	0.43	0.54	0.48	0.527
2206605	Monte Alegre do Piauí	PI	0.59	0.62	0.57	0.573
	Morro Cabeça no					
2206654	Tempo	PI	0.45	0.49	0.58	0.628
2207405	Palmeira do Piauí	PI	0.49	0.41	0.6	0.607
2207603	Parnaguá	PI	0.5	0.56	0.56	0.595
2208551	Porto Alegre do Piauí	PI	0.43	0.52	0.49	0.534
2208700	Redenção do Gurguéia	PI	0.48	0.5	0.57	0.601
2208858	Riacho Frio	PI	0.51	0.56	0.6	0.64
2208908	Ribeiro Gonçalves	PI	0.5	0.58	0.57	0.614
2209203	Santa Filomena	PI	0.57	0.57	0.59	0.596
2209302	Santa Luz	PI	0.49	0.47	0.51	0.51
	São Gonçalo do					
2209757	Gurguéia	PI	0.43	0.46	0.67	0.746
2210623	Sebastião Barros	PI	0.49	0.41	0.59	0.594
2210631	Sebastião Leal	PI	0.59	0.45	0.58	0.535
2211209	Uruçuí	PI	0.57	0.54	0.53	0.51
2901403	Angical	BA	0.51	0.51	0.54	0.548
2902500	Baianópolis	BA	0.54	0.7	0.57	0.626
2903201	Barreiras	BA	0.6	0.62	0.56	0.555
2903904	Bom Jesus da Lapa	BA	0.56	0.63	0.6	0.632
2904407	Brejolândia	BA	0.44	0.57	0.56	0.633
2906105	Canápolis	BA	0.45	0.6	0.49	0.546
2907103	Carinhanha	BA	0.49	0.57	0.51	0.54

2907400	Catolândia	BA	0.53	0.53	0.51	0.504
2908101	Cocos	BA	0.54	0.61	0.56	0.587
2909109	Coribe	BA	0.48	0.61	0.58	0.647
2909307	Correntina	BA	0.59	0.6	0.58	0.58
2909406	Cotegipe	BA	0.55	0.53	0.56	0.557
2909703	Cristópolis	BA	0.53	0.53	0.54	0.543
2910776	Feira da Mata	BA	0.68	0.59	0.54	0.474
2911105	Formosa do Rio Preto	BA	0.74	0.8	0.6	0.579
2917359	Jaborandi	BA	0.46	0.62	0.62	0.713
	Luís Eduardo					
2919553	Magalhães	BA	0.71	0.63	0.62	0.571
2920452	Mansidão	BA	0.44	0.69	0.55	0.656
2923704	Paratinga	BA	0.47	0.66	0.55	0.629
2926202	Riachão das Neves	BA	0.51	0.57	0.53	0.554
2928109	Santa Maria da Vitória	BA	0.6	0.64	0.54	0.535
2928208	Santana	BA	0.58	0.62	0.54	0.541
2928406	Santa Rita de Cássia	BA	0.51	0.67	0.6	0.673
2928901	São Desidério	BA	0.59	0.55	0.57	0.552
2929057	São Félix do Coribe	BA	0.49	0.56	0.5	0.524
2930154	Serra do Ramalho	BA	0.56	0.63	0.53	0.543
2930303	Serra Dourada	BA	0.46	0.6	0.51	0.566
2930758	Sítio do Mato	BA	0.4	0.57	0.59	0.694
2930907	Tabocas do Brejo Velho	BA	0.47	0.59	0.54	0.596
2933455	Wanderley	BA	0.59	0.64	0.59	0.605
	MATOPIBA		0.51	0.58	0.55	0.59

Apêndice U – Indicador do Potencial de Aquecimento global (GWP) por habitantes nos municípios do MATOPIBA

GEOCODM	Municípios	SIGLA	tCO2_hab_2018	tCO2_hab_2010	tCO2_hab_2000	tCO2_hab_1990
1700251	Abreulândia	TO	50.36	39.41	27.81	15.05
1700301	Aguiarnópolis	TO	12.95	15.75	6.78	4.76
	Aliança do					
1700350	Tocantins	TO	28.86	25.33	21.2	16.91
1700400	Almas	TO	18.66	12.02	7.6	1.02
1700707	Alvorada	TO	26.29	21.51	16.71	11.26
1701002	Ananás	TO	19.86	21.29	25.29	28.06
1701051	Angico	TO	8.93	14.27	12.46	15.38
	Aparecida do					
1701101	Rio Negro	TO	16.75	15.46	18.96	19.61
1701309	Aragominas	TO	31.57	36.08	22.24	19.26
1701903	Araguacema	TO	20.52	23.59	22.51	24.17
1702000	Araguaçu	TO	85.05	68.98	47.86	27.32
1702109	Araguaína	TO	5.09	5.62	5.52	5.85
1702158	Araguanã	TO	27.79	40.25	37.75	45.32
1702208	Araguatins	TO	9.76	7.42	8.28	7.03
1702307	Arapoema	TO	44.23	46.86	34.95	31.51
1702406	Arraias	TO	38.87	30.1	23.24	14.09
1702554	Augustinópolis	TO	7.74	7.35	7.08	6.69
	Aurora do					
1702703	Tocantins	TO	25.78	29.64	21.01	19.88
	Axixá do					
1702901	Tocantins	TO	8.02	7.4	4.95	3.43
1703008	Babaçulândia	TO	10.67	11.6	8.59	7.91
	Bandeirantes do					
1703057	Tocantins	TO	84.16	89.87	99.67	107.99
1703073	Barra do Ouro	TO	14.4	15.12	10.69	9.23
1703107	Barrolândia	TO	26.95	25.76	19.22	15.5
1703206	Bernardo Sayão	TO	44.44	51.01	49.4	53.26
	Bom Jesus do					
1703305	Tocantins	TO	19.13	14.96	16.63	14.46
	Brasilândia do					
1703602	Tocantins	TO	41.58	32.71	24.25	14.33
	Brejinho de					
1703701	Nazaré	TO	24.42	32.49	23.34	24.91
	Buriti do					
1703800	Tocantins	TO	6.63	4.9	3.52	1.7
1703826	Cachoeirinha	TO	8.14	9.12	7.43	7.36
1703842	Campos Lindos	TO	19.4	12.6	6.2	-1.37
	Cariri do					
1703867	Tocantins	TO	65.42	57.39	39.63	26.17
1703883	Carmolândia	TO	27.66	56.48	34.96	45.51
1703891	Carrasco Bonito	TO	11.07	7.88	8.42	6.44
1703909	Caseara	TO	31.68	18.96	26.63	21.16
1704105	Centenário	TO	14.26	11.79	10.92	8.81

1704600	Chapada de Areia	TO	43.03	44.25	36.76	34.29
1705102	Chapada da Natividade	TO	25.41	21.5	16.08	10.96
1705508	Colinas do Tocantins	TO	10.82	10.11	10.42	10.06
1705557	Combinado	TO	11.87	12.33	12.74	13.24
1705607	Conceição do Tocantins	TO	17.35	13.21	17.81	16.96
1706001	Couto					
1706001	Magalhães	TO	27.88	28.36	20.35	17.14
1706100	Cristalândia	TO	23.95	20.64	19.53	16.73
1706258	Crixás do Tocantins	TO	56.07	62.94	64.33	69.73
1706506	Darcinópolis	TO	17.18	13.48	12.23	9.1
1707009	Dianópolis	TO	7.1	6.63	5.99	5.38
1707108	Divinópolis do Tocantins	TO	34.6	35.25	27.06	23.89
1707207	Dois Irmãos do Tocantins	TO	42.45	39.14	33.83	29.17
1707306	Dueré	TO	74.58	54.34	45.65	27.7
1707405	Esperantina	TO	5.23	5.89	3.85	3.41
1707553	Fátima	TO	15.86	16.68	13.01	11.96
1707652	Figueirópolis	TO	45.73	42.62	37.64	33.27
1707702	Filadélfia	TO	22.78	21.62	14.04	9.88
1708205	Formoso do Araguaia	TO	36.98	28.14	26.09	19.02
1708254	Fortaleza do Tabocão	TO	110.53	79.98	40.04	1.08
1708304	Goianorte	TO	41.09	38.1	27.01	20.02
1709005	Goiatins	TO	11.76	10.4	6.75	4.19
1709302	Guaraí	TO	11.97	13.81	9.96	9.54
1709500	Gurupi	TO	4.75	6.3	5.35	6.01
1709807	Ipueiras	TO	21.7	21.78	27.31	29.81
1710508	Itacajá	TO	22.74	20.67	14.81	10.77
1710706	Itaguatins	TO	19.19	14.63	9.91	4.64
1710904	Itapiratins	TO	36.03	29.28	20.45	11.84
1711100	Itaporã do Tocantins	TO	80.47	74.5	60.7	50.43
1711506	Jaú do Tocantins	TO	46.12	43.18	35.11	29.49
1711803	Juarina	TO	26.45	27.49	23.14	21.94
1711902	Lagoa da Confusão	TO	52.65	32.23	40.77	30.32
1711951	Lagoa do Tocantins	TO	7.32	8.52	6.8	6.87
1712009	Lajeado	TO	9.5	10.92	7.24	6.6
1712157	Lavandeira	TO	22.29	28.67	20.51	21.34
1712405	Lizarda	TO	13.68	11.42	9.72	7.39
1712454	Luzinópolis	TO	8.11	11.37	9.71	11.25
1712504	Marianópolis do Tocantins	TO	44.28	50.82	44.05	45.61
1712702	Mateiros	TO	29.09	17.75	6.35	-6.6

	Maurilândia do					
1712801	Tocantins	TO	15.68	13.13	7.39	3.07
	Miracema do					
1713205	Tocantins	TO	15.51	13.15	7.49	3.34
1713304	Miranorte	TO	17.24	16.08	10.16	6.73
	Monte do					
1713601	Carmo	TO	24.74	28.03	25.97	27.35
	Monte Santo do					
1713700	Tocantins	TO	53.11	49.29	41.8	35.82
	Palmeiras do					
1713809	Tocantins	TO	10.77	11.94	9.75	9.6
1713957	Muricilândia	TO	37.36	55.64	54.76	67.11
1714203	Natividade	TO	17.68	12.44	11.18	6.97
1714302	Nazaré	TO	10.96	10.58	7.26	5.53
1714880	Nova Olinda	TO	25.47	30.1	16.67	13.95
1715002	Nova Rosalândia	TO	12.17	14.85	17.49	20.53
1715101	Novo Acordo	TO	9.01	8.46	5.76	4.18
1715150	Novo Alegre	TO	18.09	16.63	12.26	9.31
1715259	Novo Jardim	TO	9.79	12.26	7.69	7.39
	Oliveira de					
1715507	Fátima	TO	19.37	25.56	20.46	22.52
1715705	Palmeirante	TO	23.9	21.33	15.12	10.58
1715754	Palmeirópolis	TO	17.26	20.13	19.25	20.86
	Paraíso do					
1716109	Tocantins	TO	6.73	6.55	6.58	6.47
1716208	Paraná	TO	25.32	19.48	22.18	19.31
1716307	Pau D'Arco	TO	38.28	41.49	30.81	28.32
1716505	Pedro Afonso	TO	29.3	8.8	8.38	-6.09
1716604	Peixe	TO	38.71	36.05	32.38	28.9
1716653	Pequizeiro	TO	40.71	36.14	28.9	22.51
1716703	Colméia	TO	25.47	21.84	14.09	8.13
	Pindorama do					
1717008	Tocantins	TO	22.67	23.21	19.02	17.54
1717206	Piraquê	TO	63.14	71.7	68.48	73.02
1717503	Pium	TO	57.88	45.65	45.77	37.3
	Ponte Alta do					
1717800	Bom Jesus	TO	15.02	12.34	11.2	8.83
	Ponte Alta do					
1717909	Tocantins	TO	17.18	17.4	17.82	18.16
	Porto Alegre do					
1718006	Tocantins	TO	6.45	5.4	7.5	7.7
1718204	Porto Nacional	TO	8.32	7.43	6.55	5.54
1718303	Praia Norte	TO	5.97	4.18	1.54	-0.88
	Presidente					
1718402	Kennedy	TO	27.36	23.6	18.6	13.77
1718451	Pugmil	TO	20.98	36.91	17.79	20.43
1718501	Recursolândia	TO	18.22	16.04	12.62	9.59
1718550	Riachinho	TO	15.9	15.52	17.36	17.91
	Rio da					
1718659	Conceição	TO	1.81	2.7	2.93	3.65
1718709	Rio dos Bois	TO	16.49	11.71	18.96	18.84
1718758	Rio Sono	TO	16.33	15.12	13.41	11.81

1718808	Sampaio	TO	5.68	5.22	4.35	3.64
1718840	Sandolândia	TO	100.05	83.5	58.38	35.73
1718865	Santa Fé do Araguaia	TO	33.3	46.96	49	59.42
1718881	Santa Maria do Tocantins	TO	20.17	20.96	17.29	16.22
1718899	Santa Rita do Tocantins	TO	111.71	80.57	65.6	37.28
1718907	Santa Rosa do Tocantins	TO	22.26	15.61	14.67	9.62
1719004	Santa Tereza do Tocantins	TO	13.56	16.46	12.9	13.34
1720002	Santa Terezinha do Tocantins	TO	9.38	12.9	8.76	9.38
1720101	São Bento do Tocantins	TO	22.54	8.57	8.62	-1.09
1720150	São Félix do Tocantins	TO	5.78	7.55	7.65	8.93
1720200	São Miguel do Tocantins	TO	3.59	3.66	3.46	3.42
1720259	São Salvador do Tocantins	TO	17.78	13.63	13.41	10.42
1720309	São Sebastião do Tocantins	TO	11.82	8.39	3.46	-1.11
1720499	São Valério	TO	32.44	28.4	17.09	9.27
1720655	Silvanópolis	TO	19.59	17.67	17.6	16.23
1720804	Sítio Novo do Tocantins	TO	9.3	7.99	6.49	4.91
1720853	Sucupira	TO	61.02	73.48	68.78	75.38
1720903	Taguatinga	TO	13.73	13.72	12.69	12.23
1720937	Taipas do Tocantins	TO	15.3	17.8	24.9	29.78
1720978	Talismã	TO	79.35	82.89	64.82	59.29
1721000	Palmas	TO	1.78	1.71	1.62	1.53
1721109	Tocantínia	TO	5.23	4.73	5.5	5.49
1721208	Tocantinópolis	TO	2.89	3.29	3.64	4.07
1721257	Tupirama	TO	27.99	11.77	11.88	0.63
1721307	Tupiratins	TO	15.37	16.22	11.19	9.56
1722081	Wanderlândia	TO	8.23	12.78	10.51	12.68
1722107	Xambioá	TO	17.07	17.44	14.4	13.31
2100055	Açailândia	MA	8.76	14.1	5.7	5.7
2100105	Afonso Cunha	MA	2.9	1.2	2.6	2.04
2100154	Água Doce do Maranhão	MA	1.07	1.41	1.1	1.2
2100303	Aldeias Altas	MA	2.17	2.18	2.22	2.24
2100436	Alto Alegre do Maranhão	MA	5.5	3.54	2.31	0.4
2100501	Alto Parnaíba	MA	13.99	8.29	6.03	1.06
2100600	Amarante do Maranhão	MA	13.28	10.98	5.73	1.8
2100808	Anapurus	MA	1.13	1.63	1.93	2.41
2100907	Araioses	MA	1.22	1.99	1.44	1.73

2100956	Arame	MA	9.51	5.78	4.48	1.31
2101202	Bacabal	MA	2.95	2.95	1.81	1.31
2101400	Balsas	MA	6.42	4.07	3.66	1.84
2101509	Barão de Grajaú	MA	3.45	2.74	2.49	1.88
2101608	Barra do Corda	MA	4.18	3.6	1.81	0.61
2101707	Barreirinhas	MA	1.03	1.05	0.88	0.82
2101731	Belágua	MA	0.69	0.98	1.81	2.38
2101806	Benedito Leite Bernardo do	MA	5.2	5.13	3.7	3.02
2101939	Mearim	MA	9.05	10.27	11.19	12.45
2102077	Bom Lugar	MA	5.94	6.3	6.47	6.8
2102101	Brejo	MA	1.69	1.71	1.48	1.39
2102200	Buriti	MA	1.49	1.99	2.39	2.92
2102309	Buriti Bravo	MA	2.88	2.9	2.63	2.52
2102358	Buritirana Campestre do	MA	8.92	8.89	4.07	1.92
2102556	Maranhão	MA	13.32	7.41	7.59	3.55
2102705	Cantanhede Capinzal do	MA	1.49	1.49	1.28	1.19
2102754	Norte	MA	6.56	7.53	6.96	7.38
2102804	Carolina	MA	10.24	8.39	6.07	3.75
2103000	Caxias	MA	1.85	1.58	1.11	0.71
2103208	Chapadinha	MA	1.21	1.5	1.66	1.93
2103257	Cidelândia	MA	17.01	14.33	11.73	8.71
2103307	Codó	MA	2.44	1.82	1.95	1.58
2103406	Coelho Neto	MA	1.59	1.21	1.26	1.02
2103505	Colinas	MA	4.51	2.75	1.69	-0.01
2103604	Coroatá	MA	1.83	1.6	1.97	1.97
2103752	Davinópolis	MA	3.43	4.51	3.1	3.23
2103802	Dom Pedro	MA	3.38	3.03	2.27	1.69
2103901	Duque Bacelar	MA	1.38	1.42	1.77	1.95
2104008	Esperantinópolis	MA	3.3	2.62	1.92	1.14
2104057	Estreito Feira Nova do	MA	7.49	8.33	5.08	4.23
2104073	Maranhão	MA	16.05	9.95	9.84	5.54
2104081	Fernando Falcão Formosa da	MA	4.72	3.64	5.16	5.08
2104099	Serra Negra Fortaleza dos	MA	13.2	8.39	6.76	2.69
2104107	Nogueiras	MA	13.95	11.13	5.34	0.81
2104206	Fortuna	MA	5.32	4.7	2.9	1.67
2104404	Gonçalves Dias Governador	MA	4.68	2.64	2.63	1.2
2104503	Archer Governador	MA	6.07	4.1	3.76	2.24
2104552	Edison Lobão Governador	MA	5.88	6.47	3.86	3.12
2104602	Eugênio Barros Governador Luiz	MA	3.79	2.98	1.83	0.76
2104628	Rocha	MA	3.89	2.71	1.37	-0.05
2104701	Graça Aranha	MA	3.45	3.1	2.82	2.45
2104800	Grajaú	MA	7.36	5.27	2.21	-0.6

	Humberto de					
2105005	Campos	MA	0.71	1.26	1.35	1.77
2105203	Igarapé Grande	MA	4.22	3.53	3.92	3.61
2105302	Imperatriz	MA	3.89	2.13	1.53	0.04
	Itaipava do					
2105351	Grajaú	MA	4.2	4.68	3.14	2.79
2105401	Itapecuru Mirim	MA	1.91	1.97	2.05	2.13
	Itinga do					
2105427	Maranhão	MA	10.37	11.25	7.6	6.6
2105450	Jatobá	MA	5.3	2.68	3.21	1.62
	Jenipapo dos					
2105476	Vieiras	MA	7.93	7.63	3.99	2.17
2105500	João Lisboa	MA	7.83	9.55	1.85	-0.36
2105609	Joselândia	MA	2.84	3.14	2.88	2.97
2105807	Lago do Junco	MA	2.33	2.26	2.12	2.01
2105906	Lago Verde	MA	5.64	5.11	4.38	3.69
2105922	Lagoa do Mato	MA	4.22	3.71	4.36	4.29
	Lago dos					
2105948	Rodrigues	MA	3.98	4.02	3.27	2.97
2105989	Lajeado Novo	MA	14.21	13.65	11.03	9.48
2106003	Lima Campos	MA	1.98	1.68	1.55	1.28
2106102	Loreto	MA	12.66	6.25	5	-0.02
	Magalhães de					
2106300	Almeida	MA	2.3	2.55	2.02	1.96
2106409	Mata Roma	MA	1.45	1.36	1.22	1.1
2106607	Matões	MA	1.44	1.22	1.87	2
	Matões do					
2106631	Norte	MA	3.04	4.19	5.43	6.78
	Milagres do					
2106672	Maranhão	MA	1.66	2.57	5.15	6.93
2106706	Mirador	MA	5.16	4.24	3.19	2.08
	Miranda do					
2106755	Norte	MA	14.58	4.33	2.03	-6.13
2107001	Montes Altos	MA	9.78	9.4	5.37	3.32
2107209	Nina Rodrigues	MA	1.24	1.33	1.6	1.78
2107258	Nova Colinas	MA	14.38	10.59	14.43	13.49
2107308	Nova Iorque	MA	4.08	3.05	3.58	3.1
	Olho D'Água das					
2107407	Cunhãs	MA	6.74	7.75	8.38	9.36
2107704	Paraibano	MA	2.79	1.87	1.64	0.9
2107803	Parnarama	MA	4.26	4.38	3.72	3.51
	Passagem					
2107902	Franca	MA	3.41	2.57	2.64	2.09
2108009	Pastos Bons	MA	3.81	3.11	2.67	1.99
2108058	Paulino Neves	MA	1.52	1.68	1.14	1.01
2108207	Pedreiras	MA	2.2	2.11	1.75	1.53
2108454	Peritoró	MA	5.1	2.5	1.72	-0.44
2108702	Pio Xii	MA	3.17	3.09	1.09	0.15
2108801	Pirapemas	MA	3.29	3.59	3.18	3.21
2108900	Poção de Pedras	MA	6.67	6.05	4.9	3.96
2109007	Porto Franco	MA	8.96	9.56	3.1	0.66

	Presidente					
2109106	Dutra	MA	3.77	3.33	2.29	1.52
	Presidente					
2109304	Vargas	MA	1.08	1.08	0.72	0.56
2109403	Primeira Cruz	MA	0.47	1.46	1.63	2.4
2109502	Riachão	MA	14.34	8.6	7.21	2.6
	Ribamar					
2109551	Fiquene	MA	16.21	14.62	8.46	4.63
2109700	Sambaíba	MA	15.5	11.04	9.91	6.3
	Santa Filomena					
2109759	do Maranhão	MA	5.91	5.2	8.46	9.41
	Santa Quitéria					
2110104	do Maranhão	MA	1.52	1.61	0.76	0.45
	Santana do					
2110237	Maranhão	MA	1.89	1.97	1.07	0.73
	Santo Amaro do					
2110278	Maranhão	MA	0.62	1.2	1.55	2.11
	Santo Antônio					
2110302	dos Lopes	MA	207.59	3.99	2.94	-139.38
	São Benedito do					
2110401	Rio Preto	MA	0.85	0.74	1.08	1.15
2110609	São Bernardo	MA	2.13	2.24	1.46	1.19
	São Domingos					
2110658	do Azeitão	MA	10.35	4.65	5.58	2.02
	São Domingos					
2110708	do Maranhão	MA	4.59	5.06	1.91	0.84
	São Félix de					
2110807	Balsas	MA	7.73	7.01	5.84	4.82
	São Francisco do					
2110856	Brejão	MA	13.91	18.57	25.95	32.46
	São Francisco do					
2110906	Maranhão	MA	3.62	3.15	3.29	3.02
	São João do					
2111052	Paraíso	MA	19.18	16.62	13.18	9.87
	São João do					
2111078	Soter	MA	1.43	0.8	2.35	2.6
	São João dos					
2111102	Patos	MA	2.7	2.23	1.56	0.94
	São José dos					
2111250	Basílios	MA	4.52	2.87	3.28	2.31
	São Luís					
	Gonzaga do					
2111409	Maranhão	MA	7.3	7.2	4.29	2.93
	São Mateus do					
2111508	Maranhão	MA	2.52	2.56	1.35	0.84
	São Pedro da					
2111532	Água Branca	MA	4.87	4.88	3.27	2.56
	São Pedro dos					
2111573	Crentes	MA	24.45	19.17	17.09	12.49
	São Raimundo					
	das					
2111607	Mangabeiras	MA	14.31	8.82	6.92	2.25

São Raimundo						
2111631	do Doca Bezerra	MA	4.03	3.36	2.77	2.04
2111672	São Roberto	MA	2.91	2.86	3.34	3.52
2111722	Satubinha	MA	3.28	3.22	1.11	0.13
Senador						
2111748	Alexandre Costa	MA	3.82	2.82	1.97	0.9
Senador La						
2111763	Rocque	MA	13.23	15.18	7.55	5.53
2111805	Sítio Novo	MA	15.95	9.44	10.95	7.08
Sucupira do						
2111904	Norte	MA	3.8	2.62	3.24	2.69
Sucupira do						
2111953	Riachão	MA	3.41	3.85	3.28	3.33
2112001	Tasso Fragoso	MA	22.21	9.86	7.52	-2.12
2112100	Timbiras	MA	1.06	1.19	1.65	1.94
2112209	Timon	MA	0.99	1	0.97	0.96
2112233	Trizidela do Vale	MA	2.4	2.69	2.02	1.93
2112308	Tuntum	MA	6.45	5.38	2.95	1.13
2112506	Tutóia	MA	0.99	0.97	0.67	0.52
2112605	Urbano Santos	MA	0.7	0.87	1.31	1.62
2112704	Vargem Grande	MA	1.73	1.73	1.87	1.93
Vila Nova dos						
2112852	Martírios	MA	11.91	13.25	10.59	10.35
Alvorada do						
2200459	Gurguéia	PI	5.23	5.31	5.29	5.34
Antônio						
2200806	Almeida	PI	6.48	3.27	2.73	0.25
2201101	Avelino Lopes	PI	3.58	3.18	2.83	2.4
Baixa Grande do						
2201150	Ribeiro	PI	30.85	7.56	4.74	-12.73
Barreiras do						
2201309	Piauí	PI	3.68	5.33	5.68	6.98
2201705	Bertolândia	PI	4.52	5.68	7.15	8.61
2201903	Bom Jesus	PI	7.93	5.62	4.5	2.39
Colônia do						
2202752	Gurguéia	PI	3.09	2.81	1.98	1.42
2202901	Corrente	PI	3.89	4.83	4.4	4.86
Cristalândia do						
2203008	Piauí	PI	5.38	6.07	6.59	7.3
2203107	Cristino Castro	PI	2.33	2.88	2.41	2.59
2203206	Curimatá	PI	5.06	5.19	4.88	4.83
2203230	Currais	PI	16.7	5.08	3.3	-5.58
2203602	Eliseu Martins	PI	4.45	4.13	5.11	5.32
2204402	Gilbués	PI	5.64	4.43	3.67	2.49
2205524	Júlio Borges	PI	5.54	5.72	4.28	3.77
2205607	Landri Sales	PI	4.71	4.6	3.69	3.21
2205904	Manoel Emídio	PI	3.67	4.26	3.66	3.81
2206001	Marcos Parente	PI	3.58	3.06	3.13	2.8
Monte Alegre						
2206605	do Piauí	PI	7.24	4.01	3.42	0.91
Morro Cabeça						
2206654	no Tempo	PI	3.58	4.4	5.45	6.49

	Palmeira do					
2207405	Piauí	PI	7.32	4.77	4.67	2.85
2207603	Parnaguá	PI	8.88	9.1	8.19	7.94
	Porto Alegre do					
2208551	Piauí	PI	5.12	5.34	5.71	6.03
	Redenção do					
2208700	Gurguéia	PI	3.83	3.77	3.93	3.96
2208858	Riacho Frio	PI	7.7	9.14	9.54	10.72
	Ribeiro					
2208908	Gonçalves	PI	14.64	6.86	4.53	-1.92
2209203	Santa Filomena	PI	14.26	7.33	4.7	-1.29
2209302	Santa Luz	PI	5.3	6.18	2.33	1.24
	São Gonçalo do					
2209757	Gurguéia	PI	5.45	4.28	5.82	5.69
	Sebastião					
2210623	Barros	PI	10.34	13.74	8.72	8.87
2210631	Sebastião Leal	PI	9.43	8.23	6.67	5.14
2211209	Uruçuí	PI	18.04	8.9	2.72	-6.38
2901403	Angical	BA	13.17	11.51	8.32	5.75
2902500	Baianópolis	BA	6.37	5.18	6.26	5.91
2903201	Barreiras	BA	4.69	4.44	5.24	5.42
	Bom Jesus da					
2903904	Lapa	BA	2.72	2.76	2.66	2.64
2904407	Brejolândia	BA	14.34	14.23	14.99	15.25
2906105	Canápolis	BA	4.97	6.67	2.7	2.13
2907103	Carinhanha	BA	4.76	3.97	3.01	2.03
2907400	Catolândia	BA	23.11	18.93	11.61	5.46
2908101	Cocos	BA	6.66	7.05	6.09	5.94
2909109	Coribe	BA	9.38	10.52	8.72	8.72
2909307	Correntina	BA	19.49	11.06	10.28	4.06
2909406	Cotegipe	BA	13.07	12.72	8.92	6.99
2909703	Cristópolis	BA	5.49	5.42	5.68	5.75
2910776	Feira da Mata	BA	9.77	14.74	15.43	19.2
	Formosa do Rio					
2911105	Preto	BA	19.04	11.92	5.95	-1.65
2917359	Jaborandi	BA	32.06	19.12	7.31	-6.93
	Luís Eduardo					
2919553	Magalhães	BA	8.05	5.96	0	0
2920452	Mansidão	BA	3.39	3.05	2.65	2.24
2923704	Paratinga	BA	2.97	3.55	3.76	4.26
	Riachão das					
2926202	Neves	BA	11.92	9.24	7.37	4.68
	Santa Maria da					
2928109	Vitória	BA	4.74	3.96	3.01	2.05
2928208	Santana	BA	6	8.44	5.23	5.51
	Santa Rita de					
2928406	Cássia	BA	7.3	4.83	4.38	2.46
2928901	São Desidério	BA	18.51	15.71	12.26	8.78
	São Félix do					
2929057	Coribe	BA	8.34	7.88	5.7	4.41
	Serra do					
2930154	Ramalho	BA	5.57	5.05	3.29	2.15

2930303	Serra Dourada	BA	9.36	11.48	5.24	3.96
2930758	Sítio do Mato	BA	6.51	7.67	8.32	9.42
	Tabocas do					
2930907	Brejo Velho	BA	5.86	7.59	2.01	0.75
2933455	Wanderley	BA	14.66	19.57	10.69	10.18
MATOPIBA			5148.94	4538.76	3746.32	2974.55