

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL: APLICAÇÃO NO
TERRITÓRIO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS - AMAZÔNIA

Laís de Andrade Cristo

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientadores:

Marco Aurélio dos Santos

Valente José Matlaba

Rio de Janeiro

Dezembro de 2022

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL: APLICAÇÃO NO
TERRITÓRIO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS - AMAZÔNIA

Laís de Andrade Cristo

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientadores: Marco Aurélio dos Santos

Valente José Matlaba

Aprovada por:

Prof. Marco Aurélio dos Santos

Prof. Valente José Matlaba

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Prof. Marcio de Almeida D'Agosto

Prof. Jorge Manuel Filipe dos Santos

Prof. Orleno Marques da Silva Júnior

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2022

Cristo, Laís de Andrade.

Índice de Vulnerabilidade Socioambiental: Aplicação no território da Estrada de Ferro Carajás - Amazônia / Laís de Andrade Cristo – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2022.

XV, 145 p.:il., 29,7 cm.

Orientadores: Marco Aurélio dos Santos

Valente José Matlaba

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2022.

Referências Bibliográficas: p. 116-137

1. Vulnerabilidade Socioambiental. 2. Sustentabilidade.
I. Santos, Marco Aurélio dos *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Dedico este trabalho a meus pais,
Henrique Cristo e Marcinete Cristo, pelo
apoio incondicional para que eu – desde
sempre – alcançasse meus objetivos.

Eu amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Gratidão, em primeiro lugar, a Deus por ter me permitido chegar até aqui. Aos meus pais, Henrique e Marcinete, pelo esforço sem medidas em cada etapa que percorri, pela paciência nos dias de reuniões, quando o som precisava ficar baixinho pra não me atrapalhar, por terem compartilhado minha angústia e alegria pelo aceite dos meus artigos. Aos meus irmãos, Bárbara e Henrique, que também estiveram comigo nesses momentos e que nunca deixaram de se orgulhar e torcer por mim.

Gratidão ao meu esposo, Allan Smith, que apesar de ter compartilhado apenas o último ano de doutorado, viu de perto meu desespero pós-reuniões de horas, durante as correções de artigos, minha angústia aguardando respostas, minha alegria com os artigos aceitos, com a marcação da defesa. Obrigada amor, pela paciência e parceria.

Gratidão a todos os amigos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado durante esses anos e se alegraram com minhas conquistas. Obrigada, Jarmeson, pela força para eu fizesse esse doutorado, pelo apoio incondicional quando me mudei para o Rio de Janeiro, por ter me abrigado, me ensinado a viver na cidade maravilhosa. Serei sempre grata por tudo, amigo. Obrigada, Fernanda, pela parceria durante o curso, pelas conversas, pelos dias de praia que amenizavam a saudade da família, por compartilhar o desespero das disciplinas, por me ajudar a tirar dúvidas, por ter chorado e sorrido comigo, por tudo. Você vai estar sempre no meu coração, Fê.

Gratidão a toda equipe do PPE, em especial ao meu orientador, prof. Marco Aurélio Santos, que acreditou em mim quando tentei a seleção do PPE, me respondeu de imediato, viu meu projeto, me aceitou como possível orientanda, deu força para que eu fosse para o Rio e depois para voltar para Belém, não impôs dificuldades para me ajudar. Obrigada, professor, pela paciência e confiança, por ter permitido que eu chegasse até aqui.

Finalizo de forma mais que especial, direcionando toda minha gratidão ao meu coorientador, prof. Valente Matlaba. Me faltam palavras... Só Deus sabe o quanto eu serei eternamente agradecida por todo empenho que teve comigo, desde o mestrado. Obrigada pelo tempo que investiu para me orientar, me tirar dúvidas, pelas broncas necessárias e elogios que me motivaram. Eu, definitivamente, não teria conseguido concluir esse doutorado sem ele. Mil vezes obrigada, professor, por tudo!

NOTA SOBRE PUBLICAÇÕES

Dois artigos científicos foram publicados a partir dos capítulos 3 e 4 desta Tese, como segue:

CRISTO, L. A.; SANTOS, M. A.; MATLABA, V. J. “Socioeconomic and Environmental Vulnerability Index in the Brazilian Amazon: The Case of the Carajás Railroad”. *The Extractive Industries and Society*, v. 11, 101128, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101128>.

CRISTO, L. A.; SANTOS, M. A.; MATLABA, V. J. “Land-Use Changes and Socioeconomic Conditions of Communities along the Carajás Railroad in Eastern Amazonia”. *Sustainability*, v. 14, n. 9, 5132, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14095132>.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutora em Ciências (D.Sc.)

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL: APLICAÇÃO NO TERRITÓRIO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS - AMAZÔNIA

Laís de Andrade Cristo

Dezembro/2022

Orientadores: Marco Aurélio dos Santos, Valente José Matlaba

Programa: Planejamento Energético

Estudos sobre territórios ao longo de ferrovias são relevantes em função dos impactos na dinâmica socioeconômica e ambiental. Esta tese avaliou a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental de 28 municípios do território da Estrada de Ferro Carajás entre 1991 e 2018, e examinou 32 comunidades afetadas pela ferrovia entre 2010 e 2017. Foi construído um Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental através da Análise de Componentes Principais sobre um conjunto de indicadores dos três últimos censos do IBGE e do Índice de Progresso Social de 2014 e 2018, abrangendo aproximadamente 30 anos. A análise espacial dos índices foi feita a partir de suas alterações percentuais ponderadas espacialmente. Na escala comunitária a análise envolveu 17 indicadores, testados estatisticamente, além da análise qualitativa de imagens do Google Earth. Os resultados foram consistentes com o referencial teórico apresentado, adequado à compreensão da situação do território. Mostraram que os municípios do lado maranhense da ferrovia são mais vulneráveis do que os do lado paraense. Além disso, ficou clara a alta correlação espacial entre os municípios e seus aglomerados de acordo com o grau de vulnerabilidade. As comunidades urbanas apresentam melhores condições socioeconômicas do que as rurais e aquelas próximas da ferrovia mostraram maior variação nas condições socioambientais. Conclui-se que a análise socioeconômica e ambiental pode ajudar a reduzir a vulnerabilidade de municípios e comunidades em situação de risco através de intervenções eficientes, seja através da ação governamental, de empresas privadas ou outros agentes que possam ajudar a construir regiões resilientes e mais sustentáveis.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY INDEX: APPLICATION IN THE
TERRITORY OF THE CARAJÁS RAILROAD - AMAZON

Laís de Andrade Cristo

December/2022

Advisors: Marco Aurélio dos Santos, Valente José Matlaba

Department: Energy Planning

Studies on territories along railroads are relevant since they have impacts on socioeconomic and environmental dynamics. This thesis evaluated the socioeconomic and environmental vulnerability of 28 municipalities in the Carajas Railroad territory between 1991 and 2018 and examined 32 communities affected by this railroad between 2010 and 2017. A Socioeconomic and Environmental Vulnerability Index was constructed through Principal Component Analysis on a set of indicators from the last three IBGE censuses and the Social Progress Index from 2014 and 2018, covering approximately 30 years. We have done the spatial analysis of the indices from their spatially weighted percentage changes. At the communities' scale, this analysis involved 17 indicators, statistically tested, in addition to qualitative analysis of Google Earth images. The results were consistent with the theoretical framework presented and adequate to understand the territory's situation. Therefore, they showed that municipalities on the Maranhão side of the railroad are more vulnerable than those on the Pará side. Furthermore, a high spatial correlation between the municipalities and their clusters according to the degree of vulnerability was clear. Urban communities show better socioeconomic conditions than rural ones, and those close to the railroad showed a higher variation in socio-environmental conditions. We conclude that the socioeconomic and environmental data analysis can help reduce the vulnerability of municipalities and communities at risk through efficient interventions, whether by government action, private companies, or other agents that can help build resilient and more sustainable regions.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Objetivos da Pesquisa	4
1.2. Hipóteses da Pesquisa	5
1.3. Justificativa	5
1.3.1. Conflitos no território da EFC	11
2. Referencial Teórico	14
2.1. Formação Histórica e Ocupação da Amazônia.....	14
2.2. Vulnerabilidade.....	24
2.3. Sustentabilidade	28
2.4. Fundamentos para a Espacialização do Índice de Vulnerabilidade	32
2.5. Uso e Ocupação do Solo e Condicionantes Socioeconômicas	33
3. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental na Amazônia Brasileira: O caso da Estrada de Ferro Carajás	38
3.1. Introdução	38
3.2. Materiais e Métodos.....	41
3.2.1. Caracterização da Área de Estudo.....	42
3.3. Resultados e Discussão	58
3.3.1. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental (IVSA).....	58
3.3.2. Análise Exploratória Espacial	72
4. Mudanças no Uso do Solo e Condições Socioeconômicas em Comunidades ao longo da Estrada de Ferro Carajás	83
4.1. Introdução	83
4.2. Materiais e Métodos.....	87
4.3. Resultados e Discussão	96
4.3.1. Análise Socioeconômica e Demográfica.....	96
4.3.2. Análise da Dimensão Ambiental	103
5. Conclusão e Pesquisas Futuras	112
6. Referências	116
APÊNDICE 1	138
APÊNDICE 2	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procedimentos metodológicos	41
Figura 2. Território da Estrada de Ferro Carajás.....	43
Figura 3. Tipos de contiguidade entre áreas	54
Figura 4. Estrutura do Diagrama de Dispersão de Moran	57
Figura 5 Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental de 1991 ..	60
Figura 6. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental de 2000 .	62
Figura 7. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental de 2010 .	64
Figura 8. Variação do IVSA de 1991 a 2010	66
Figura 9. Variações do IVSA considerando os quatro subperíodos analisados	71
Figura 10. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 1991-2000	74
Figura 11. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 2010-2014	74
Figura 12. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 2014-2018	75
Figura 13. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 2000-2010	76
Figura 14. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 1991-2000	77
Figura 15. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 2000-2010	77
Figura 16. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 2010-2014	78
Figura 17. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 2014-2018	78
Figura 18. Gráfico de dispersão de Moran para o modelo pooled: 1991-2018.....	79
Figura 19. LISA – Taxa de crescimento do IVSA: média dos 4 subperíodos	80
Figura 20. Taxa Média de Crescimento do IVSA	81
Figura 21. Taxa de crescimento populacional das comunidades entre 2010 e 2017.....	97
Figura 22. Mapa da cobertura do solo do lado paraense da EFC em 2010	103
Figura 23. Mapa da cobertura do solo do lado paraense da EFC em 2017	104
Figura 24. Mapa da cobertura do solo do lado maranhense da EFC em 2010.....	104
Figura 25. Mapa da cobertura do solo do lado maranhense da EFC em 2017	105
Figuras 26a e 26b. Área da comunidade Tropical I, Tropical II e Nova Ipiranga, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2017	106

Figuras 27a e 27b. Área da comunidade Nova Vitória, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2017.....	106
Figuras 28a e 28b. Área da comunidade Km 7, em Marabá (PA), nos anos de 2010 e 2017	107
Figuras 29a e 29b. Área da comunidade Bairro Araguaia, em Marabá (PA), nos anos de 2011 e 2017	107
Figuras 30a e 30b. Área da comunidade Palmares II, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2018.....	108
Figuras 31a e 31b. Área da comunidade Palmares Sul, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2017.....	108
Figuras 32a e 32b. Área da comunidade Cariongo 3, em Miranda do Norte (MA), nos anos de 2011 e 2017	109
Figuras 33a e 33b. Área da comunidade Atraca, em Tufilândia (MA), nos anos de 2010 e 2017	110
Figuras 34a e 34b. Área da comunidade Piquiá de Baixo, em Açailândia (MA), nos anos de 2011 e 2017	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Definição das Variáveis do IVSA.....	47
Tabela 2 Escala do teste Kayser-Meyer-Olkin (KMO)	51
Tabela 3 Escala do teste Alpha de Conbrach.....	51
Tabela 4 Índices de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental dos municípios da EFC.....	59
Tabela 5 Análise de Componentes Principais utilizados no IVSA de 1991.....	61
Tabela 6 Análise de Componentes Principais utilizados no IVSA de 2000.....	63
Tabela 7 Análise de Componentes Principais utilizados no IVSA de 2010.....	65
Tabela 8 Média do índice nos anos analisados	65
Tabela 9 Resultados das análises de regressão por Moran's I	73
Tabela 10 Distribuição dos domicílios na amostra, Expedição de 2016	88
Tabela 11 Distribuição dos domicílios na amostra, Expedição de 2017	89
Tabela 12 Amostra da pesquisa, EFC.....	90
Tabela 13 Definição das variáveis coletadas	91
Tabela 14 Resultados dos testes estatísticos das diferenças de médias entre as comunidades urbanas e rurais em 2010.....	98
Tabela 15 Resultados dos testes estatísticos das diferenças de médias entre as comunidades urbanas e rurais em 2017	100
Tabela 16 Resultados dos testes das diferenças nas variações médias das comunidades urbanas e rurais entre 2010 e 2017	101

ABREVIATURAS

- ACP – Análise de Componentes Principais
- ADA – Área Diretamente Afetada
- AID – Área de Influência Direta
- AII – Área de Influência Indireta
- ALBRAS – Alumínio do Brasil S.A
- ALUNORTE – Alumínio do Norte do Brasil
- AMIG – Associação dos Municípios Mineradores de Minas Gerais
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
- BASA – Banco da Borracha em Banco da Amazônia
- BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
- BIRD – Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
- CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
- CIM – Consórcio Intermunicipal Multimodal
- CPDOC – Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil
- CVRD – Companhia Vale do Rio Doce
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
- EFC – Estrada de Ferro Carajás
- EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas
- FGV – Fundação Getúlio
- FIB – Felicidade Interna Bruta
- GEBAM - Grupo Executivo de Terras do Baixo Amazonas
- GETAT - Grupo Executivo de Terras do Araguaia-Tocantins
- GNH – Gross National Happiness
- HPI – Happy Planet Index
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBRA – Instituto Brasileiro de Reforma Agrária
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração
- IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
- ILOS – Instituto de Logística e Supply Chain

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INDA – Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPF – Índice do Planeta Feliz

IPS – Índice de Progresso Social

IPVS – Índice Paulista de Responsabilidade Social

ITV – Instituto Tecnológico Vale

IVJ – Índice de Vulnerabilidade Juvenil

IVSA – Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

KMO – Kayser-Meyer-Olkin

LISA – Indicador de Associação Espacial Local

LMSA – Light Metal Smelters Association

LSO – Licença Social de Operação

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

MME – Ministério de Minas e Energia

MMQ – Método dos Mínimos Quadrados

MMSD – Mining, Minerals and Sustainable Development

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

OLS – Ordinary Least Square

ONU – Organização das Nações Unidas

PCN – Projeto Calha Norte

PGC – Programa Grande Carajás

PIB – Produto Interno Bruto

PIN – Plano de Integração Nacional

PMB – Produção Mineral Brasileira

PND – Plano Nacional de Desenvolvimento

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

POLAMAZÔNIA - Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia

PP-G7 – Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras

PPI – Programa de Parcerias e Investimentos

PROSEFER – Programa Nacional de Segurança Ferroviária em Áreas Urbanas

RESEX – Reservas Extrativistas

RFSP – Ramal Ferroviário do Sudeste do Pará

SEDEME – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia

SENATRAN – Secretaria Nacional de Trânsito

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIMINERAL – Sindicato das Indústrias Minerais do Estado do Pará

SOVI – Índice de Vulnerabilidade Social

SPVEA – Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia

SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia

SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus

TMPM – Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

UC – Unidade de Conservação

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

ZFM – Zona Franca de Manaus

1. Introdução

As alterações dos ecossistemas, intensificadas pelas novas formas de relação homem-natureza, tem ganhado cada vez mais espaço nas discussões do meio científico e acadêmico seja na análise das consequências desse processo para a sociedade e meio ambiente como pela necessidade de estudos que garantam alternativas para a minimização de possíveis impactos negativos.

Alterações socioeconômicas e ambientais tornaram-se cada vez mais significativas principalmente após a Revolução Industrial, quando o crescimento econômico e demográfico mundial passou a ganhar novas proporções. Considerando esse período, entre 1900 e 2000, o PIB (Produto Interno Bruto) mundial aumentou 18,6 vezes, paralelamente ao crescimento da população (3,9 vezes) e da renda *per capita* (4,8 vezes) (MARTINE E ALVES, 2015).

Essa tendência de crescimento veio se mantendo até os dias atuais, apresentando uma queda principalmente após a pandemia da COVID-19, tanto em termos econômicos como demográficos, já que o PIB mundial apresentou um aumento de US\$ 33,77 trilhões entre os anos 2000 e 2010 e US\$ 28,90 trilhões entre 2010 e 2021. Paralelamente, enquanto nos anos 2000 a taxa de crescimento populacional foi de 1,4%, em 2010 foi de 1,2% e em 2021 apenas 0,9% (WORLD BANK, 2022).

Martine e Alves (2015) mencionam importantes fatores que possibilitaram o crescimento econômico a partir do século XX. Entre eles pode-se destacar a disponibilidade de recursos naturais e energia fóssil a preços baixos; o crescimento populacional e elevação da expectativa de vida e da média de anos dedicados às atividades produtivas; crescimento da urbanização; aumento dos níveis educacionais e do capital humano; avanço do progresso técnico; aumento da produtividade; e condições ambientais e climáticas favoráveis.

Apesar do período áureo verificado no século XX, a partir do século XXI o modelo de produção vigente começou a apresentar instabilidades em seus alicerces, em função do início do esgotamento de grande parte de seus fatores condicionantes ou de suporte, como os recursos naturais. O meio ambiente passou a ser cada vez mais afetado pelo modo de produção vigente, que extraía recursos naturais sem se preocupar com seu esgotamento, e pelo elevado crescimento populacional, que cada vez mais aumentava as pressões sobre o meio ambiente.

A terceira fase da revolução industrial, ou revolução científica, perdura até os dias atuais, alterando cada vez mais o espaço geográfico e as relações que nele ocorrem, sendo

traduzida pelo que o geógrafo Milton Santos (1994) chamou de meio técnico-científico-informacional, caracterizado pela evolução dos processos de produção e reprodução do meio geográfico. O contexto socioeconômico e ambiental atual é resultado da evolução do meio natural para o meio técnico (Revolução Industrial) e do meio técnico para o meio técnico-científico-informacional.

Em escala mais detalhada, ao se analisar a região amazônica, na qual está situado o objeto desta pesquisa, a evolução histórica também foi fortemente influenciada por estes fatores. A complexidade da região amazônica é fruto do processo de evolução histórica dos meios natural, técnico e técnico-científico-informacional, das peculiaridades nacionais e principalmente regionais – que serão expostas mais à frente – que influenciaram o processo de formação e ocupação histórica desse território.

A região amazônica se destaca por essa complexidade e heterogeneidade - seja no âmbito ambiental, quando se leva em consideração sua diversidade de espécies, seja no socioeconômico, considerando a variedade de agentes que nela atuam e definem as relações, às vezes conflituosas, evidenciadas principalmente a partir de 1960, período de grande transformação de seu espaço geográfico (BECKER, 1990).

A necessidade de incorporação dessa região ao desenvolvimento brasileiro tornou-se cada vez maior a partir de então, em função da mudança de atitude por parte do governo federal, que apresentava em seu discurso a necessidade de impedir a internacionalização da região, especialmente durante o período militar (1964-1984) – daí a origem da expressão “integrar para não entregar” –, ao mesmo tempo em que buscava usufruir das vantagens que o território amazônico poderia proporcionar, garantindo espaço aos interessados em produzir na região e alavancando o processo de desenvolvimento do país (SILVA *et al.*, 2015).

Gonçalves (2001), em sua obra “Amazônia, Amazônias” caracteriza a região amazônica como heterogênea, contraditória e desigual, adjetivos que ainda hoje a definem. A região tem constantemente vivenciado mudanças significativas nas dimensões econômica, social e ambiental, principalmente como consequência da expansão da atividade minerária (CRISTO *et al.*, 2018).

Santos (1994), ao usar o termo meio-técnico-científico-informacional para se referir ao desenvolvimento atual, afirma que a natureza dos espaços é conformada em função da detenção de tecnologia, o que gera diferenças em virtude dos níveis de domínio tecnológico. Tais diferenças possuem influência direta sobre a relação que a região estudada estabelece com o sistema de mineração.

Um dos importantes atores¹ na ocupação da região amazônica é a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), ou Vale, como é designada atualmente, uma empresa que atua principalmente nos setores de mineração e logística e que possui a concessão dos serviços da Estrada de Ferro Carajás (EFC), ferrovia localizada nos Estados do Maranhão e Pará, na região definida como objeto de estudo desta pesquisa, que será caracterizada mais à frente.

A Vale está presente na região Amazônica há mais de 30 anos e é responsável, além da Estrada de Ferro Carajás, pelo Terminal de Ponta Madeira, localizado no Porto de Itaquí, em São Luís, no Maranhão, pelo projeto Ferro Carajás S11D, que é o maior complexo minerador (extração de ferro) da história da empresa, localizado no município de Canaã dos Carajás, no Sudeste do Pará; pela Mina Sossego, onde a empresa possui operações relacionadas à produção de cobre, também em Canaã dos Carajás; pela Mina do Azul, onde a empresa possui minas e usinas para a produção de manganês, além das minas Salobo, em Marabá e Serra Leste, em Curionópolis, também no Estado do Pará (VALE, 2022a).

Estudos fazem análises físicas, socioeconômicas e ambientais sobre o território da EFC (FALESI, 1986; BUNKER, 2008; DELGADO, 2012; CORTELETTI, 2014; SILVA, 2016; MANSUR *et al.*, 2016; CRUZ, 2017; VILARINHO, 2018; RAMOS, 2018). Alguns destes estudos têm abordagens altamente críticas, e outros visam analisar riscos e habilidades na região em análise para apontar possíveis formas de minimizar os impactos sociais, econômicos e ambientais negativos da atividade de mineração desenvolvida no território.

A complexidade da relação entre esse território e a mineração deixa clara a grande influência que a atividade possui na região. Tal influência motivou o presente estudo na busca de compreender de que forma e em que grau a mineração, mais especificamente a atividade da EFC, influencia na vulnerabilidade dos municípios que compõem esse território, bem como nas condições socioeconômicas e no uso da terra em comunidades localizadas na região.

¹ Outros exemplos de atores importantes incluem o governo militar, através do Plano de Integração Nacional (PIN), através de projetos como a construção da BR-230 (Transamazônica), Cuiabá Santarém e Perimetral Norte; o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), com as políticas de ocupação e desenvolvimento da região através, por exemplo, do Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (Polamazônia) na década de 1970, e dos Grupos Executivos de Terras do Araguaia-Tocantins (GETAT) e do Baixo Amazonas (GEBAM) na década de 1980.

1.1. Objetivos da Pesquisa

Este estudo apresenta uma metodologia para a construção de um índice de vulnerabilidade socioambiental e foi aplicado na zona de influência da EFC, sendo, portanto, uma contribuição sem precedentes para essa região, pois objetivou avaliar a vulnerabilidade dos municípios da ferrovia e, conseqüentemente, as limitações à sustentabilidade na região; e compreender as condições socioeconômicas e ambientais a partir da análise das mudanças de uso do solo em comunidades urbanas e rurais localizadas nesse território, abrangendo, portanto, duas escalas de análise.

Os períodos considerados nesta tese foram de 1991 a 2018, para a escala municipal e 2010 a 2017 para a escala de comunidades. Esses períodos foram definidos em função da disponibilidade de dados. Considerando o adiamento da coleta de dados do censo que seria em 2020 em função da pandemia da COVID-19, no caso da escala municipal optou-se por utilizar informações do Índice de Progresso Social da Amazônia, que possui informações para os anos de 2014 e 2018. Da mesma forma, para a escala de comunidades o período foi definido em função da limitação de dados do censo e tendo em vista os dados primários coletados a partir das pesquisas de campo, que também ocorreram antes do período de pandemia.

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- 1) Criar um índice para expressar a vulnerabilidade dos municípios da região da Estrada de Ferro Carajás, baseado em indicadores sociais, econômicos e ambientais, garantindo que as três principais dimensões da sustentabilidade fossem cobertas.
- 2) Identificar as principais condicionantes sociais, econômicas e ambientais da variação das vulnerabilidades dos municípios do território da EFC.
- 3) Identificar e analisar a existência de correlação espacial entre os municípios da ferrovia com base nos índices de vulnerabilidade construídos.
- 4) Analisar a influência do grau de vulnerabilidade desses municípios no processo de alcance da sustentabilidade, ou seja, no equilíbrio entre as referidas dimensões.
- 5) Analisar quantitativamente dados primários e secundários sobre as condições socioeconômicas das comunidades, com destaque à dinâmica demográfica das mesmas.
- 6) Analisar qualitativamente imagens de satélite para identificar as mudanças de uso do solo no território.

1.2. Hipóteses da Pesquisa

Com base na motivação, problema e objetivos da pesquisa, levando em consideração que o processo de formação histórica do território amazônico ocorreu com desequilíbrios entre as dimensões da sustentabilidade; considerando as condições socioeconômicas e ambientais dos municípios e comunidades ao longo da EFC; a proximidade entre os municípios, bem como das comunidades com relação à ferrovia, o presente trabalho testa as seguintes hipóteses:

- (1) os municípios da região observam vulnerabilidades semelhantes;
- (2) há uma dissociação entre as vulnerabilidades dos municípios e sua localização geográfica, ou seja, seus municípios vizinhos;
- (3) a localização das comunidades ao longo da ferrovia está associada aos tipos de uso e ocupação do solo no território e influencia as condições de vida dos habitantes locais;

1.3. Justificativa

A complexidade do conceito de vulnerabilidade pode ser traduzida pelas especificidades de cada situação, população e região, o que gera a necessidade de informações específicas e justifica a construção de uma diversidade de índices, respeitando cada realidade e objetivo (SNOWDEN & BOONE, 2007).

Atkinson *et al.* (1997), igualmente, destacam a importância da construção de índices para focar a atenção e, muitas vezes, simplificar os problemas analisados, e lembram que estes podem ser construídos com ou sem peso.

Frei (2008) destaca a importância da construção de índices para avaliar as condições de vida e monitorar políticas públicas, e menciona que trabalhos nesse contexto passaram a ganhar espaço a partir da década de 1990 com o desenvolvimento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) pelas Nações Unidas.

Em escala mundial, diversos trabalhos que apresentavam índices passaram a surgir, como exemplo pode-se citar Barrera-Roldán e Saldívar-Valdés (2002) que elaboraram um índice para medir a sustentabilidade, e Bradshaw *et al.* (2007), que construíram um índice de medição do bem-estar da criança e do adolescente.

Já a nível nacional, entre 1990 e 2000 a construção de índices também ganhou força. O Índice de Exclusão/Inclusão Social (SPOSATI, 1996), Índice de Vulnerabilidade

Juvenil – IVJ (FSEADE, 2000), e o Índice Paulista de Responsabilidade Social – IPVS (FSEADE, 2019), são exemplos de estudos que passaram a ser elaborados no país baseados na construção de índices. Mais recentemente, Frei (2008) e Guimarães *et al.* (2014) exemplificam estudos que tratam de índices específicos de vulnerabilidade. Nesse contexto vale também destacar o Índice de Progresso Social da Amazônia (IPS), utilizado nesta pesquisa (SANTOS *et al.*, 2018a).

Outros importantes índices no contexto socioambiental são: o *Happy Planet Index* (HPI), ou Índice do Planeta Feliz (IPF), que mede a capacidade que um país tem de proporcionar um bem estar sustentável aos cidadãos (ABDALLAH *et al.*, 2009); *Global Ecological Footprint*, que compara a demanda de recursos individuais, governamentais e empresariais com a capacidade de renovação da Terra (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2022); Índice de Desempenho Ambiental ou Índice de Performance Ambiental (*Environmental Performance Index*), que avalia a qualidade da gestão dos recursos naturais das nações (ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX, 2022); *Gross National Happiness* (GNH) ou Felicidade Interna Bruta (FIB), que mede o progresso de uma comunidade ou nação considerando além do desenvolvimento econômico, aspectos como a conservação do meio ambiente e a qualidade de vida (URA *et al.*, 2012); Índice de Progresso Real (*Genuine Progress Index*), que procura medir se os impactos ambientais e custos sociais da produção e consumo de um país são fatores positivos ou negativos na saúde e bem estar da população (BAGSTAD & CERONI, 2007).

A importância econômica, social e ambiental do território da Estrada de Ferro Carajás, corredor de escoamento da produção minerária e de circulação de pessoas, justifica a necessidade de realização de pesquisas e estudos a respeito da dinâmica dos municípios que fazem parte de seu território, incluindo a elaboração de índices que possam dar subsídios a ações de diversos stakeholders voltadas à região, levando em conta suas especificidades e realidade.

Segundo o Instituto Tecnológico Vale (ITV) (2017), a região de influência direta da EFC historicamente apresenta baixo indicador de desenvolvimento humano utilizando-se o Brasil como região de referência, com exceção de municípios que sediam os empreendimentos minerários e o complexo portuário-ferroviário – Marabá, Parauapebas, Canaã dos Carajás e São Luís. Segundo o último Censo Demográfico (IBGE, 2010), enquanto estes quatro municípios apresentavam um IDH médio de 0,706, nos demais municípios esse índice foi de apenas 0,597. O rácio entre esses índices médios com

aquele verificado no Brasil é de 96% e 81%, respectivamente. A renda domiciliar *per capita* foi de R\$ 973,87 no Brasil e R\$ 1.369,74 naqueles quatro municípios, sendo apenas R\$ 689,50 nos demais municípios da zona de influência da EFC (IBGE, 2010).

Esses indicadores socioeconômicos precários, em conjunto com as diversas pressões ambientais na região, caracterizam o território da EFC. Alguns municípios da zona de influência da ferrovia já recebiam intensos movimentos migratórios desde a implantação da mesma, conforme Godfrey (1992), deixando claro sua importância desde o início do processo de ocupação dessa região.

Até maio de 2018, o Pará detinha 40% do valor da Produção Mineral Brasileira (PMB), ficando atrás apenas do Estado de Minas Gerais, com 43,3% dos ganhos financeiros dessa atividade (SEDEME, 2020). Atualmente, Pará e Minas Gerais respondem por 90% de toda a arrecadação mineral do país, sendo Parauapebas, Canaã dos Carajás e Marabá, os três municípios com maior arrecadação.

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), no ano de 2021 a produção mineral brasileira foi de 1,150 bilhão de toneladas, o que significou um aumento de 7% em comparação a 2020. Paralelamente, o faturamento global do setor mineral em 2021 apresentou um aumento de 62% em comparação com o ano de 2020. O Estado do Pará apresentou o maior faturamento (R\$ 146,6 bilhões), seguido por Minas Gerais (R\$ 143 bilhões) e Bahia (R\$ 9,5 bilhões). Nesse cenário, o minério de ferro respondeu por 74% do faturamento global (AGÊNCIA BRASIL, 2022).

No primeiro trimestre de 2022 houve uma queda de 13% na produção mineral brasileira, comparada com o primeiro trimestre de 2021. Já com relação ao faturamento do setor, houve uma queda de 20% em relação ao primeiro trimestre de 2021 e 31% em relação ao quarto trimestre de 2021. No mesmo período, os Estados de Minas Gerais e Pará também apresentaram queda em seus faturamentos. Apesar disso, os dois Estados apresentaram 36% e 41% de participação no faturamento nacional, respectivamente, sendo o minério de ferro responsável por 58% desse faturamento (IBRAM, 2022).

Apesar das exportações do setor terem sido prejudicadas em 2019 pelo rompimento da barragem de rejeitos de minério da Vale em Brumadinho, Minas Gerais, em janeiro do mesmo ano, fazendo com que no mês de abril as vendas externas atingissem o menor volume em mais de sete anos, tem sido identificada uma rápida recuperação, confirmada pelos dados oficiais do Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) que apontam que as

exportações de minério de ferro subiram 16,7% entre junho e julho de 2019 (maior volume de exportações desde outubro de 2018), (MME, 2019; MDIC, 2019).

No primeiro semestre de 2021 o valor das exportações de minérios quase dobrou em comparação com o primeiro semestre de 2020 (91%). A exportação de minério de ferro no Brasil em 2021 totalizou US\$ 21,5 bilhões, o que correspondeu a 15% a mais que o mesmo período de 2020, sendo a China, Malásia e Japão os principais destinos dessas exportações (AGÊNCIA BRASIL, 2022). Com relação ao volume, enquanto em 2020 foram exportadas 153,5 milhões de toneladas de minério, em 2021 essa quantidade subiu para 174,5 milhões de toneladas, sendo o minério de ferro o principal produto do setor mineral exportado pelo Brasil. A análise da variação dos preços internacionais desses minérios, especialmente o minério de ferro, que variou de US\$ 103,3 em junho de 2020 para US\$ 214,43 por tonelada métrica seca no mesmo período em 2021, demonstra a influência do comportamento dos preços dessas commodities nessa dinâmica (INDEX MUNDI, 2021).

No primeiro trimestre de 2022 as exportações minerais apresentaram uma queda em comparação ao primeiro e quarto trimestre de 2021, assim como o saldo do setor. Apesar disso, o saldo mineral equivaleu a 52% do saldo do Brasil no mesmo período. Segundo o IBRAM, a queda das exportações no início de 2022 ocorreu, principalmente, em função da redução das compras de minérios por parte da China, o que consequentemente também resultou em uma queda no faturamento (IBRAM, 2022).

Em 2018 a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia (SEDEME) previa que a produção de minério de ferro paraense superaria a mineira e se tornaria a maior do Brasil nos anos seguintes, fato que vem se concretizando desde 2019 segundo dados do IBRAM. Segundo a Associação dos Municípios Mineradores de Minas Gerais (AMIG), além de o teor de ferro ser maior no Pará, o Estado possui a vantagem logística de estar mais próxima de um porto de escoamento da produção – Porto Ponta da Madeira, no Maranhão (JORNAL O TEMPO, 2018).

Segundo o Sindicato das Indústrias Minerais do Estado do Pará (SIMINERAL, 2019), na região Norte o setor mineral tem sido um dos principais indutores de crescimento, sobretudo no Estado do Pará, onde estão localizadas as duas maiores jazidas da região, em Carajás e Oriximiná. Os municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Marabá lideram o ranking de exportações do Estado. O setor mineral foi responsável por 88% das exportações do Estado em 2018, sendo o ferro o seu principal representante (US\$ 9.196 bilhões). Em 2021, comparando com 2020, as exportações paraenses

apresentaram aumento de 42%, sendo que o minério de ferro se manteve como o principal responsável pelo bom desempenho. Nesse mesmo ano, as exportações de minério de ferro do Pará ocuparam a primeira posição no Brasil, alcançando 35% do total nacional, além de responder por cerca de 20% do PIB paraense (MME, 2021).

De acordo com o IBRAM, o aumento do faturamento em 2021 gerou um aumento de 62% no recolhimento de tributos das empresas associadas com relação a 2020. Com relação à arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), houve um aumento de R\$ 6,08 bilhões para R\$ 10,29 bilhões, no mesmo período, sendo 85% desse valor oriundo do minério de ferro (AGÊNCIA BRASIL, 2022).

Com menor produção e menor exportação no primeiro trimestre de 2022, houve uma queda no faturamento e da CFEM para os municípios. Ainda segundo dados do IBRAM, 9 municípios dos 15 maiores arrecadadores da CFEM superaram o IDH de seu Estado, como é o caso de Parauapebas e Canaã dos Carajás e Marabá que apresentaram IDH de 0,715, 0,673 e 0,668 respectivamente, contra 0,646 do Pará (IBGE, 2010; SEDEME, 2020; IBRAM, 2022).

Os dados aqui expostos ilustram a influência da mineração no território da ferrovia, bem como na economia paraense e brasileira. Demonstram sua importância como objeto de estudo, em conjunto com sua zona de influência. A EFC transportava, antes da duplicação, 120 milhões de toneladas de carga e 350 mil passageiros por ano (VALE, 2018a). Após a duplicação, que foi concluída em 2018, a capacidade de transporte da ferrovia aumentou para 230 milhões de toneladas ao ano (aumento de 53%) (VALE, 2018b).

Na dimensão social, podemos destacar, por exemplo, que a indústria de mineração empregou diretamente até 2017 cerca de 180 mil trabalhadores, e gerou quase 2 milhões de vagas de emprego de forma direta, indireta ou induzida. Em função da crise econômica, em 2017 houve redução de 3,5 mil postos de trabalho (IBRAM, 2018). Em 2021 o setor mineral empregava diretamente mais de 198 mil pessoas, cerca de 8% do total de empregos do país. No primeiro trimestre de 2022 foram mais de 199 mil empregos diretos, já em maio do mesmo ano, esse número havia subido para mais de 201 mil (IBRAM, 2022).

Além disso, até 2026 estão previstos US\$ 40 bilhões em investimentos no setor mineral (46% já em execução), sendo US\$ 6 bilhões direcionados à área socioambiental e US\$ 35,3 em produção e infraestrutura. Entre os investimentos socioambientais, vale destacar a Carta Compromisso, através da qual empresas do setor mineral se

comprometem a realizar ações e mudanças no setor, beneficiando a dimensão socioambiental (IBRAM, 2022).

Por se tratarem de áreas de fronteira de expansão econômica, ao longo da EFC ainda existem muitas áreas urbanas em fase de consolidação e com pouca infraestrutura. Os estudos e análises dos municípios amazônicos que sediam grandes empreendimentos mostram um desequilíbrio entre as três principais dimensões da sustentabilidade (CRISTO *et al.*, 2018; SILVA, 2016; DE LIMA & SILVA, 2018).

A recente assinatura do Termo Aditivo ao Contrato de Concessão da EFC junto à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), que ocorreu em dezembro de 2020, aumentou a necessidade e importância de análise de seu território, tendo em vista a antecipação de investimentos na EFC que só ocorreriam a partir de 2027 (PPI, 2021). Assim, é relevante compreender a dinâmica socioeconômica e ambiental dos municípios que sediam esses empreendimentos e daqueles pertencentes a sua zona de influência. Leva-se em consideração a importância indiscutível do processo de formação da região amazônica e seus diversos fatores e agentes, como é o caso do processo migratório que tem influência direta na atual configuração do território aqui analisado.

Outro assunto que chama atenção nesse contexto é a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), que até a lei nº 13.540/2017, regulamentada pelo decreto 9.407 de 2018, não era destinada a todos os municípios da ferrovia, tendo em vista que, segundo o Conselho Nacional de Mineração, o fato gerador da CFEM é a saída por venda do produto mineral das áreas da jazida, mina, salina ou outros depósitos minerais. E ainda, a utilização, a transformação industrial do produto mineral ou mesmo seu consumo por parte do minerador (CNM, 2012; BRASIL, 2017; BRASIL, 2018).

A partir deste novo decreto, fica estipulado que localidades comprovadamente cortadas por infraestruturas utilizadas para o transporte ferroviário ou dutoviário de substâncias minerais, afetadas pelas operações portuárias e de embarque e desembarque de minérios, onde se localizem as pilhas de estéril, as barragens de rejeitos e as instalações de beneficiamento de substâncias minerais, bem como as demais instalações previstas no plano de aproveitamento econômico devem receber parte dos *royalties* da mineração (BRASIL, 2018). Sendo assim, os municípios que não eram beneficiados com estes *royalties* passariam a receber a parcela de 15% do CFEM que foi redistribuído.

O Consórcio Intermunicipal Multimodal (CIM) firmado pela administração dos municípios maranhenses atravessados pela ferrovia, vinha há décadas buscando modificar

este cenário, no qual alegava que os impactos socioeconômicos e ambientais gerados pela presença da ferrovia afetavam os municípios maranhenses de forma desproporcional quando comparados aos municípios paraenses.

Essas são apenas algumas das questões que envolvem a problemática dos municípios e comunidades influenciadas por atividades mineradoras, demonstrando a importância de estudos na região. Desse modo, a identificação e análise do grau de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental dos municípios que compõem este território, bem como a compreensão das mudanças no uso do solo e condições socioeconômicas de comunidades atravessadas pela ferrovia são fundamentais. Os resultados obtidos podem orientar ações no território e contribuir para a sustentabilidade da região.

1.3.1. Conflitos no território da EFC

A ocorrência de conflitos de naturezas diversas é fato comum na história da ocupação da região amazônica, e ainda hoje faz parte da realidade deste território. Os conflitos de natureza fundiária, por exemplo, foram e são recorrentes na região e foram aprofundados com a chegada da mineração. Chaves *et al.*, (2008) afirmam que a análise dos conflitos ambientais deve considerar aspectos políticos, sociais e históricos. Nesse sentido, é importante esta breve apresentação sobre o tema relacionado à presença da EFC.

Silva *et al.* (2015) afirmam que a falta de gestão e planejamento das políticas de estímulo ao desenvolvimento econômico da região contribuiu significativamente para impactos socioambientais negativos na região: a construção de estradas, grandes rodovias e indústrias; a exploração de madeira; a implantação de grandes áreas de pastos para criação de gado; a mineração e os projetos de infraestruturas associados (estrada de ferro, mineradoras, hidrelétrica etc.)

O processo de modernização e expansão econômica via projetos de desenvolvimento é importante indutor de conflitos na região amazônica em função de ter possibilitado a abertura da exploração pelo capital privado.

O desenvolvimento da mineração merece destaque neste sentido, em especial o projeto S11D, no qual a EFC está inserida, já que a ferrovia atravessa uma quantidade expressiva de municípios com deficientes indicadores socioeconômicos e ambientais, elevando os índices de rejeição à atuação da empresa. Palheta *et al.* (2018) mencionam que a introdução das atividades de mineração industrial na região acelerou as dinâmicas e conflitos agrários que já existiam nesse território. Os conflitos sociais e ambientais na

região se agravaram com o surgimento de novos municípios, crescimento demográfico, aumento de receitas municipais, deixando clara a complexidade da nova configuração territorial dessa região (PALHETA ET AL., 2018).

Segundo Silva (2016), a tentativa de minimizar os impactos causados pelo transporte ferroviário nos municípios brasileiros é responsabilidade do Programa Nacional de Segurança Ferroviária em Áreas Urbanas (PROSEFER), criado pelo governo federal, através do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O programa busca mapear os corredores ferroviários mais conflituosos em termos de articulação física e número de acidentes.

Neste trabalho foi adotada a definição de conflitos socioambientais abordada por Muniz (2010), que afirma que os conflitos socioambientais são resultado da disputa pelo acesso aos bens de serviços ambientais, ou seja, ocorrem em torno de problemas e uso e apropriação de recursos naturais. Dessa forma, segundo este autor, os conflitos são confrontos entre atores sociais que defendem diferentes lógicas para a gestão dos bens coletivos de uso comum.

Quando materializados, os conflitos podem assumir formas variadas, de acordo com a perspectiva apresentada no Modelo Econométrico de Análise de Conflitos na EFC, elaborado pelo ITV através do Grupo de Pesquisa Socioeconomia e Sustentabilidade, no qual os conflitos apresentam-se como qualquer manifestação da sociedade que resulte em protesto, ato de desagravo ou interdição da Estrada de Ferro Carajás (ITV, 2017).

Segundo o ITV (2017), os acidentes na Estrada de Ferro Carajás totalizaram 145 registros de vítimas no período de 2008 a 2015, números que se desdobram em importantes indutores de conflitos na região. Tais ocorrências estão vinculadas à dimensão efeito-ferrovia, estudada pelo Instituto, além de outras dimensões e suas variáveis socioeconômicas e ambientais.

A EFC, juntamente com a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) estão entre as melhores ferrovias brasileiras com relação à segurança, e possuem também os menores números de acidentes nos últimos anos entre todas as concessionárias, segundo o Anuário do Setor Ferroviário da ANTT. Apesar disso, Miguel (2020) demonstra que os índices de acidentes destas ferrovias são superiores aos europeus.

Dados de 2006 a 2019 mostram que essa ferrovia apresentou maior número de acidentes quando compara à EFVM e às ferrovias da Europa. Com relação à Europa, os índices de acidentes da EFC foram 2,5 vezes maiores. Tendo apresentado uma redução abaixo da EFVM apenas a partir de 2018 (MIGUEL, 2020).

Segundo o site Justiça nos Trilhos (2018), em 2017 uma mulher e uma criança foram atropeladas pelo trem, fato que resultou na interdição da ferrovia pelos moradores que reivindicavam a construção de uma passarela por parte da mineradora. Nove meses depois da ocorrência, a passarela foi inaugurada. No entanto, o site demonstra que são constantes as ocorrências potenciais causadoras de conflitos entre a população da zona de influência da EFC e a mineradora.

A Edição de 22 de agosto de 2022 da revista Mongabay, trata do atropelamento de animais em ferrovias como um impacto ainda desconhecido no Brasil, apesar de o tipo de acidente ferroviário que mais chama a atenção, pela quantidade de ocorrências. Segundo o Centro Brasileiro de Ecologia de Estradas, perde-se em acidentes rodoviários cerca de 475 milhões de vertebrados por ano, número que ainda não é conhecido quando relacionado a acidentes ferroviários, já que os impactos das ferrovias sobre a vida silvestre têm, constantemente, recebido menor visibilidade do que aqueles que ocorrem em rodovias (DORNAS, 2019).

Dornas (2019) constatou que, quando há identificação de atropelamento de animais, a atenção maior é dada a vertebrados de médio e grande porte, no entanto, em seu estudo de mestrado identificou que cerca de 10 mil sapos cururu morrem por ano na EFC. Entre os motivos dessa constatação, que também justifica o atropelamento de outros animais, está o chamado “efeito barreira”, o motivo de acidentes que mais diferencia ferrovias e rodovias, já que a estrutura dos trilhos impede a travessia dos animais, principalmente aqueles de pequeno porte.

Para evitar tal situação, vêm sendo construídas passagens de fauna em alguns locais específicos da ferrovia, com destaque à construção, em 2017, dos dois primeiros viadutos vegetados para animais silvestres do Brasil, no Ramal Ferroviário da Estrada de Ferro Carajás (MONGABAY, 2022). Silva (2016), em seu trabalho sobre as Dinâmicas Urbanas ao longo de Ferrovias, verificou que pouco se tem buscado soluções que atendam os dois lados: a ferrovia e os espaços urbanos. A autora afirma que as estratégias adotadas para a minimização das ocorrências são meramente técnicas para o setor ferroviário, mas produzem alterações que afetam o espaço urbano, o que acaba gerando mais conflitos.

O site Justiça nos Trilhos (2018) afirma que, em um período de 12 anos, entre 2004 e 2016, a ANTT registrou 124 acidentes na EFC, sendo 73 atropelamentos, só no trecho maranhense da ferrovia. Em setembro de 2018, um morador de Alto Alegre do

Pindaré – município maranhense cortado em toda sua extensão pela ferrovia – foi atropelado pelo trem da mineradora, chegando a óbito.

O projeto para duplicação da EFC, em 2017, aprofundou os conflitos entre a empresa e os municípios, especialmente em Marabá, no Pará, uma das áreas mais populosas da EFC (Silva, 2016). Os conflitos aumentam com as exportações das principais *commodities* da região, como ferro-gusa, minério de ferro, alumínio e soja, nesta ordem (PENHA E NOGUEIRA, 2015).

Esta tese foi organizada em cinco capítulos que visam garantir a compreensão das condições que interferem no grau de vulnerabilidade e, conseqüentemente, na sustentabilidade do território da EFC – em escala municipal – e da dinâmica socioeconômica e ambiental baseada na análise das mudanças de uso do solo em escala mais detalhada, a partir do estudo de comunidades urbanas e rurais presentes no território.

O capítulo 1 refere-se aos aspectos introdutórios da pesquisa, incluindo seus objetivos, importantes questões que justificam a elaboração desta tese, e a caracterização da área de estudo; o capítulo 2 apresenta o referencial teórico que fundamentou as análises feitas no decorrer do estudo; o capítulo 3 apresenta o estudo referente ao Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental dos municípios que compõem a EFC; o capítulo 4 apresenta a análise das Mudanças do Uso do Solo e as Condições Socioeconômicas de comunidades localizadas ao longo da EFC; e, por fim, o capítulo 5 é a conclusão geral do estudo.

2. Referencial Teórico

Este capítulo trata da fundamentação teórica utilizada como base na elaboração da pesquisa, incluindo aspectos da formação histórica e ocupação da região amazônica, revisão sobre os conceitos de vulnerabilidade e sustentabilidade, fundamentação para a espacialização do índice de vulnerabilidade e aspectos sobre o uso e ocupação do solo e condicionantes socioeconômicas.

2.1. Formação Histórica e Ocupação da Amazônia

Para se compreender como se deu a ocupação da região amazônica, na qual o território da EFC está inserido, é necessário um levantamento histórico de como se deu o processo de ocupação da região.

Deve se considerar o desenvolvimento de sua dinâmica socioeconômica e ambiental, aspectos fundamentais ao entendimento da configuração atual da região, conforme explicitado a seguir.

Os fenômenos como ciclo da borracha (1879 a 1912), madeira (décadas de 1970 a 1990), soja (1990 até o período atual), minério (1980 até o período atual), pecuária (décadas de 1970 a 2000), busca por terras e melhores condições de vida (décadas de 1960 a 1990), foram alguns dos atrativos que levaram pessoas de todas as partes do país, desde a época de seu descobrimento, à Amazônia.

No entanto, somente no governo Vargas (1930-1945) a colonização da floresta passou a ser vista como estratégica aos interesses nacionais. À época, os programas do governo, intitulados *Marcha para o Oeste* (1938) e o *Discurso do rio Amazonas* (1940) definiram a Amazônia como objeto de conquista pelo poder central. Nesse mesmo período, o periódico *Cultura Política* passou a publicar artigos sobre a região, disseminando as principais ideias do pensamento social do Estado Novo. Conceitos literários de escritores como Euclides da Cunha, Alberto Rangel e Alfredo Ladislau sobre temas como o clima, raça e civilização, foram apropriados pelo periódico, a fim de garantir um novo olhar à região (ANDRADE, 2010).

A partir das ações do governo Vargas voltadas à Amazônia, a região passou a ser tratada como uma questão de soberania nacional, deixando de lado suas particularidades e realidade regional (GONÇALVES, 2001). Nesse contexto, o que limitasse o desenvolvimento da região deveria ser excluído. Domar a natureza e racionalizá-la eram as grandes metas do governo. A fronteira precisaria se fazer plena, e de lá sairia o “novo amazônida” (ANDRADE, 2010).

Segundo Andrade (2010), a *Marcha para Oeste* foi o primeiro movimento de ocupação e legitimação de áreas mais afastadas da costa do país, um programa de governo que buscava a integração econômica nacional a partir da colonização de regiões consideradas longínquas e desabitadas.

Nesse contexto, a integração seria realizada por meio da conquista e ocupação de fronteiras do país, entre as quais a Amazônia. O acordo firmado com os Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial para garantir a mão de obra necessária aos seringais da Amazônia para a extração da borracha, também justifica o movimento da Marcha para Oeste. A visita de Vargas ao Pará e Amazonas – onde proferiu o Discurso do rio Amazonas – em 1940, evidenciava os interesses do governo sobre a região, tornando-se um marco histórico.

A partir desse período, com o Estado Novo, significativas mudanças feitas pelo governo ocorreram, através de um processo de reformas que reestruturou o país política e economicamente (ANDRADE, 2010). Tais mudanças ocorreram em níveis de reorganização do Estado, reordenamento da economia, novo direcionamento das esferas pública e privada, nova relação do Estado com a sociedade, do poder com a cultura, das classes sociais com o poder, do líder com as massas (CAPELATO, 2003).

De acordo com o Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil, da Fundação Getúlio Vargas (CPDOC/FGV), entre os instrumentos de estímulo ao desenvolvimento da Amazônia criados por Vargas, é importante citar a criação do Banco de Crédito da Borracha em 1942, responsável por absorver a produção de borracha natural nos seringais da Amazônia; do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, em 1952; da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), em 1953, através da Lei nº1.806; da Zona Franca de Manaus em 1957, com o intuito de impulsionar o desenvolvimento econômico na região, que dez anos mais tarde, no governo militar, passaria a ser administrada pela Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA).

A SPVEA foi responsável por definir o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, que seria, de acordo com a Lei nº1.806 um “sistema de medidas, serviços, empreendimentos e obras destinados a incrementar o desenvolvimento da produção extrativa, agrícola, pecuária, mineral e industrial” da região (BRASIL, 1953). Na área da agricultura, por exemplo, o Programa de Emergência induzia a intensificação da imigração, organização racional da colonização e reflorestamento.

No setor de transportes, a melhoria da navegabilidade dos rios, o atendimento às necessidades ferroviárias e rodoviárias da região era ressaltado. Havia também programas voltados à saúde, ao crédito bancário como incentivo à iniciativa privada, e um programa de desenvolvimento cultural. Em 1966, a SPVEA foi transformada na Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) pela Lei nº 5.176 (CPDOC/FGV).

As reformas do Estado Novo favoreceram a intervenção do Estado na economia(COSTA, 2008). Silva (2004) destaca que a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), criada em 1942 em bases nacionalistas, atrelada a interesses estrangeiros, faz parte do grupo inicial de empresas estatais criadas paralelamente ao momento da estruturação da nação, momento em que a siderurgia, mineração e petróleo foram transformados em razão do Estado.

Apesar de desde o governo Vargas a Amazônia ter se tornado objeto de planejamento governamental, somente a partir do governo Juscelino Kubitschek (1956-1961), baseado no slogan “50 anos em 5”, com a política de unificação dos mercados nacionais através de energia e transporte², e de transferência da capital federal do Rio de Janeiro para Brasília, a região passa a ser significativamente alterada (BECKER e EGLER, 1992).

A fundação da cidade de Brasília, no governo Juscelino Kubitschek, garantiu a integração física da região amazônica ao restante do país através da implantação das estradas, com destaque às rodovias Belém-Brasília (BR-010) e Brasília-Acre (BR-364). A implantação de rodovias foi impulsionada pela grande articulação política nacional, através da junção entre capital nacional e estrangeiro, desenvolvendo o polo industrial automobilístico (GONÇALVES, 2001).

O governo militar (1964-1984), com o slogan “integrar para não entregar”, tinha como uma de suas missões, incorporar a Amazônia ao desenvolvimento do restante do país. Nesse sentido, a região foi inserida em um novo contexto, possibilitado a partir de empréstimos (Banco Interamericano de Desenvolvimento e Banco Mundial – BID e Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD), incentivos fiscais e beneficiamento de grandes empresas. Decisões importantes que envolviam a região passaram a ser tomadas sem o consentimento da população local, ocasionando conflitos, tensões e resistências (GONÇALVES, 2001).

Becker (2010) destaca que o processo de modernização das instituições foi uma das estratégias nas quais se baseou o projeto de ocupação acelerada da região. A transformação da SPVEA em Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e do Banco da Borracha em Banco da Amazônia (BASA), ambos em 1966 pelos militares, são exemplos desse processo.

Nesse período, segundo Gonçalves (2001), mais de 600 empresas transnacionais passaram a investir na região. O autor destaca ainda que, na visão dos militares, garantir o desenvolvimento tecnológico e industrial era fundamental para garantir a integridade territorial, gerando benefícios às indústrias montadoras de automóvel e pneus, em sua maioria estrangeiras.

² É importante destacar que neste governo ocorreram outros eventos importantes para o Brasil, através do Plano de Metas, como a aceleração da urbanização, da industrialização (indústria de base), destacando a ascensão da indústria automobilística a partir da abertura da economia ao capital internacional (IANNI, 1996).

A necessidade Estatal de buscar novas frentes produtivas de minério ocasionou a entrada da CVRD na Amazônia, na década de 1960 (COSTA, 2008). Segundo Silva (2004), na década de 1970, a CVRD juntamente com o governo brasileiro, estabelece uma parceria com os empresários e com o governo japonês. A partir de tal parceria, em 1974, a CVRD assinou um acordo com a *Light Metal Smelters Association* (LMSA) para realizar estudos de um projeto integrado de alumina e alumínio. Em 1976, foram criadas a Alumínio do Brasil S.A (ALBRAS) e a Alumínio do Norte do Brasil (ALUNORTE), deixando claro que a partir da década de 1970, as negociações com a Ásia se tornaram o ponto fundamental de crescimento do capital da estatal.

Na década de 1980, durante o governo militar, entrou em operação o Projeto Minério de Ferro Carajás, no sudeste do Estado do Pará, mostrando a importância que a entrada da estatal na região Amazônica teve para o seu desenvolvimento.

Tendo em vista a necessidade de um sistema de escoamento da produção da mina, a CVRD optou pela utilização do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), no município de São Luís, no Maranhão, que seria possibilitada através da construção de uma ferrovia (SILVA, 2004), a Estrada de Ferro Carajás.

Unes *et al.* (2015) mencionam que a escolha da Baía de São Marcos, em São Luís, em detrimento do porto de Belém, mais próximo, para a construção do TMPM foi baseada na análise das características da baía e do desenvolvimento das operações portuárias, já que o local apresenta largura e profundidade naturais adequadas à operação de navios graneleiros de grande capacidade de carga, e o canal de acesso natural que permite o tráfego simultâneo dos navios de grande porte, a boa visibilidade, grande profundidade e a posição geográfica favorável.

Entre as estratégias de ocupação da Amazônia descritas por Becker (2010), destacam-se: a superposição de territórios federais sobre estaduais, que garantiu ao governo federal o poder de controlar a distribuição de terras - apropriação de terras dos Estados pelo governo federal, criação da Amazônia Legal, aquisição federal de 100 km em ambos os lados das rodovias construídas, alegando que a área seria usada para a distribuição de terra para camponeses; as redes de informação e controle externo do território - projetos de proteção ambiental, como o Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras/PP-G7, operacionalizado em 1994; subsídios ao fluxo de capital e indução dos fluxos migratórios - direcionamento do fluxo de capital do sudeste e exterior para a Amazônia a partir de 1968 através dos mecanismos fiscais e creditícios ao mesmo tempo em que houve uma indução da migração para a região por meio de projetos

de colonização, visando povoamento, formação de mercado e de mão-de-obra local; implantação de redes de integração espacial - rede rodoviária, rede de telecomunicações via satélite, rede urbana e rede hidroelétrica.

Becker (2010) afirma que no caso das redes de integração, a implantação da Transamazônica (BR-230) e Perimetral Norte (BR-210), Cuiabá-Santarém (BR-163) e Porto Velho-Manaus (BR-319) ampliou a rede rodoviária (em menos de 5 anos, cerca de 12.000km de estradas foram construídos).

Ao mesmo tempo, a difusão da TV e da rede telefônica foi possibilitada através da rede de telecomunicações via satélite. A rede urbana tornou-se a sede das redes de instituições estatais e organizações privadas. A rede hidroelétrica foi criada para fornecer energia, insumo básico à nova fase industrial.

Essas novas redes passaram a definir os fluxos de mão-de-obra, capital e informação. No caso das rodovias, houve uma mudança no padrão de circulação e de povoamento da região, substituindo-se as hidrovias e encurtando-se as distâncias e o tempo de deslocamento entre localidades, resultando no ciclo do desmatamento, exploração madeireira e pecuária, causando diversos conflitos sociais e ambientais e aumentando as concentrações populacionais pelos projetos de colonização (BECKER, 2010).

Becker (2010) afirma que quando tratamos de redes de circulação, a ferrovia e a hidrovia, possuem impacto ambiental muito menor do que a rodovia, já que esta última abre florestas, possibilitando o avanço de madeiras, pequenos e grandes produtores, e gerando um desmatamento de até 50 km em suas laterais. Por isso, há uma necessidade de privilegiamento e potencialização de ferrovias e hidrovias em detrimento das rodovias.

Com as ações visando unificar o mercado nacional, paralelamente ao desenvolvimento da industrialização, houve uma acentuação dos movimentos migratórios em direção à região, ocasionando um crescimento populacional de 1 para 5 milhões de habitantes entre as décadas de 1950 e 1960 (BECKER, 2010). No entanto, a autora afirma que somente entre 1966 e 1985 se deu o planejamento regional efetivo da região, que assumiu prioridade em função de fatos como as tensões sociais geradas pela expulsão de pequenos produtores do Nordeste e Sudeste em função da modernização da agricultura.

No caso da Amazônia Ocidental a ocupação se deu, em grande parte, por pessoas do sul do Brasil e do interior do Estado de São Paulo; já na Amazônia Oriental, ocorreu a partir da abertura da rodovia Belém-Brasília, em grande parte por naturais do nordeste e

foi consolidada com os grandes projetos agrícolas e mineradores (BENTES e AMIN, 2005).

Becker (1990) afirma que, *à priori*, entre 1950 e 1960 a maior parte do fluxo migratório era espontânea; a partir de 1970, com a apropriação privada das terras e o controle das mesmas pelo governo, a migração passou a ser induzida.

Em 1970 foi criado o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), com o papel de organizar a política de terras do governo, após a extinção do Instituto Brasileiro de Reforma Agrária (IBRA) e do Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário (INDA). Diante das tensões fundiárias, o órgão tinha a opção de modificar a estrutura fundiária nos locais de conflito (reforma agrária), ou de seguir com projetos de colonização em áreas inabitadas, opção seguida pelo INCRA. O caminho tomado pelo órgão explica a dinâmica territorial brasileira a partir desse momento (LE TORNEAU e BURSZTYN, 2010).

Com a criação do Programa de Integração Nacional (PIN), que tinha como objetivo implantar obras de infraestrutura econômica e social no Norte e no Nordeste do Brasil, começaram os projetos de colonização oficiais em torno de agrovilas, ao longo das rodovias federais. A meta desse programa era localizar 70.000 famílias ao longo da Transamazônica e da Cuiabá-Santarém, de acordo com o Primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento (I PND), de 1972 a 1974 (BENTES E AMIN, 2005).

O slogan difundido pelo PIN (1970) “terras sem homens para homens sem terra” evidenciava a noção de “vazio demográfico” imposta à região, deixando de lado as populações locais (indígenas, caboclos, trabalhadores agroextrativistas).

Le Torneau e Bursztyn (2010) afirmam que a criação dos grupos executivos do Araguaia Tocantins (GETAT), do Baixo Amazonas (GEBAM) e do Ministério Extraordinário para os Assuntos Fundiários (década de 1980) ocorreu fruto do medo do governo de que uma nova guerrilha, como a do Araguaia, fosse deflagrada. Estes autores destacam que, a partir de 1985, a questão da reforma agrária passou a ser claramente assumida pelo governo como uma prioridade nacional.

Segundo Gonçalves (2001), a construção da rodovia Transamazônica, das hidrelétricas de Balbina e Tucuruí - “obras faraônicas” do governo militar -, a criação de novos espaços sob tutela direta do poder federal (a faixa de 100km de cada lado das rodovias construídas), a criação do GEBAM e GETAT, além da criação da SUFRAMA, extinção do Banco de Crédito da Amazônia e o fim dos subsídios aos velhos seringalistas

(1967), ilustram o papel secundário que passou a ser reservado à população da Amazônia e suas elites.

Bentes e Amin (2005) argumentam que existia uma incompatibilidade entre as políticas ambientais e fundiárias do governo federal, pois segundo Savini (2005), de acordo com o Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais do Brasil (PPG-7), o modelo de redistribuição de terras do INCRA na Amazônia estaria contribuindo para o desmatamento da região porque os assentados recebiam os lotes de terra, mas nenhuma assistência técnica para produzir nem para aprender a manejar essa terra, derrubando e vendendo madeira para se capitalizarem.

O fracasso dos assentamentos realizados ao longo da rodovia Transamazônica induziu o governo a substituir a colonização baseada na pequena propriedade pelos Grandes Projetos. Em função disso, em 1974, foi implantado o Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (POLAMAZÔNIA), construindo infraestrutura e concedendo subsídios para as empresas privadas, nacionais e internacionais (BENTES e AMIN, 2005). Através dessa estratégia, quinze *polos de desenvolvimento* canalizariam investimentos, cada pólo especializado em determinadas atividades de produção.

O estímulo da imigração pelo governo trouxe para a região agentes com maior poder econômico, expandindo empresas agropecuárias e de mineração. O desenvolvimento do Programa Grande Carajás (PGC) em 1980 e do Projeto Calha Norte (PCN) em 1985 se deu em meio às ações militares que objetivavam diminuir a despesa pública e aumentar rapidamente as exportações através do desenvolvimento tecnológico, concentrando investimentos em áreas específicas (BECKER, 2010).

Segundo Bentes e Amin (2005), no período de 1975 a 1980 houve um aumento de 45% (12.840 km) na extensão das rodovias para atender aos interesses dos grandes projetos, no sentido de escoamento da produção em direção ao exterior.

Esses projetos intensificaram o uso dos recursos naturais e aumentaram a interferência no meio ambiente, modificando as paisagens amazônicas, uma vez que as florestas deram lugar ao cultivo e às pastagens artificiais ou a grandes buracos a céu aberto, deixados pela extração de minérios (BENTES E AMIN, 2005). Vale ressaltar que tais buracos ocupam áreas consideravelmente menores que aquelas ocupadas pelas pastagens, além de o dano ambiental da mineração também ser menor quando comparado àquele causado pelas pastagens (SOUZA-FILHO et al., 2018).

Ao afirmar que a ocupação da Amazônia se deu de forma estratégica, em locais estratégicos, Becker (2010) destaca que a mesma ocorreu em surtos devastadores relacionados ao mercado internacional e à valorização de produtos específicos (borracha, madeira, minério, pecuária e soja, por exemplo), surtos esses seguidos de longos períodos de estagnação. Nesse contexto, ficava clara a predominância do que a autora chama de visão exógena de desenvolvimento.

O desenvolvimento de debates ambientalistas tornou ainda mais complexas as discussões sobre a região, envolvendo cada vez mais agentes. A divergência entre a ideologia ecológica conservadora, que via a Amazônia como santuário preservado dos males da civilização, e a visão da realidade amazônica, ou seja, da população local, que vivia uma realidade de miséria e violência, tornava-se cada vez mais perceptível. Gonçalves (2001) afirma que a visão da realidade amazônica passou a desafiar a ideologia conservadora a pensar a questão social junto com a ecológica.

O Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais do Brasil (PP-G7) se transformou no grande indutor dos projetos endógenos envolvendo as principais reivindicações sociais. Dentre os diversos tipos de concentrações endógenas, destacam-se as áreas protegidas (terras indígenas e unidades de conservação, como as Reservas Extrativistas - RESEX) e os projetos comunitários. O projeto das Resex é fruto da luta dos seringueiros por sua sobrevivência contra a expansão dos fazendeiros de gado e os projetos de colonização do INCRA (BECKER, 2010).

A partir de 1996, o projeto ambientalista propõe a formação de imensos corredores ecológicos para proteção ambiental. No entanto, a retomada do planejamento com o Programa Brasil em Ação gerou um fortalecimento do modelo exógeno de desenvolvimento, havendo assim a coexistência dos modelos exógeno e endógeno, caracterizados pelos corredores de transporte e de conservação, respectivamente, evidenciando o caráter conflitante das políticas públicas que ainda hoje marcam a região (BECKER, 2010). A promulgação das Leis de Recursos Hídricos (Lei 9.985/2000) e da Lei de Unidades de Conservação (Lei 9.433/2000), demonstra claramente a importância do modelo endógeno de desenvolvimento na região.

Quando alteramos a escala de análise para a compreensão da dinâmica envolvendo as cidades amazônicas, temos importante contribuição de Becker (1990), que afirma que as cidades tiveram importante papel logístico na ocupação da região, tornando-se uma floresta urbanizada, com 61% de sua população em núcleos urbanos (1966), apresentando ritmo de crescimento superior às demais regiões do país a partir da

década de 1970. Ao mesmo tempo, houve uma desconcentração urbana, tendo em vista o crescimento populacional não apenas nas capitais estaduais, mas nas pequenas cidades.

As cidades se tornaram um dos maiores problemas ambientais da Amazônia, em função da velocidade da imigração e da carência de serviços, apesar de representarem importante mercado regional. O padrão de ocupação linear ao longo das hidrovias e rodovias gerou o grande arco do desmatamento (arco do povoamento adensado) e focos de calor (BECKER, 2010).

O relatório do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM (2003) aponta que houve uma expansão acelerada da fronteira em função da construção de estradas, sem um investimento proporcional na capacidade do governo de gerenciar a região.

Como resultado, ocorreu uma migração e colonização desordenadas, extração descontrolada de recursos naturais e piora da capacidade de gerência do governo. Santos (2002) destacou que a natureza sofre um processo de instrumentalização, a fim de garantir subsídios ao que ele denominou de “capitalismo tecnológico”, tornando-se assim um bem econômico e, desta forma, cada vez mais “desnaturalizada”.

Bentes e Amin (2005) afirmam que na década de 1980, a taxa de variação da urbanização regional (131,8%) foi, aproximadamente, três vezes maior que a taxa nacional (53%). De 1960 a 1991, tanto a população urbana quanto a rural apresentaram variações positivas e crescentes, indicando a ocorrência do movimento populacional inter e intrarregional, que ocorreu como suporte aos Grandes Projetos. Tais migrações ainda persistem atualmente, em direção às áreas de florestas ou detentoras de recursos minerais, como é o caso do território da EFC. Homma (1993) explica que para reduzir a pressão sobre os recursos da região amazônica, a redução das correntes migratórias, através do aumento da produtividade e da reorganização fundiária nas áreas de agricultura tradicional, seria ação fundamental.

Santos (1994) explica que, numa economia mundializada, as sociedades tendem a adotar, de forma total ou parcial, explícita ou implícita, um modelo técnico que se sobrepõe aos fatores naturais e humanos. Nesse contexto, Becker e Egler (1992) consideram a importância de novas estratégias que utilizem o capital natural sem destruí-lo e gerando riqueza para as populações regionais.

2.2. Vulnerabilidade

Apesar da atenção relativamente recente, o conceito de vulnerabilidade ganhou mais espaço nas discussões científicas e acadêmicas através de suas múltiplas dimensões de análise e aplicação em várias áreas científicas, ilustrando sua complexidade e indispensabilidade. Muitos campos e disciplinas utilizam este conceito, incluindo gestão de desastres, economia, sociologia, antropologia, geografia, saúde, mudanças climáticas e estudos ambientais em geral (CUTTER 1996; ALWANG *et al.* 2001). Gallopin (2006) destaca a facilidade de adaptação do conceito de vulnerabilidade às mais diversas áreas do conhecimento, devido a seu amplo escopo.

Esta ampla gama de aplicações explica a falta de consenso sobre uma única definição deste conceito; entretanto, uma análise transdisciplinar torna possível compreender a vulnerabilidade. Para Moser (1998), a vulnerabilidade é uma situação onde ocorre exposição ao risco, incapacidade de reagir e dificuldade de adaptação. Como impede o desenvolvimento e a coesão social implícita, a iniquidade socioeconômica deve ser considerada um risco, que os pesquisadores e formuladores de políticas devem identificar para determinar como as pessoas e lugares respondem a ela e se adaptam (RODRIGUEZ, 2001).

Turner et al. (2003) definem vulnerabilidade como o grau de possibilidade de que a exposição a um perigo, perturbação ou estresse prejudique um sistema, subsistema ou componente desse sistema. Já para Cutter (2011), a vulnerabilidade é o potencial de perda, a probabilidade de um indivíduo ou grupo ser afetado por um evento, ou a suscetibilidade ao perigo ou dano.

De Oliveira Esteves (2011) observa que a vulnerabilidade envolve um conjunto de fatores que podem reduzir ou aumentar os riscos aos quais os seres humanos, individualmente ou em grupo, estão expostos nas diversas situações de suas vidas. Estas situações podem ser, por exemplo, uma inundação, um deslizamento de terra, perda de empregos, despesas inesperadas, doenças, marginalização social, recessão econômica, entre outras.

Adger (2006) confirma essa ideia ao destacar a importância do conceito, que funciona como uma ferramenta capaz de descrever situações diversas, como: susceptibilidade a danos, impotência e marginalidade de sistemas físicos e sociais, além de orientar ações que visem a melhoria do bem-estar através da redução do risco.

Para Alheiros (2011), a vulnerabilidade é a condição de fragilidade das pessoas, do lugar ou da infraestrutura local e, ao ser analisada em conjunto com o conceito de

suscetibilidade (condição propícia à ocorrência de um processo), resulta no conceito de risco. Dessa forma, para a mitigação de riscos, há a necessidade de identificação das vulnerabilidades, evitando eventos ou perigos e garantindo as devidas respostas aos mesmos.

Yoon et al. (2017) destacam que ela é um fator fundamental utilizado para explicar as condições locais em resposta a desastres naturais e pode aparecer nas estruturas físicas das comunidades (incluindo aspectos ambientais) e na situação social de grupos populacionais vulneráveis, como idosos, jovens, deficientes e pobres.

Para as Nações Unidas, os fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais determinam a vulnerabilidade, pois aumentam a suscetibilidade de um indivíduo, local ou bem ao impacto de um processo potencialmente perigoso. A vulnerabilidade pode ser definida ainda como as características e circunstâncias de uma comunidade ou sistema comunitário, que a tornam suscetível aos efeitos prejudiciais de um perigo (UNISDR, 2017).

A vulnerabilidade em seu conceito mais amplo é afetada pelas dimensões física e social, sendo que a dimensão física está relacionada às condições biofísicas, propriedades físicas ou estruturais, e características dos ambientes naturais e construídos, como a proximidade de rios, várzeas etc. (ZAHARAN *et al.*, 2008). A dimensão social está relacionada às condições prévias de um domicílio, comunidade etc., e é determinada por fatores socioeconômicos e políticos. Por relacionar-se a características socioeconômicas, a vulnerabilidade social é identificada a partir da análise de variáveis demográficas, como a raça, gênero etc., e econômicas, como é o caso da renda, emprego, entre outras (CUTTER *et al.*, 2003; ZAHARAN *et al.*, 2008; YOON, 2012;).

Para Cutter (2011), a dimensão social da vulnerabilidade está relacionada à propensão ao risco, ou seja, às circunstâncias que aumentam ou diminuem a capacidade das pessoas, locais ou sistemas físicos de responder às ameaças; conceitua a vulnerabilidade social como a suscetibilidade dos grupos sociais ou da sociedade em geral estarem expostos a potenciais perdas, eventos perigosos e desastres. Quanto a vulnerabilidade física, relaciona-se à exposição ao risco, ou seja, as circunstâncias que colocam as pessoas ou localidades em risco. A interseção entre essas dimensões, segundo a referida autora, resulta na paisagem de riscos (*hazard scape*).

Vários estudos abordam diferentes dimensões de vulnerabilidade, demonstrando a complexidade e o caráter transdisciplinar do conceito. Neste contexto, destacam-se os trabalhos de Azeem *et al.* (2017) e Kuypers e Marx (2019). Johnson *et al.* (2012),

Bortoletto *et al.* (2014) e Graziano e Rizzi (2016) estão preocupados com a inserção das dimensões ambiental e socioeconômica. O estudo de Chang e Chao (2012) sobre o conceito de vulnerabilidade considera estritamente os aspectos físicos (ambientais), enquanto Cartier *et al.* (2009) e Yoon *et al.* (2017) o aplicam à análise de riscos e desastres naturais. De Alcântara *et al.* (2013) e Furlan *et al.* (2011) propõem metodologias para estudos que envolvem o tema. Cândido e Maior (2014) fazem uma revisão bibliográfica de diferentes métodos que envolvem o conceito.

Desde 1990, o Banco Mundial passou a basear sua estratégia de redução da pobreza em um tripé: crescimento econômico, capital humano e proteção social para as populações mais vulneráveis. Para identificar a população socialmente mais vulnerável tornou-se necessário entender o conceito de vulnerabilidade social; este se relaciona a diversos aspectos da vida dos indivíduos, capazes de orientar a mensuração das grandes desigualdades sociais nos países em desenvolvimento (SEDDON, 2014).

Há uma demanda por uma visão sócio espacial da vulnerabilidade para uma abordagem integrada e interdisciplinar, mostrando que a vulnerabilidade é uma condição social. Embora a vulnerabilidade social seja produto de desigualdades sociais, ela também inclui desigualdades de lugar, características da comunidade e do ambiente construído, tais como grau de urbanização, taxas de crescimento, acesso a recursos, informação, conhecimento, tecnologia, capital social, crenças e costumes, que influenciam diretamente o grau de vulnerabilidade social (CUTTER, 2011). Os dados socioeconômicos e ambientais garantem uma análise holística da exposição, propensão ao risco e a visão da vulnerabilidade como uma condição social (CUTTER, 2011).

A vulnerabilidade social e econômica envolve aspectos qualitativos relativos às qualidades do lugar, pessoas, comunidade e aos recursos disponíveis para situações de necessidade ou emergência; como tal, o status social atua de diferentes maneiras em como as pessoas, grupos e lugares irão lidar com o risco (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2009). Este risco esclarece que a distribuição desigual de serviços é um componente fundamental da vulnerabilidade social e ambiental e chama a atenção para a necessidade de uma espacialização justa da infraestrutura urbana (KASPERSON *et al.*, 2005; HOGAN *et al.*, 2001).

Malta (2018) destaca que a vulnerabilidade social é conceituada por alguns demógrafos como um conjunto de características sociodemográficas, de domicílios ou indivíduos, capaz de limitar a acumulação de recursos. A autora enfatiza a importância de captar características desfavoráveis ou de desvantagem social para caracterizar a

vulnerabilidade social, e realça o processo de migração, que pode ser ao mesmo tempo uma condição e uma resposta à vulnerabilidade, destacando a vulnerabilidade política criada por conflitos, capaz de levar pessoas a saírem de suas terras.

O conceito de vulnerabilidade social foi comumente confundido com o de pobreza. Pizarro (2001) aponta que enquanto a pobreza é uma consequência da insuficiência de renda, a vulnerabilidade social é uma consequência da estrutura do sistema econômico e de suas instituições no que diz respeito aos recursos disponíveis para as pessoas. Moser (1998), ao discutir os conceitos de vulnerabilidade e pobreza, aponta que embora a população pobre esteja geralmente entre as mais vulneráveis, nem toda população vulnerável é pobre; De Mello *et al.* (2011) confirmaram a multidimensionalidade da pobreza demonstrando um número significativo de pessoas com renda baixa, média e alta, mas que estavam em uma situação de vulnerabilidade social e ambiental alta ou muito alta.

Cross (2001) destaca a importância da dimensão temporal no conceito da vulnerabilidade, tendo em vista que áreas mais pobres podem precisar de mais tempo para sua recuperação frente a determinado problema, o que afetaria a economia e subsistência locais. O autor argumenta que pessoas em comunidades rurais ou pequenas cidades são mais vulneráveis do que pessoas em cidades grandes e áreas urbanas em função da falta de preparo frente a situações de risco. Hogan *et al.* (2001) confirmam a importância da dimensão temporal na análise da vulnerabilidade ao afirmarem que o dinamismo da vulnerabilidade torna possível ela mesma apresentar sazonalidades, ainda que em pequena escala temporal.

A vulnerabilidade ambiental é a incapacidade de um ecossistema de resistir a estresses no tempo e no espaço (WILLIAMS e KAPUSTKA, 2000). O tipo de urbanização e seu contexto podem contribuir para o aumento ou diminuição da vulnerabilidade ambiental, deixando claro que a urbanização nem sempre é um fator agravante da mesma (MALTA, 2018).

A expansão urbana, sua coexistência espacial com grupos sociais em risco, a degradação ambiental e a falta de acesso a serviços são fatores que podem aumentar a vulnerabilidade social e ambiental (DESCHAMPS, 2004; ALVES *et al.*, 2008; ALMEIDA, 2010).

Existe uma relação entre o nível de vulnerabilidade, a capacidade de resposta e ajuste às condições adversas, incluindo a capacidade de mobilizar ativos para enfrentar a adversidade (DESCHAMPS, 2006). Seguindo a mesma linha, Kaztman (2000) investiga

a vulnerabilidade ligada ao conceito de capital, ou seja, relacionada à existência ou não de ativos que possibilitem o enfrentamento de situações de risco, pois influenciam de forma direta na alimentação, qualidade dos serviços sociais, incluindo cuidados com a saúde, entre outros fatores.

Desde os anos 1980, Fournier (1995), Cardona (1996), Moser (1998), Kaztman et al. (1999), dentre outros autores, passaram a avaliar a importância das condições sociais na incidência, extensão e distribuição das ameaças naturais, dando início à construção do conceito de vulnerabilidade socioambiental. Cândido e Maior (2014) afirmam que a vulnerabilidade socioambiental está vinculada aos fenômenos de adensamento populacional, à segregação espacial urbana, aos processos de exclusão social e às injustiças ambientais, que se relacionam diretamente ao aumento demográfico e à falta de políticas públicas eficazes. Logo, definem a vulnerabilidade como um processo gerado por diversos fatores socioambientais que fragilizam pessoas, gerando consequências como perdas materiais e/ou de vida.

Cutter (2003) destaca que ainda são necessários grandes investimentos no conhecimento da ciência da vulnerabilidade, a fim de garantir uma ligação desta ciência a um campo teórico mais amplo, possibilitando um maior comprometimento com a justiça social e ambiental.

No caso da EFC, as condições de vulnerabilidade e riscos podem surgir devido ao mau planejamento dos espaços urbanos e sua desarticulação com a ferrovia. Estas são consequência da infraestrutura precária, do crescimento espontâneo e desorganizado das áreas próximas à ferrovia e das deficiências do desenvolvimento socioeconômico das cidades, relegando as áreas menos valorizadas às populações de baixa renda (SILVA, 2016). É relevante compreender a dinâmica socioeconômica e ambiental territorial para compreender as causas da variação da vulnerabilidade no território; O desequilíbrio entre as dimensões da sustentabilidade em uma determinada região é um efeito da vulnerabilidade em cada uma destas dimensões.

2.3. Sustentabilidade

Apesar de a questão ambiental ter passado a ser discutida globalmente em 1972, a partir da Conferência de Estocolmo, ou Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, que foi um marco na história da preservação do meio ambiente e organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) (DELLAGNEZZE, 2022), o debate ambiental ganhou um espaço mais considerável a partir da década de 1980,

quando foi retomado por esta organização através da criação, em 1983, da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que avaliou os dez anos daquela conferência e apresentou propostas para integrar a questão ambiental ao desenvolvimento econômico.

O Relatório Brundtland, ou Nosso Futuro Comum, foi o resultado dos estudos feitos pela Comissão, divulgado em 1987 com a proposta do desenvolvimento sustentável, definido como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades (INBS, 2019).

Limitar o crescimento populacional; garantir os recursos básicos (água, alimentos, energia) a longo prazo; preservar a biodiversidade e os ecossistemas; diminuir o consumo de energia e desenvolver tecnologias com uso de fontes energéticas renováveis; aumentar a produção industrial nos países não-industrializados com base em tecnologias ecologicamente adaptadas; controlar a urbanização desordenada e integrar campo e cidades menores; e atender as necessidades básicas (saúde, escola, moradia) seriam as medidas a serem tomadas por todos os países para alcançarem o desenvolvimento sustentável (INBS, 2019).

As consequências do processo de desnaturalização, mudanças nos padrões de consumo e produção, evidenciam a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e o modelo de desenvolvimento vigente. No entanto, as medidas propostas por desenvolvimento sustentável não apelam contra o crescimento econômico, mas sim para uma conciliação entre este, as questões sociais e ambientais.

Bentes e Amin (2005) afirmam que é a partir da preocupação e da prioridade dada ao homem que se pode atingir o desenvolvimento em toda a sua plenitude. Dessa forma, entende-se a importância da relação entre as questões sociais e ambientais. Tal relação é intrínseca, considerando que as ações humanas sobre o meio ambiente o modificam e criam diferentes tipos de interdependência entre as dimensões. Também é extrínseca porque envolve aspectos de políticas públicas, elaboradas com foco na melhoria do bem-estar populacional e no crescimento econômico com base em fundamentos de sustentabilidade.

Os municípios amazônicos, sedes de grandes projetos e investimentos, são diretamente afetados pelas mudanças desencadeadas pela lógica de produção capitalista. Os estudos e análises desses municípios que sediam grandes empreendimentos mostram um desequilíbrio entre as dimensões da sustentabilidade. Quando falamos de

sustentabilidade, imediatamente nos remetemos ao tripé deste conceito, que afirma que a sustentabilidade é composta por três dimensões: econômica, social e ambiental ou ecológica.

Conforme Claro *et al.* (2008), “essas dimensões são também conhecidas como *triple bottom line*”. Desse modo, conceito de desenvolvimento sustentável se preocupa com equidade intra e intergeracional, que envolvem a relação dinâmica entre os sistemas socioeconômico e ecológico, de forma a assegurar a vida humana com respeito à cultura dos povos, proteção da diversidade e das funções do sistema ecológico (CONSTANZA, 1991; MUNASINGHE, 2010; INBS, 2019).

Para Nascimento (2012), os embates na arena internacional transformaram a ideia de sustentabilidade no conceito desenvolvimento sustentável. O autor explica que a dimensão ambiental supõe que o modelo de produção e consumo seja compatível com a base material da economia – o meio natural – permitindo a autorreparação dos ecossistemas. A dimensão econômica supõe o aumento da eficiência da produção e do consumo com crescente economia de recursos naturais, ou ecoeficiência, com foco na inovação tecnológica e término do ciclo fóssil de energia. Sobre a dimensão social, o autor destaca que todos os cidadãos devem ter o mínimo necessário para uma vida digna e que ninguém deve absorver bens, recursos naturais e energéticos que sejam prejudiciais a outros, erradicando a pobreza, ou ainda, definindo um padrão de desigualdade aceitável e garantindo a justiça social.

Tanto a redução de riscos como a construção da resiliência são produtos indiscutíveis do efetivo estabelecimento da justiça social e da manutenção da integridade ecológica, ambas diretamente relacionadas à sustentabilidade segundo Freitas *et al.* (2012), e pontos prioritários entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs), estabelecidos pela ONU para serem alcançados até 2030 (Agenda 2030). Os ODSs são integrados e indivisíveis, e equilibram as três dimensões do desenvolvimento sustentável, sendo uma ferramenta inovadora para a governança da sustentabilidade. (ONU, 2015; SAITO *et al.*, 2017).

De acordo com Turner *et al.* (2003), a satisfação das necessidades da sociedade atual com a garantia de condições de vida para as gerações futuras pressupõe um diálogo efetivo entre ciência e tomada de decisões. Esse diálogo tem o conceito de vulnerabilidade como cerne, garantindo dessa forma sua relação com a sustentabilidade.

Vários estudos tratam da relação entre os conceitos de vulnerabilidade e sustentabilidade. Boone (2010) investiga esta relação através da noção de justiça

ambiental; neste contexto, a ciência da vulnerabilidade seria uma ponte entre a justiça ambiental e a sustentabilidade. Turner (2010) analisa a relação entre os conceitos de vulnerabilidade e resiliência do sistema humano-ambiental, um dos pivôs da sustentabilidade. Turner *et al.* (2003) apresentam uma estrutura de análise da vulnerabilidade na ciência da sustentabilidade, identificando elementos que garantem uma abordagem conjunta dos dois conceitos.

Turner *et al.* (2003), ao mencionarem que a sustentabilidade redireciona o foco da análise de vulnerabilidade, identificam elementos que consideram essenciais na análise de vulnerabilidade, principalmente quando esta procura garantir o alcance da sustentabilidade; estes elementos incluem a sensibilidade do sistema à exposição; a resiliência do sistema, incluindo as consequências e riscos decorrentes de uma lenta recuperação; e a reestruturação do sistema após as adaptações ou ajustes feitos. Assim, o uso de indicadores sociais, econômicos e ambientais, que caracterizam um determinado sistema, é indispensável para a análise da vulnerabilidade e garante uma relação concreta com a sustentabilidade.

Este estudo, ao tratar dos desafios ao alcance da sustentabilidade na região da EFC, retoma a discussão a respeito do desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, busca interligá-la ao maior número possível de ODSs, entre os 17 apresentados pela ONU na Agenda 2030.

Os indicadores e dimensões tratados neste estudo relacionam-se com alguns desses objetivos: o objetivo 1 (acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares); objetivo 4 (assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos); objetivo 6 (assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos); objetivo 7 (assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos); objetivo 10 (reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles); objetivo 11 (tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis); e objetivo 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) (ONU, 2015).

2.4. Fundamentos para a Espacialização do Índice de Vulnerabilidade

Neste estudo, o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) foi elaborado e analisado levando em consideração a correlação espacial entre os municípios da EFC. Matlaba *et al.* (2014) deixam claro que autocorrelação espacial tem sido cada vez mais reconhecida como uma questão importante em análises econométricas em função de as variáveis não estarem distribuídas de forma aleatória no espaço.

Entre os fundamentos para a obtenção do IVSAA espacial pode-se citar a teoria das economias de aglomeração e a teoria do potencial de mercado, que explicam a maior concentração das empresas ou de atividades econômicas em determinadas regiões. Segundo essas teorias, a instalação das empresas é feita em locais estrategicamente viáveis, próximos de fontes de matérias-primas, mercados consumidores e mão de obra, o que poderia justificar a estrutura espacial da presente análise (KRUGMAN, 1991; FUJITA *et al.*, 2002; MONASTERIO, 2011).

Para Krugman (1991) a localização e a concentração das atividades econômicas em determinado espaço dependem de fatores econômicos como os custos de transporte dos bens e serviços, as economias externas resultantes de transbordamentos do conhecimento e da informação, e da presença de firmas e trabalhadores localizados perto um dos outros. Esses fatores determinam os níveis de aglomeração das atividades econômicas em determinado espaço, podendo estar relacionados também a espacialização do IVSA calculado nesta pesquisa.

Segundo os modelos centro-periferia analisados por Krugman (1991) e Fujita *et al.* (2002), as chamadas conexões de mercado fazem com que as empresas e trabalhadores localizem-se próximo dos compradores e vendedores de seus produtos e serviços. Brakman, Garretsen e Schramm (2004), dão importante contribuição nesse sentido ao observarem que o potencial de mercado das regiões depende positivamente das demandas de outras regiões e negativamente das suas distâncias.

Quando se considera o IVSA dos municípios analisados, pressupõe-se que, da mesma forma, municípios mais vulneráveis estejam mais próximos de municípios na mesma condição e mais distantes daqueles menos vulneráveis, ou seja, a utilização dessas teorias, bem como sua adequação a este estudo, justifica-se em função de elas enfatizarem a localização geográfica como influência direta no grau de vulnerabilidade dos municípios aqui estudados.

Amaral *et al.* (2010) afirmam que o potencial de mercado depende da renda local e da distância entre as duas regiões, além de poder estar relacionado ao nível de

escolaridade e à taxa de alfabetização, sendo parâmetros referentes à heterogeneidade da produtividade da mão de obra entre as regiões. Da mesma forma, variáveis como renda e escolaridade são utilizadas neste estudo a fim de medir a vulnerabilidade dos municípios, enquanto a contiguidade como variável *proxy* da distância entre os municípios será utilizada para a obtenção do IVSA espacial.

Brakman *et al.* (2001) analisam o modelo de estimação de potencial de mercado desenvolvido por Harris em 1954, que indica o nível de atratividade de uma região ou município para as atividades econômicas considerando a proximidade de um local a sua demanda e a importância da proximidade entre mercados em função das facilidades de acessibilidade para fornecedores e consumidores.

Monasterio (2011), ao analisar a teoria de Harris, afirma que as empresas tendem a se localizar onde elas possuem o maior nível de acesso aos mercados nos quais podem realizar suas atividades. Em outras palavras, as empresas aglomeram-se conforme suas necessidades de conquistar mercados, a fim de diminuir custos de transportes e evitar outros custos desnecessários.

Krugman (1991) explica o porquê de certas localidades se tornarem mais atrativas do que outras que permanecem isoladas. Tais diferenças estão relacionadas à forma que ocorre a dispersão das atividades econômicas no espaço e de seus reflexos nas diferenças salariais entre regiões. Fujita e Krugman (2002) afirmam que regiões que são conectadas econômica e geograficamente tendem a garantir maiores vantagens aos agentes envolvidos, sejam eles parte do setor produtivo ou da demanda local.

Enquanto o setor produtivo pode garantir redução de custos, maior acesso a mercado consumidor e à mão de obra, os trabalhadores têm a oportunidade de garantia de melhores salários, maior quantidade de vagas, maior variedade de bens de consumo e serviços e, conseqüentemente, melhoria do bem-estar social (AMARAL *et al.*, 2010).

2.5. Uso e Ocupação do Solo e Condicionantes Socioeconômicas

O espaço geográfico no qual a EFC está inserida tem sido reconfigurado ao longo dos anos também em função do desenvolvimento da exploração mineral. As atividades econômicas desenvolvidas nas mais diversas regiões, incluindo a região Amazônica, são engendradas por fatores de âmbito social, econômico e ambiental; desse modo, é fundamental que se analise a relação entre esses fatores, que influenciam de forma direta a reconfiguração dos espaços (SANTOS *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2021).

Os espaços são também reconfigurados a partir das mudanças nas formas de uso e ocupação do solo. O estudo dessas mudanças em conjunto com a análise de indicadores socioeconômicos e ambientais em uma região complexa como a Amazônia – em função, por exemplo, de sua grande biodiversidade e da grande quantidade de atores sociais que ali atuam – torna-se ainda mais desafiador quando tratamos de escala tão específica como a de comunidades (CARVALHO, 2014; SOUZA-FILHO *et al.*, 2020). A ausência de dados sobre áreas em escala de detalhe dificulta ainda mais o desenvolvimento de estudos mais específicos.

Segerstedt e Abrahamsson (2019) destacam que o uso de recursos minerais é essencial ao bemestar humano e vida social, e que a extração dos mesmos está associada a muitos desafios. Esses desafios são ainda maiores quando envolvem a saúde e bem-estar de trabalhadores e moradores de locais próximos a empreendimentos minerários. Entender a mudança no uso e cobertura do solo é fundamental à análise da influência dessas atividades na vida dos moradores de comunidades próximas.

Paralelamente, a difusão da ideia de desenvolvimento sustentável tem norteado cada vez mais os trabalhos acadêmicos, que fazem análises em busca de um caminho ou solução sustentável nas mais diversas áreas de estudo, incluindo a análise do uso do solo, como se constata nos trabalhos de Amado (2005) e Vieira *et al.* (2014). O território da EFC chama atenção nesse sentido, em função das complexas relações estabelecidas entre atores sociais, Estado e empresas, e a dificuldade em alcançar um grau de sustentabilidade que atenda os interesses de todos os envolvidos.

Ao falarmos de território, imediatamente nos remetemos às relações de poder que ali se desenvolvem. Haesbaert (2014) afirma que os territórios se diferenciam de acordo com as relações que os indivíduos, grupos sociais, Estado, empresas, e outros atores, constroem; dessa forma, entende-se que a territorialização varia de acordo com a sociedade e cultura na qual está inserida. Portanto, podemos definir a EFC como um território a partir do momento em que consideramos as relações sociais e de poder desenvolvidas em seu entorno pelos mais diversos atores.

O leque de estudos sobre uso e ocupação do solo é riquíssimo e tem se diversificado com o desenvolvimento de tecnologias geográficas. Eiselt *et al.* (2001) fizeram uma análise de dados socioeconômicos de um projeto europeu com o intuito de modelar os fluxos migratórios inter-regionais e relacioná-los com a cobertura e uso do solo na Europa; Carvalho (2014) estudou o impacto econômico regional de políticas de controle de desmatamento na Amazônia Legal através da análise de dinâmicas do uso do

solo; Ruan *et al.* (2016) avaliaram as mudanças de cobertura e uso do solo em um período de 12 anos em uma província canadense relacionando dados socioeconômicos, demográficos e ambientais; mais recentemente, Souza-Filho *et al.* (2018) apresentaram uma metodologia de interpretação para uma avaliação quantitativa das mudanças de cobertura e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, sudeste do Pará, Amazônia Oriental, de 1984 a 2017; além desse estudo, Souza-Filho *et al.* (2020) realizaram um estudo relevante sobre a intensidade do uso da terra na extração mineral na região amazônica, através de dados econômicos e espaciais.

Esses e outros estudos mostram a importância da relação da análise de uso e ocupação do solo com dados socioeconômicos, demográficos e ambientais, especialmente quando focamos na região Amazônica, mais especificamente no território da EFC, que apresenta historicamente indicadores socioeconômicos precários – exceto nos municípios onde se concentram as minas e infraestruturas de maior porte – em conjunto com diversas pressões ambientais na região (ITV, 2017).

A análise dos dados demográficos, crescimento populacional e fluxos migratórios também é identificada em grande parte dos estudos que examinam o uso e ocupação do solo. Por exemplo, Bell *et al.* (2010) fazem uma revisão sobre dados de migração e uso do solo na Europa; Bonilla-Moheno (2012) avaliaram o efeito das variáveis demográficas, ambientais e socioeconômicas na mudança da cobertura terrestre entre 2001 e 2010 para os municípios e biomas mexicanos utilizando dados secundários; Jokinen (2018) analisou como a migração de mão-de-obra transnacional vinha afetando as práticas agrícolas e o uso da terra em duas comunidades produtoras de grãos na Bolívia, utilizando dados mistos.

No caso do território da EFC, alguns municípios da zona de influência da ferrovia já recebiam intensos movimentos migratórios desde a implantação da mesma (ITV, 2017), deixando claro sua importância desde o início do processo de ocupação dessa região. Esses movimentos possuem influência direta na mudança da cobertura do solo no território da ferrovia, constatação que fica ainda mais clara quando observamos, de forma paralela, a evolução de dados socioeconômicos, por exemplo, dos períodos 1991 e 2000 (IBGE, 2000).

Bell *et al.* (2010) explicam que a conexão entre os movimentos migratórios e as mudanças no uso do solo é complexa, já que estas últimas respondem às pressões advindas com a migração que ocorre de maneiras diferentes nos lugares. Os autores

ressaltam também que essa conexão é um aspecto importante e que necessita ser cada vez mais aprofundado.

Há poucos estudos voltados à análise da sustentabilidade e uso do solo em nível de comunidades. Na região Amazônia esse quantitativo é ainda menor, principalmente para um território tão específico quanto a EFC. Segerstedt e Abrahamsson (2019) fizeram uma interessante análise sobre desafios sociais em comunidades mineradoras através de uma vasta revisão de literatura, a fim de descrever a questão da sustentabilidade social nas perspectivas de empresas de mineração e de comunidades mineradoras. As autoras identificaram uma lacuna na literatura envolvendo estudos sobre a relação entre empresas de mineração e comunidades mineradoras.

Segerstedt e Abrahamsson (2019) argumentam que a sustentabilidade social nessas comunidades deve ser definida considerando as circunstâncias muitas vezes únicas que essas comunidades têm em comum, como por exemplo, a necessidade de lidar com as mudanças associadas a barragens e recessões de mineração. No caso do território aqui estudado, as mudanças em questão envolvem a própria estrutura ferroviária, sua implantação, atividade e, inclusive, a recente duplicação (VALE, 2018b).

Incorporar valores sociais no processo de planejamento envolvendo comunidades mineradoras é fundamental, assim como considerar a diversidade dos meios de subsistência pode ser uma interessante ferramenta analítica ao abordar aspectos envolvendo a sustentabilidade social, igualdade de gênero, coesão social, migração, demografia etc., garantindo um planejamento inclusivo em ambientes urbanos pouco povoados ou em comunidades rurais, especialmente em comunidades mineradoras (SEGERSTEDT & ABRAHAMSSON, 2019).

A realidade das comunidades influenciadas por atividades mineradoras é complexa e a literatura carece de estudos nesse âmbito. Cross (2001) argumenta que as pessoas em comunidades rurais ou pequenas cidades são mais vulneráveis do que as pessoas em grandes cidades e áreas urbanas, devido à falta de preparação para situações de risco.

O relatório internacional *Mining, Minerals and Sustainable Development* (MMSD) de 2002 é um importante norte para as empresas mineradoras no que se refere à sua relação com as comunidades locais próximas de empreendimentos minerários. O relatório foi projetado para examinar, através de pesquisa e consulta, a relação entre o sistema mineral mundial e os objetivos do desenvolvimento sustentável. O projeto

terminou em meados de 2002 e teve como produtos, entre outros, um relatório final intitulado *Breaking New Ground* (STARKE, 2002).

Dois dos capítulos do MMSD tratam especificamente do Controle, Uso e Gestão das Terras e das Comunidades Locais e Minas, demonstrando a importância de se avaliar a influência do uso e cobertura do solo no tratamento de questões envolvendo empresas mineradoras e comunidades locais, sempre buscando fazer com que a produção e exploração mineral atendam às necessidades humanas da forma mais sustentável possível.

O conceito de mudança do uso do solo utilizado neste estudo é baseado no inventário do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2010), que a classifica como a conversão de florestas em áreas para outros fins, como pastagens, agricultura ou outra forma de uso da terra.

Segundo o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006), dentro do debate do desenvolvimento sustentável, é importante levar em conta a caracterização dos processos de utilização da terra, os fatores que levam a mudanças e a expectativa da justiça ambiental em função dos diferentes interesses, direitos civis e conflitos envolvendo os recursos naturais. Dessa forma, segundo este instituto, a visão conjunta de uso da terra, preservação, conservação e justiça ambiental é englobada pelo conceito de desenvolvimento sustentável.

Os estudos voltados ao reconhecimento de padrões de uso da terra passaram a ser aprofundados no início na década de 1980, a fim de apoiar a análise integrada da paisagem. A partir de então passaram a ser incorporadas técnicas de sensoriamento remoto para a interpretação de imagens e identificação de padrões de uso da terra, caracterizando o início de uma nova fase baseada no avanço da tecnologia espacial (IBGE, 2006).

Vieira *et al.* (2014) constatam que a Amazônia vem sendo historicamente alvo de ações voltadas à sua integração e busca do desenvolvimento econômico, traduzido na construção de grandes infraestruturas e projetos, ações que em geral não contemplam as dimensões social e ambiental de forma equivalente à econômica. Desse modo, os autores destacam que a forma como o uso e cobertura da terra estão distribuídos reflete as políticas historicamente implantadas nessa região.

Logo, é importante deixar claro que as mudanças no uso do solo identificadas no território estudado, apesar de serem resultado inegável do desenvolvimento da atividade minerária, estão interligadas ao desenvolvimento histórico e ocupação da região

amazônica, o que deve ser levado em conta na análise dos indicadores socioeconômicos de forma conjunta à análise dos dados demográficos e ambientais, a fim de se buscar ações que visem a redução de riscos e a construção da resiliência nesses locais.

A redução de riscos e a construção de resiliência são efeitos inegáveis do estabelecimento da justiça social e da manutenção da integridade ecológica, ambos diretamente relacionados à sustentabilidade (FREITAS *et al.* 2012); simultaneamente, são características prioritárias entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) estabelecidos pela ONU a serem alcançados até 2030 (ONU, 2015). Esses objetivos foram construídos com base nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, a fim de concluir pontos não alcançados por ele.

3. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental na Amazônia Brasileira: O caso da Estrada de Ferro Carajás

3.1. Introdução

Os municípios da Amazônia têm sido submetidos a processos de expansão urbana, especialmente aqueles influenciados pela atividade minerária, que vem crescendo desde 1985 com o desenvolvimento do Complexo Minerador de Carajás. Estas atividades têm efeitos positivos sobre o emprego e a renda, mas também negativos do ponto de vista socioambiental devido à falta de políticas públicas adequadas para sustentar mudanças bruscas no uso e ocupação do espaço (YALIN *et al.*, 2013; CARVALHO, 2017; MANCINI & SALA, 2018; ERICSSON & LÖF 2019).

A fronteira amazônica passou por mudanças aceleradas como consequência da chegada de novos atores que começaram a agir de acordo com uma lógica empresarial inseparável das atividades de mineração (BECKER, 2005). Este fenômeno deixou parcialmente para trás o modo de vida e a produção tradicional, que valorizava as áreas rurais. Estes valores foram transferidos para segundo plano, resultando em uma perturbação de antigas territorialidades (CRISTO *et al.*, 2018).

A Vale recebeu em 1997 os direitos de exploração de serviços ferroviários de carga e passageiros sob contrato assinado com o Governo Federal, fornecido pela Estrada de Ferro Carajás, que começa no município de Canaã dos Carajás, região sudeste do Pará, e termina em São Luís, Estado do Maranhão (SILVA, 2016; CRISTO *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2019).

A forma como ocorreu a ocupação da região amazônica, especialmente o desenvolvimento da atividade mineradora neste contexto, influencia diretamente o grau de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental da região em estudo, o que consequentemente apresenta desafios à sustentabilidade na região.

Nesse sentido, este estudo examina a vulnerabilidade do território da Estrada de Ferro Carajás com base no Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA).

O período considerado nesta análise é de 1991 a 2018, que corresponde a uma agregação de dois subperíodos: 1991 a 2010 com dados censitários, e 2014 a 2018, com dados do Índice de Progresso Social da Amazônia de 2014 a 2018 (SANTOS *et al.*, 2018a). Estes períodos foram escolhidos devido à disponibilidade de dados dos municípios e em função de a maioria dos municípios estudados terem sido fundados apenas na década de 1990, período que engloba importantes eventos socioeconômicos, ambientais e políticos para a região.

O foco deste estudo foi a área do território da EFC por ser um importante corredor de circulação de pessoas, produção e embarque de minerais na região amazônica (área fronteira de expansão econômica) com acesso aos mercados globais, desempenhando assim um papel fundamental para as dimensões de sustentabilidade mencionadas.

Esta região tem tido historicamente um baixo indicador de desenvolvimento humano, exceto em municípios que abrigam grandes empresas, como Marabá, Parauapebas, Canaã dos Carajás e São Luís (SANTOS, *et al.* 2019).

De modo geral, o território apresenta indicadores socioeconômicos precários e diversas pressões ambientais (IBGE, 2010). Nesta pesquisa, o município foi utilizado como unidade espacial, a menor com dados secundários disponíveis de fontes oficiais no Brasil, o que garantiu uma abrangência de cerca de 30 anos.

Segundo Turner *et al.* (2003), com base em vários estudos atuais, o conceito de vulnerabilidade está ligado à exposição a perigos, sensibilidade e resistência a eles. Estes autores também ressaltaram que a sustentabilidade é baseada na relação homem-ambiente, visando satisfazer as necessidades da sociedade e, simultaneamente, sustentar os sistemas de suporte de vida do planeta. Ambos os conceitos estão diretamente ligados, já que a vulnerabilidade desempenha um papel relevante no diálogo entre ciência e tomada de decisões (TURNER *et al.*, 2003). Os autores também observam que a sustentabilidade gera uma mudança no foco da análise da vulnerabilidade, enfatizando a importância da relação homem-ambiente.

Estudos anteriores demonstraram a importância da criação de índices para a identificação e análise de vulnerabilidades (BERGSTRAND *et al.*, 2015; RIMOLDI *et al.*, 2020; DE LOYOLA HUMMELL *et al.*, 2016; RONCANCIO & NARDOCCI, 2016). De Loyola Hummell *et al.* (2016) e Roncancio e Nardocci (2016) fizeram replicações do Índice de Vulnerabilidade Social (SoVi), inicialmente aplicado nos EUA, para o Brasil e o Estado de São Paulo, respectivamente.

Com base em dados secundários, ambos os estudos aplicaram a metodologia de Análise de Componentes Principais. Enquanto De Loyola Hummel *et al.* (2016) trabalharam em escala nacional, Roncancio e Nardocci (2016) utilizaram uma escala mais detalhada, focalizando o Estado de São Paulo no nível da bacia hidrográfica; este último estudo acrescentou à construção do índice uma análise da distribuição espacial da vulnerabilidade a partir da aplicação do I de Moran.

Este estudo é uma contribuição para a análise da zona de influência da EFC. Em contraste com a maioria dos estudos sobre a região, que se concentram em características particulares em partes deste território, essa pesquisa avalia a vulnerabilidade através da construção de um índice de vulnerabilidade para esta região amazônica; aborda as três principais dimensões da sustentabilidade, envolve todos os municípios atravessados pela ferrovia e faz uma análise espacial para examinar se a localização dos municípios é relevante para sua vulnerabilidade.

Este capítulo possibilitará a identificação e compreensão das possíveis razões da variação das vulnerabilidades e ajudará na definição de municípios prioritários para intervenções - ações, programas e políticas públicas ou privadas - visando reduzir a vulnerabilidade e aumentar a sustentabilidade na região.

O objetivo deste capítulo foi criar um índice para expressar a vulnerabilidade dos municípios da região da Estrada de Ferro Carajás, baseado em indicadores sociais, econômicos e ambientais, garantindo que as três principais dimensões da sustentabilidade fossem cobertas.

Estudos clássicos definem a sustentabilidade com base nestes pilares (SACHS, 1993; ELKINGTON, 1994; MUNASINGHE, 2010; PURVIS *et al.*, 2019). Além disso, foram realizadas análises de correlação espacial para identificar o papel da proximidade na vulnerabilidade dos municípios.

Considerando os objetivos expostos, as seguintes questões deverão ser respondidas por este capítulo: Qual a importância do processo de formação histórica da região amazônica no grau de vulnerabilidade dos municípios estudados? Qual o grau de

vulnerabilidade dos municípios que compõem a EFC? Há correlação espacial entre os índices de vulnerabilidade desses municípios? Quais são os principais fatores da vulnerabilidade e como contribuíram para a sustentabilidade na região no período analisado?

3.2. Materiais e Métodos

A vulnerabilidade socioambiental dos municípios da região da EFC foi avaliada através da aplicação de um índice que caracteriza cada um dos municípios do território ferroviário quanto ao grau de vulnerabilidade, medido uma vez por década, com base nos dados censitários, durante o período de 30 anos estudado, complementado com a análise de correlação espacial dos índices obtidos.

Os procedimentos metodológicos seguidos para alcançar os objetivos deste estudo estão expostos no fluxograma abaixo. :

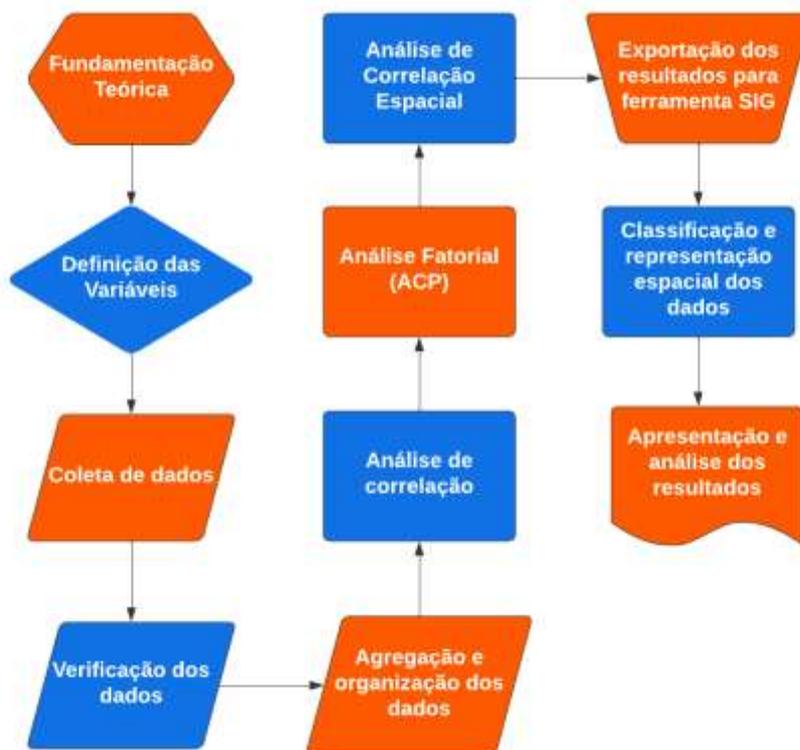


Figura 1. Procedimentos metodológicos

Os dados foram organizados em uma planilha do EXCEL e as análises estatísticas foram feitas no software Stata, enquanto a ferramenta SIG utilizada foi o software ARCGIS. Ao mesmo tempo, é importante mencionar que a análise espacial foi feita a partir dos dados do Índice de Moran, estimado por regressão linear através do método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MMQ).

3.2.1. Caracterização da Área de Estudo

A empresa Vale está presente em cerca de 20 países, 14 estados brasileiros e possui 120 mil empregados próprios e terceirizados dos quais cerca de 70% estão alocados no Brasil (VALE, 2022b). No decorrer de seus mais de 70 anos de atuação, a empresa desenvolveu quatro grandes sistemas produtivos - Norte, Sul, Sudeste e Centro-Oeste -, nos quais reúne um conjunto de minas, usinas de beneficiamento e pelotizadoras.

A empresa está presente em mais de 30 países, atua também nas áreas de energia, siderurgia e de logística de transporte, e possui um grande sistema de redes constituído por ferrovias, portos e terminais marítimos (VALE, 2018a), sendo a EFC um de seus complexos minero-logísticos.

A Vale obteve em junho de 1997, ano de sua privatização, sob contrato firmado com a União, a concessão da exploração dos serviços de transporte ferroviário de cargas e passageiros, prestados pela EFC. A outorga dessa concessão foi efetivada pelo Decreto Presidencial de 27/06/1997, publicado no Diário Oficial da União de 28/06/1997. A empresa deu prosseguimento à operação destes serviços a partir de 01/07/1997 (PPI, 2021).

O território da EFC é composto por 28 municípios, cinco no Estado do Pará e 23 no Maranhão, além de centenas de comunidades rurais e urbanas localizadas ao longo deste percurso (Figura 1). Esses municípios possuem uma população total de cerca de 2,2 milhões (ou 15% dos estados) em 2010 e 2,5 milhões (ou 16% dos estados) de habitantes em 2020 (IBGE, 2020).

De 2010 a 2020, a taxa de crescimento da população no território foi de cerca de 1%, contra 1,4%, 0,8% e 1% para as regiões de referência do Pará, Maranhão e Brasil, respectivamente (IBGE, 2020). A Estrada de Ferro EFC foi inaugurada em 1985 e atualmente tem aproximadamente 1.000 quilômetros de extensão, ligando a mina S11D no município de Canaã dos Carajás, no estado do Pará, ao porto de Ponta da Madeira, na cidade de São Luís, Estado do Maranhão (VALE, 2017).

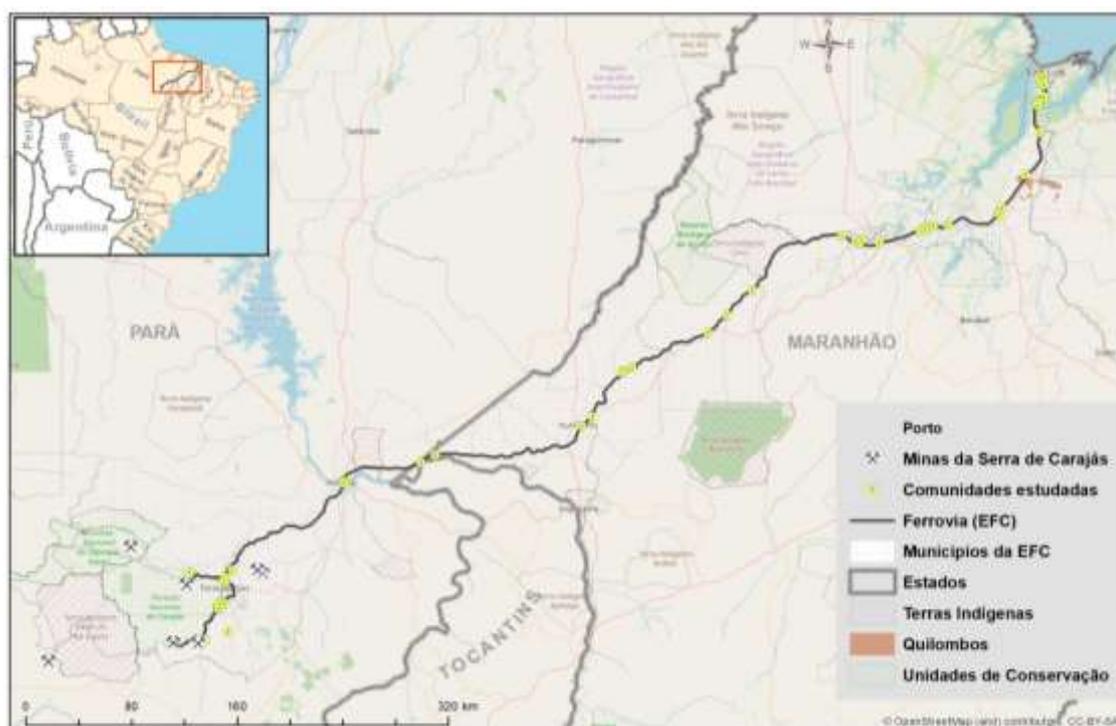


Figura 2. Território da Estrada de Ferro Carajás (Grupo de Socioeconomia do ITV, 2020).

Parauapebas, Marabá, Açailândia e São Luís são os municípios com maior densidade populacional dentro do território da EFC. Segundo a última estimativa populacional feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estes municípios concentravam 1.719.214 habitantes em 2020. Canaã dos Carajás, apesar de não estar entre os mais populosos (38.103 habitantes), merece destaque por sediar o projeto S11D³, da Vale.

A área de influência⁴ direta ou indireta⁵ da EFC, parte do Projeto Grande Carajás e S11D, envolve 28 municípios, 28 unidades de conservação e 86 comunidades quilombolas, atravessa de forma direta mais de 100 comunidades quilombolas e indígenas nos Estados do Pará e Maranhão (FAUSTINO e FURTADO, 2013).

Em 2016 foi inaugurado o Ramal Ferroviário do Sudeste do Pará (RFSP), uma extensão da EFC, com 101 km, entre os municípios de Canaã dos Carajás e Parauapebas,

³ Segundo a Vale, o S11D é o maior projeto de mineração – extração de ferro – da história da mineradora, e recebeu este nome por estar localizado no bloco D do corpo geológico S11, na subdivisão Serra Sul da Serra dos Carajás, no município de Canaã dos Carajás, sudeste do Pará.

⁴ Área de Influência Direta (AID): área geográfica diretamente afetada pelos impactos decorrentes do empreendimento/projeto e corresponde ao espaço territorial contíguo e ampliado da Área Diretamente Afetada ADA, e como esta, deverá sofrer impactos, tanto positivos quanto negativos;

⁵ Área de Influência Indireta (AII): abrange um território que é afetado pelo empreendimento, mas no qual os impactos e efeitos decorrentes do empreendimento são considerados menos significativos do que nos territórios das outras duas áreas de influência (MMA, 2004).

ligando a mina S11D à EFC, que até então iniciava em Parauapebas. Além das comunidades, municípios, Unidades de Conservação (UCs) e terras indígenas atravessadas pela EFC, o RFSP atravessa 10 assentamentos rurais (EIA/RIMA; ARCADIS TETRAPLAN, 2011), e desde sua implantação tem interferido no contexto local da região, influenciando importantes aspectos ambientais, como fauna e flora, em função de estar situado nos limites da Floresta Nacional de Carajás.

Até a duplicação, que ocorreu em 2017, a EFC transportava 120 milhões de toneladas de carga e 350 mil passageiros por ano, através de 35 composições que circulavam simultaneamente, com 330 vagões e 3,3 quilômetros de extensão. A ferrovia tem 10.756 vagões e 217 locomotivas, 73% de sua extensão em linha reta e 27% em curvas, sendo que os trens circulam a velocidade média de 40 km/h.

A partir da duplicação dos 575 quilômetros da EFC no Pará e Maranhão, a capacidade de transporte da ferrovia aumentou para 230 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (VALE, 2018a). Silva (2016) afirma que a ferrovia alcança muitos municípios com indicadores socioeconômicos deficientes, precária qualidade de infraestrutura urbana e baixas densidades demográficas.

Há entre os municípios da zona de influência da EFC, aqueles que se destacam, por serem mais adensados e possuírem funções regionais importantes, como Marabá no Pará e São Luís no Maranhão. Todavia, em 2013, a EFC foi considerada a ferrovia mais eficiente do Brasil, segundo levantamento feito pelo Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (IBRAM, 2013), além de ter ficado entre as três ferrovias mais eficientes em 2016, segundo estudo de Fontan *et al.* (2021). Em 2021 a EFC ocupou a segunda colocação no ranking de ferrovias mais seguras do país (ANTT, 2021).

Em março de 2017, a EFC foi inserida no âmbito do Programa de Parcerias e Investimentos (PPI) em função da formalização do pedido de prorrogação antecipada de seu contrato de concessão. Em dezembro de 2020 foi assinado o Termo Aditivo ao Contrato de Concessão junto a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) (PPI, 2021), antecipando investimentos que só seriam feitos a partir de 2027.

Os benefícios esperados a partir da prorrogação do contrato, por mais 30 anos, são a obrigatoriedade de investimentos em segurança e o aumento de capacidade, que serão pactuados pela ANTT. O contrato de concessão terminará em 30 de junho de 2027 (PPI, 2021).

3.2.2. Fontes e Dados

Este estudo utilizou variáveis socioeconômicas e ambientais obtidas no IBGE, Atlas Brasil do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Como referido, os dados foram coletados para os 28 municípios da EFC para os anos censitários de 1991, 2000 e 2010. Além desses dados, foram coletados, para todos os municípios, dados do Índice de Progresso Social da Amazônia (IPS Amazônia) referentes aos anos de 2014 e 2018, possibilitando maior abrangência temporal na análise, tendo em vista que os últimos dados em escala municipal foram publicados pelo IBGE em 2010.

Segundo Santos *et al.* (2018a), o IPS Amazônia foi estruturado com base em 43 variáveis, três dimensões e 12 componentes, sendo quatro componentes em cada dimensão. Esse índice está dividido nas dimensões: Necessidades Humanas Básicas, Fundamentos para o Bem-Estar Social e Oportunidades, abrangendo variáveis socioambientais e excluindo aquelas de cunho econômico, já que o objetivo do mesmo foi criar um indicador diferenciado, que não fosse mais fortemente influenciado pelo nível da renda, adotando indicadores que refletissem a realidade social das regiões, levando em conta a qualidade de vida, saúde e bem-estar da população (SANTOS *et al.*, 2018a). Desse modo, os dados do IPS foram utilizados neste estudo garantindo maior abrangência temporal e maior quantidade de dados e dimensões.

Os procedimentos metodológicos aplicados nesta pesquisa iniciaram com uma análise do referencial teórico sobre a vulnerabilidade, desde sua conceituação até as metodologias aplicadas para medi-la, além da análise de estudos envolvendo técnicas de correlação espacial.

A partir dessa revisão de literatura foram definidos os tipos de dados a serem utilizados no estudo. Foram realizadas coletas de três conjuntos de variáveis que descrevem a vulnerabilidade socioambiental dos 28 municípios da EFC para os três anos censitários, gerando um banco de dados para cada ano, a fim de possibilitar a construção dos índices de vulnerabilidade socioambiental.

Dessa forma, o IVSA é uma métrica que sintetiza as informações contidas em todas as variáveis coletadas inicialmente, através dos métodos estatísticos que serão aqui expostos. Essas variáveis correspondem às dimensões socioeconômica e ambiental.

A quantidade de variáveis utilizadas para a obtenção do IVSA variou entre os anos em função da disponibilidade de dados. Para 1991 foram utilizadas cinco variáveis, sendo três socioeconômicas e duas ambientais; para o ano 2000 foram utilizadas 15 variáveis, das quais 12 eram socioeconômicas e três ambientais; e para 2010 foram utilizadas 13 variáveis, sendo 10 socioeconômicas e três ambientais. O número de variáveis utilizadas em cada ano foi definido após análise de correlação e outros procedimentos estatísticos apresentados a seguir.

Considerando a deficiência de dados ambientais na escala municipal, especialmente no que diz respeito à poluição do ar, que é medida pela concentração de poluentes somente em municípios com grandes populações, como capitais de Estados e regiões metropolitanas, seguindo a proposta apresentada por Scandar Neto (2006), este trabalho adotou como *proxy* um indicador do potencial de poluição associado ao número de veículos motorizados na área; este indicador é definido como a quantidade da frota de veículos motorizados por 100 habitantes no município.

É importante destacar a falta de dados para o ano de 1991, justificada pelo fato de que alguns municípios foram oficialmente fundados após esse ano, e também porque os dados do censo de 1991 não apresentam tantas variáveis para a área de estudo, ao contrário dos recenseamentos subsequentes.

Para solucionar este problema, foram realizados os seguintes procedimentos: interpolação de dados; utilização de dados dos municípios de origem - quando o município estudado surgiu do desmembramento; obtenção de dados a partir da comparação das densidades populacionais, seguindo os argumentos da literatura sobre o potencial do mercado (KRUGMAN, 1991, & FUJITA *et al.*, 2002).

De acordo com essa teoria, entende-se que os municípios com densidades idênticas teriam características igualmente semelhantes com relação ao acesso a determinados serviços e, portanto, idêntico potencial de mercado, como foi o caso das variáveis *domicílios com coleta de lixo (1991)* e *domicílios com linha telefônica instalada (2000)*. Os dados de 2010 continham informações em todas as variáveis utilizadas no índice de vulnerabilidade.

As variáveis foram expressas com leitura negativa, ou seja, houve uma adaptação daquelas originais de forma que seus valores foram subtraídos de 100, garantindo que todas indicassem vulnerabilidade. Por exemplo, a variável *coleta de lixo* refere-se à porcentagem da população com coleta de lixo; no entanto, para o índice, a variável final

foi a *porcentagem da população sem coleta de lixo*, ou seja, 100 - % da população com coleta de lixo.

Todas as variáveis foram expressas em porcentagem, isto é, aquelas cujos valores na fonte eram inteiros foram transformadas, como ocorreu com as variáveis de utensílios e bens duráveis. Por exemplo, a variável *quantidade de domicílios com automóveis* foi dividida pela quantidade total de domicílios e em seguida multiplicada por 100. Assim, mediu-se o acesso da população ao automóvel. O procedimento foi o mesmo para todas as variáveis com valores absolutos.

A tabela 1 apresenta as variáveis, suas definições e fontes para cada ano analisado, de acordo com as dimensões.

Tabela 1 Definição das Variáveis do IVSA

Dimensão	Variável	Definição	Fonte	1991	2000	2010
Socioeconômica	Pobreza	Proporção dos indivíduos com renda domiciliar <i>per capita</i> igual ou inferior a R\$70 mensais (ano base 2010). O universo de indivíduos é limitado àqueles que vivem em domicílios particulares permanentes.	Atlas Brasil, 2013. (Adaptado)	X	X	X
	População economicamente ativa desocupada	Percentual de pessoas maiores de 18 anos que não trabalham e nem estudam.	Atlas Brasil, 2013. (Adaptado)		X	
	Escolaridade - Ensino Fundamental Incompleto	Percentual da população que não concluiu o ensino-fundamental .	Atlas Brasil, 2013. (Adaptado)	X	X	X
	Domicílios com mais de quatro moradores	Quantidade de domicílios com mais de quatro moradores	IBGE, 2000.		X	X
	Domicílios sem automóveis para uso particular	Quantidade de domicílios que não possuíam automóveis para uso particular	IBGE, 2000. (Adaptado)		X	X

	Domicílios sem geladeira	Quantidade de domicílios que não possuíam geladeira	IBGE, 2000. (Adaptado)	X	X	
	Domicílios sem televisão	Quantidade de domicílios que não possuíam televisão	IBGE, 2000. (Adaptado)	X	X	
	Domicílios sem rádio	Quantidade de domicílios que não possuíam rádio	IBGE, 2000. (Adaptado)	X		
	Domicílios sem linha telefônica instalada	Quantidade de domicílios que não possuíam linha telefônica instalada	IBGE, 2000. (Adaptado)	X	X	
	Domicílios sem máquina de lavar	Quantidade de domicílios que não possuíam máquina de lavar	IBGE, 2000. (Adaptado)	X	X	
	Domicílios sem microcomputador	Quantidade de domicílios que não possuíam microcomputador	IBGE, 2000. (Adaptado)	X	X	
	Domicílios sem celulares	Quantidade de domicílios que não possuíam telefone celular	IBGE, 2000. (Adaptado)			X
	População sem água encanada	Percentual da população que vive em domicílios particulares permanentes sem água canalizada para um ou mais cômodos. A água pode ser proveniente de rede geral, de poço, nascente, reservatório abastecido por água da chuva ou carro-pipa.	Atlas Brasil, 2013. (Adaptado)	X	X	X
Ambiental	População sem coleta de lixo	Percentual da população que vive em domicílios particulares permanentes sem coleta de lixo. Estão incluídas as situações em que a coleta de lixo é realizada diretamente por empresa pública ou privada, ou o lixo é depositado em caçamba, tanque ou depósito fora do domicílio para posterior coleta pela prestadora de serviço.	Atlas Brasil, 2013. (Adaptado)	X	X	X
	População sem esgotamento sanitário	Razão entre o número de domicílios sem esgotamento sanitário e a quantidade total de domicílios multiplicada por 100.	IBGE, 1991. (Adaptado)	X	X	X

Frota Veicular	Quantidade de veículos automotores por 100 habitantes.	SENATRAN, 2000. (Adaptado)	X	X
----------------	--	-----------------------------------	---	---

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.3. Tratamento dos Dados

Após a coleta e organização de dados, foram feitas análises estatísticas e espaciais deste estudo através do software Stata 13.0 (STATACORP, 2013).

O primeiro procedimento realizado após a organização do banco de dados foi a análise de correlação entre as variáveis selecionadas para cada ano analisado a fim de verificar a intensidade da relação linear entre essas variáveis (descartando uma delas no par significativamente correlacionado), mostrando quais variáveis eram relevantes ou não para o estudo com confiabilidade de 95%. Para 1991, a análise de correlação foi feita entre 6 variáveis iniciais, para 2000 entre 17 variáveis, e para o ano de 2010 entre 19 variáveis.

As variáveis finais foram analisadas utilizando a ACP, técnica de Análise Fatorial Exploratória Multivariada. Como resultado desta análise, considerando apenas variáveis estatisticamente significantes para compor os índices, estes foram compostos de 5, 15 e 13 variáveis para 1991, 2000 e 2010, respectivamente.

Esta análise foi feita a uma significância de 5%, ou seja, variáveis com grau de dependência significativa para a análise deveriam apresentar p -valor menor ou igual a 0,05, rejeitando-se a hipótese nula, de que não há relação entre as variáveis. Por exemplo, para o ano de 1991, a variável *população economicamente ativa desocupada* apresentou p -valor maior que 0,05, ou seja, aceitou a hipótese nula de não correlação e, portanto, foi excluída da análise.

Outro exemplo foi a variável *extensão do desmatamento*, que foi excluída das duas análises nas quais estava inicialmente presente (2000 e 2010) em função de ter apresentado p -valor acima de 0,05. O mesmo ocorreu com as variáveis: *população economicamente ativa desocupada*, *domicílios sem motocicleta para uso particular*, *domicílios sem rádio* e *domicílios sem abastecimento de água* para o ano de 2010, onde o p -valor foi superior ao aceitável, ou seja, as variáveis não foram significantes e, portanto, também foram excluídas da análise.

Hongyu *et al.* (2016), observam que a ACP é uma das técnicas estatísticas de análise multivariada mais utilizadas, já que analisa simultaneamente diversas medidas em cada objeto investigado, fazendo uma modelagem da estrutura de covariância das variáveis. Esse procedimento estatístico transforma de forma linear um conjunto de variáveis originais correlacionadas entre si, num conjunto menor de variáveis não correlacionadas – componentes principais – que apresentam o maior número possível de informações contidas nas variáveis originais.

Em outras palavras, as componentes principais são combinações lineares das variáveis originais, e agrupam as variáveis de determinada amostra de acordo com a variação de suas características, ou seja, segundo sua variância.

As componentes principais apresentam algumas propriedades importantes: cada componente é uma combinação linear de todas as variáveis originais; são independentes entre si; e estimadas a fim de reter o máximo de informação com relação à variação total dos dados, ou seja, a ACP está associada à ideia de redução da massa de dados com o mínimo de perda de informações. Nesse sentido, há uma redistribuição da variação dos eixos originais de forma que sejam gerados eixos ortogonais não correlacionados (VARELLA, 2008).

O ideal na ACP é que a variância explicada seja superior a 60%, o que garante que a componente apresente o máximo de informação do conjunto de variáveis originais (MATOS & RODRIGUES, 2019). Na análise realizada para o ano de 1991, por exemplo, a componente 1 explicou a maioria da covariância dos dados, já que sozinha apresentou uma variância explicada de 63%. O mesmo ocorreu em 2000 e 2010, com variância explicada de 61% e 66%, respectivamente. O índice foi composto pelos elementos/variáveis da primeira componente principal por explicar maior parcela da variância.

A adequação dos dados utilizados foi verificada através do teste Kayser-Meyer-Olkin (KMO), que apresenta valores normalizados entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 mais adequados são os dados para a utilização da técnica. Os dados analisados nesta pesquisa para os três anos tiveram um $KMO > 0,7$, o que indica que as mesmas são consistentes, ou seja, os dados estavam adequados para a realização da análise fatorial. Maroco (2007) classifica o grau de ajuste da amostra à análise fatorial em função do KMO considerando a seguinte escala:

Tabela 2 Escala do teste Kayser-Meyer-Olkin (KMO)

KMO	Adequação da amostra para a AF
0,9 – 1	Muito boa
0,8 – 0,9	Boa
0,7 – 0,8	Média
0,6 – 0,7	Razoável
0,5 – 0,6	Má ou insuficiente
<0,5	Inaceitável

Fonte: Maroco (2007)

Adicionalmente, para analisar a consistência interna dos dados foi realizado também o teste Alpha de Cronbach. Pestana e Gageiro (2008) afirmam que o Alpha de Cronbach deve ser positivo e, de forma semelhante ao KMO, varia entre 0 e 1. Os autores sugerem a seguinte escala de análise para este teste:

Tabela 3 Escala do teste Alpha de Cronbach.

ALPHA DE CRONBACH	Consistência da amostra
>0,9	Muito boa
0,8 – 0,9	Boa
0,7 – 0,8	Razoável
0,6 – 0,7	Fraca
<0,6	Inadmissível

Fonte: Pestana e Gageiro (2008)

Foi confirmada a adequação dos dados analisados neste estudo, tendo em vista que para os três anos os mesmos apresentaram Alpha de Cronbach superior a 0,85, indicando que os dados apresentaram consistência que variou entre boa e muito boa. Paralelamente, a fim de confirmar se as variáveis seguem uma distribuição normal – atestar a normalidade das variáveis – foi realizado o teste de normalidade multivariada Doornik-Hansen (1994), baseado na assimetria e curtose dos dados multivariados.

Para a definição dos pesos de cada variável no IVSA, o coeficiente de cada variável foi elevado ao quadrado, sendo a soma dos quadrados dos coeficientes igual a 1. O valor do IVSA é a soma dos produtos entre os quadrados dos coeficientes das componentes (ou variáveis) e as respectivas variáveis; a equação final para a obtenção do índice em cada ano está apresentada a seguir:

$$(1) \quad IVSA_i = \sum_{j=1}^n p_j^2 X_j$$

Na equação acima, p_j^2 refere-se aos pesos ou cargas fatoriais das variáveis, expressando os coeficientes das variáveis que formam a correlação do componente principal entre as variáveis e X equivale às variáveis dessa componente. A variável X_j representa os valores das variáveis para cada um dos 28 municípios estudados. Por exemplo, para 1991 o IVSA foi gerado da seguinte forma:

$$(2) \quad IVSA(1991) = p_1^2 \times pobreza + p_2^2 \times esc\ fund\ inc + p_3^2 \times pop\ sem\ agua + p_4^2 \times pop\ sem\ colixo + p_5^2 \times pop\ sem\ esgoto, \text{ onde:}$$

p_j^2 : peso de cada variável

pobreza: % da população com renda per capita < R\$70;

es fund inc: % da população com o ensino fundamental incompleto;

pop sem agua: % da população sem água encanada;

pop sem colixo: % da população sem coleta de lixo;

pop sem esgoto: % da população sem esgotamento sanitário.

O mesmo procedimento foi feito para 2000 e 2010 de acordo com a quantidade de variáveis utilizadas em cada ano, garantindo a obtenção do IVSA para todos os municípios da EFC.

Os IVSAs construídos não representam o percentual de vulneráveis, mas possibilitam uma hierarquização dos municípios da EFC quanto ao seu grau de vulnerabilidade, conforme proposta do Índice de Progresso Social da Amazônia (SANTOS *et al.*, 2018a), onde os valores de cada município representam o grau/nível do progresso com base nos indicadores embutidos na análise. Vale lembrar que as variáveis consideradas no IVSA foram expressas com leitura negativa, indicando vulnerabilidades, no entanto, o índice final foi convertido para o inverso, significando que quanto maior o IVSA, menor será a vulnerabilidade do município.

A fase da análise espacial destes índices iniciou com a obtenção das variações percentuais (%) da vulnerabilidade entre os períodos analisados, calculada com base no índice de vulnerabilidade municipal na EFC. Por exemplo, para obtermos a variação entre os índices de vulnerabilidade de 1991 e 2000, o índice de 2000 (ano t) foi subtraído do

índice de 1991 (ano $t-1$), em seguida o resultado da subtração foi dividido pelo índice de 1991 e multiplicado por 100, conforme a seguinte equação:

$$(3) \quad \text{IVSA variação percentual entre } t-1 \text{ e } t = \left(\frac{IVSEA_t - IVSEA_{t-1}}{IVSEA_{t-1}} \right) * 100$$

Esse procedimento foi feito para todos os municípios e todos os períodos analisados, incluindo os índices do IPS Amazônia de 2014 e 2018 (SANTOS *et al.*, 2018a). Em seguida, as taxas obtidas foram ponderadas pela matriz de contiguidade para se avaliar o efeito da vizinhança na variação da vulnerabilidade, considerando a dependência espacial dos dados, ou seja, a similaridade/dissimilaridade dos atributos geográficos entre os municípios estudados.

A fim de realizar os procedimentos de análise espacial, foram utilizadas as bases de dados da variação percentual do IVSA considerando a matriz de contiguidade espacial e ignorando os efeitos espaciais (espaço homogêneo), no software Stata 13.0. Esse procedimento foi feito para os quatro subperíodos analisados: 1991-2000, 2000-2010, 2010-2014 e 2014-2018, considerando uma significância estatística de 5% (p -valor menor ou igual a 0,05) e no modelo com os dados dos quatro subperíodos (modelo *pooled* ou agregado) considerando o mesmo nível de significância (embora neste último caso os resultados tenham se mostrado bastante significantes, ao nível de 1%), com o intuito de avaliar se as conclusões feitas nos subperíodos são ou não confirmadas.

Consistente com o trabalho de Neves *et al.* (2000), o presente estudo apresenta três elementos básicos no que se refere à análise exploratória de dados espaciais: a matriz de proximidade espacial (W), o vetor de desvios (Z) e o vetor de médias ponderadas (Wz). A estrutura espacial considerada nesta análise foi estabelecida através da construção de uma matriz de vizinhança, a partir do critério da contiguidade. Foi computado “1” na célula de interseção entre municípios que partilham fronteira geográfica, e “0” caso contrário. A partir desse critério foi definida uma matriz de pesos W , na qual cada elemento w_{ij} mede a proximidade entre os pontos i e j , que neste estudo referem-se aos municípios.

O vetor de desvios Z resulta da média (μ) dos valores dos atributos, considerando os n objetos. Cada elemento i de Z , z_i , é obtido subtraindo-se o valor da média, do valor do atributo correspondente ($z_i = y_i - \mu$). Para a obtenção da matriz de pesos (spatial weights matrix), foi feita a multiplicação da matriz ponderada pela matriz de

contiguidade dos municípios; em outras palavras, o vetor de médias ponderadas (Wz) foi obtido pela multiplicação do vetor transposto dos desvios, pela matriz de contiguidade com linhas normalizadas, onde cada elemento de uma linha i com valor original igual a 1 é dividido pelo número de elementos não nulos da mesma linha, o que gera para cada elemento um valor que corresponde à média dos desvios dos vizinhos ao objeto considerado (NEVES *et al.*, 2000).

Como referido, neste estudo o critério da contiguidade considerou a matriz binária, composta por 0 ou 1 (CÂMARA *et al.*, 2004). Matlaba *et al.* (2014) destacam que a matriz de interação espacial mais simples é justamente aquela que determina a interação pela contiguidade, na qual o valor '1' na matriz original indica contiguidade e '0' indica não-contiguidade. Estes autores ressaltam ainda que, a fim de definir pesos, a matriz é padronizada por linhas, onde cada elemento da linha é dividido pela soma da linha, validando as considerações de Neves *et al.* (2000). A matriz de contiguidade deste estudo foi construída no software Excel.

É importante destacar que há diversas formas de se considerar a vizinhança nas matrizes, considerando a contiguidade entre as áreas. Araújo *et al.* (2014) explica que as regras para se definir os tipos de contiguidade seguem os movimentos das peças do jogo de xadrez: rainha (queen), torre (rook) e bispo (bishop), conforme ilustrado na figura 2 a fim de identificar os vizinhos da área J. Para a matriz de contiguidade estruturada neste estudo, foi considerada a regra queen, na qual todas as áreas que possuem alguma interseção com J são consideradas vizinhas de J.

A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M	N	O	P

(a)

A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M	N	O	P

(b)

A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M	N	O	P

(c)

Figura 3. Tipos de contiguidade entre áreas. (a) contiguidade queen, (b) contiguidade rook, (c) contiguidade Bishop (ARAÚJO, 2012).

A fim de testar se os resultados obtidos eram estatisticamente significantes foi feito o cálculo do I de Moran. Este parâmetro é o coeficiente de uma regressão linear estimado por Ordinary Least Square (OLS) ou Método dos Mínimos Quadrados⁶ (MMQ),

⁶ O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) é uma técnica de minimização de perdas, que busca maximizar o ajuste de um conjunto de dados. Em outras palavras, o método busca minimizar a soma dos quadrados das diferenças, ou seja, os resíduos entre o valor estimado e os dados observados (MEMÓRIA, 2004).

na qual foi feita a regressão da taxa espacial contra a não espacial em cada subperíodo; em outras palavras, é o coeficiente da relação entre as variáveis analisadas (taxas espaciais e não espaciais). Como referido, a estimação do modelo também foi feita combinando-se a base de dados dos subperíodos (modelo com dados pooled) com objetivo de confirmar a consistência dos resultados. Estimamos o seguinte modelo econométrico linear simples / regressivo (GUJARATI & PORTER, 2009):

$$(4) \quad Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i$$

Em que Y_i , a variação percentual do IVSA ponderada espacialmente entre os subperíodos, é o vector da variável de resposta; X_i é a matriz da variável independente, que é a variação percentual do IVSA ignorando o papel do espaço, que se situa nos mesmos subperíodos; α é a intercepção vertical da linha de regressão; β é a inclinação da linha de regressão reta (I de Moran) relativamente à variável independente; e ε_i é o erro do modelo para o qual temos os seguintes pressupostos: é uma variável aleatória; tem uma distribuição normal com variância constante; é independente e não correlacionado com X . A regressão linear foi realizada entre IVSA e IPS, ponderados espacialmente e alterações não espaciais de cada um deles, representando os dois últimos um espaço neutro em que a interação entre municípios foi ignorada, enquanto que os dois primeiros índices tiveram em conta as interações espaciais baseadas na matriz de contiguidade.

O cálculo das taxas espaciais baseou-se na interação entre a matriz de contiguidade normalizada e as taxas de variação dos índices (taxas não espaciais) para os 28 municípios nos 4 subperíodos. Em outras palavras, foi feita a soma dos produtos da matriz de contiguidade normalizada pelas variações do IVSA para cada subperíodo, significando que as variações do índice foram recalculadas considerando a interação com a matriz de contiguidade normalizada.

O índice de autocorrelação espacial foi calculado a fim de se compreender qual o padrão dos dados espaciais analisados, ou seja, compreender se os mesmos são aleatórios ou não. O Índice de Moran, ou Moran's I , foi desenvolvido por Anselin (1995) e é uma das maneiras de analisar se as regiões possuem algum padrão espacial de agrupamento. Segundo Matlaba *et al.* (2014), o I de Moran pode ser definido da seguinte forma:

$$(5) \quad I = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^R \sum_{r=1}^R W_{ir} (Z_i - \bar{Z})(Z_r - \bar{Z})}{\sigma^2(Z)}$$

Na equação acima, Z_i equivale à variável da localização i , sendo $i = 1, \dots, n$ ($n = 28$, considerando os municípios da EFC); W_{ij} refere-se à matriz de pesos que representa a interação entre os pares de regiões i e r ($r = 1, \dots, 28$); \bar{Z} é a média da amostra de z e σ é a variância da amostra de z .

O I de Moran pode ser global ou local. Segundo Câmara *et al.* (2004), o índice global de Moran apresenta uma medida única para toda a área analisada, ou seja, caracteriza a região como um todo, sendo ideal para analisar escalas menos detalhadas, e varia entre -1 e 1, onde 1 indica extrema autocorrelação positiva, seguindo a lei de Tobler⁷, -1 representa extrema autocorrelação negativa, opondo-se a essa lei. Quando $I=0$, significa que há ausência de correlação, ou seja, os atributos são independentes da localização.

Por outro lado, o índice local de Moran apresenta uma decomposição do índice global e explora o grau de dependência espacial a partir de uma estimativa de segunda ordem, ou seja, um tipo de covariância espacial entre os polígonos. Este tipo de índice produz um valor específico para cada objeto, possibilitando a formação de *clusters* referentes a objetos com valores de atributos semelhantes e *outliers* com objetos anômalos (ANSELIN, 1995).

O Indicador de Associação Espacial Local (LISA, na sigla em inglês) é uma das possibilidades de avaliação geográfica da correlação espacial que permitem que o pesquisador identifique regiões *outliers*, devendo atender a dois objetivos: permitir a identificação de padrões de associações espaciais significativos e ser uma decomposição do índice global de associação espacial (MATLABA *et al.*, 2014; ANSELIN, 1995). Câmara *et al.* (2004) chamam atenção ao afirmar que para um grande número de áreas – como é o caso da EFC com 28 municípios – é importante utilizar indicadores de associação espacial local que permitam identificar melhor os agrupamentos. Sendo assim, o índice local de Moran foi utilizado neste estudo em função de ser o ideal para análise de padrões em maior escala, ou seja, escala mais detalhada, como é o caso da área da EFC aqui estudada e, conforme Matlabá *et al.* (2014), pode ser definido da seguinte forma:

$$(6) \quad I_i = (Z - \bar{Z}) \sum_{j=1}^R W_{ij} (Z - \bar{Z})$$

⁷ A Lei de Tobler afirma que no mundo todas as coisas se parecem, mas coisas mais próximas são mais parecidas que aquelas mais distantes (TOBLER, 1970).

logo,

$$(7) \quad I \equiv \frac{1}{n\sigma^2(z)} \sum_{i=1}^R I_i$$

A partir do estudo dos padrões locais para autocorrelação, podemos obter informações sobre a presença de heterogeneidade espacial, tornando possível que se descubra associações espaciais do tipo alto-alto (AA) ou baixo-baixo (BB), e também do tipo alto-baixo (AB) ou baixo-alto (BA) a partir da análise do diagrama de dispersão de Moran (Scatterplot Moran) – obtido para cada subperíodo analisado neste trabalho – que possibilita a análise gráfica da correlação espacial. No eixo vertical é mostrada a defasagem espacial da variável de interesse, enquanto no eixo horizontal se apresenta o valor da variável de interesse (ARAÚJO *et al.*, 2014; ALBUQUERQUE, 2009).

Matlaba *et al.* (2014) afirmam que a interpretação do I de Moran é feita com base nos quatro quadrantes do gráfico que expressa a descrição acima, o qual mede as interações das regiões contra a variável de interesse. Ou seja, as associações espaciais referem-se aos quadrantes do diagrama de dispersão e, segundo estes autores, são conhecidos na literatura de econometria espacial como: pontos quentes (AA); *outliers* espaciais (BA e AB); e pontos frios e locais sem significância (BB).

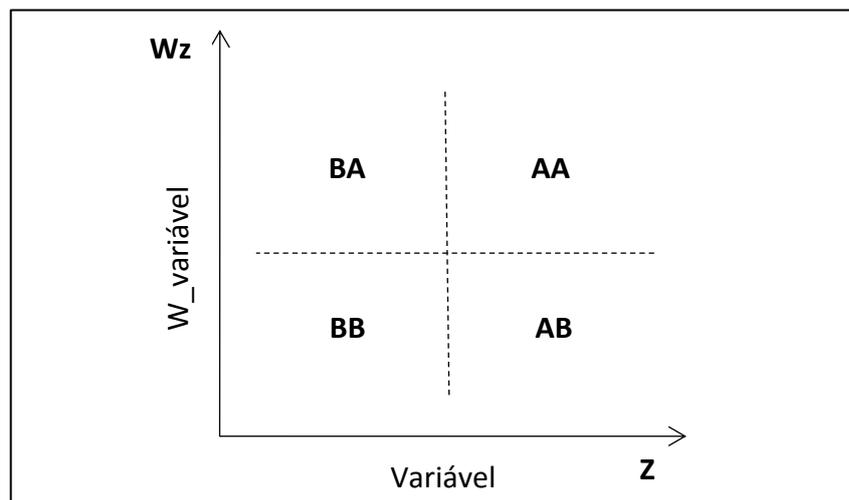


Figura 4. Estrutura do Diagrama de Dispersão de Moran (ARAÚJO, 2012).

Almeida *et al.* (2005) explicam que o diagrama de dispersão de Moran é uma representação do coeficiente de regressão linear por Mínimos Quadrados Ordinários através de um gráfico de duas variáveis z e Wz , onde o coeficiente da inclinação da curva de regressão equivale ao Índice de Moran, que indica a inclinação da reta de regressão de

Wz em z e fornece o grau de ajustamento da curva, conforme será apresentado na seção de resultados deste estudo.

Câmara *et al.* (2004) destaca ainda que o índice de Moran se refere a um teste cuja hipótese nula é de independência espacial, ou seja, quando $I=0$ aceita-se a hipótese nula de que não há correlação espacial. Valores positivos e negativos rejeitam a hipótese nula. Valores positivos, entre 0 e +1, indicam uma correlação positiva, ou seja, o IVSA de um município tende a ser semelhante ao IVSA de seus vizinhos; de forma oposta, valores negativos do I de Moran, entre 0 e -1, indicam correlação negativa, ou seja, se um município possui IVSA alto, seus vizinhos terão IVSAs baixos, e vice-versa. Após a obtenção do IVSA e do IVSA espacial teve início a fase de elaboração de mapas com auxílio do software ArcGis 10. A representação cartográfica dos índices foi possível a partir da estruturação da tabela de atributos para cada ano analisado, contendo os valores dos índices de vulnerabilidade socioambiental de cada município da EFC. A mesma abordagem foi utilizada para o IVSA e IPS nos níveis de cada subperíodo, e para suas mudanças ponderadas espacialmente ao longo dos subperíodos. Os mapas serão apresentados e analisados juntamente com os gráficos referentes a estes índices na seção dos resultados desta pesquisa.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental (IVSA)

Como resultados alcançados neste estudo são apresentados mapas, gráficos e tabelas referentes aos Índices de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental dos municípios da EFC, bem como sua distribuição espacial considerando o Índice de Moran, já que, conforme afirmam Matlaba *et al.* (2014), as variáveis não se distribuem de forma aleatória no espaço, e ignorar a importância da autocorrelação espacial pode induzir pesquisadores a estimarem modelos mal orientados.

O Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental representa uma síntese das informações contidas nas variáveis estudadas a partir da Análise de Componentes Principais. Cada município da EFC apresentou um IVSA para cada ano analisado, variando de 0 a 100, conforme exposto na tabela 4.

Tabela 4 Índices de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental dos municípios da EFC.

MUNICÍPIOS	IVSA 1991	IVSA 2000	IVSA 2010
Açailândia	46,65	50,59	59,38
Alto Alegre do Pindaré	29,28	34,11	49,38
Anajatuba	28,93	32,96	48,16
Arari	35,11	41,39	54,12
Bacabeira	32,80	35,51	53,22
Bom Jardim	29,53	33,24	49,11
Bom Jesus das Selvas	35,27	35,91	51,68
Buriticupu	33,34	36,45	51,43
Cidelândia	36,41	41,00	53,68
Igarapé do Meio	32,92	31,70	48,52
Itinga do Maranhão	43,40	49,10	55,91
Itapecuru-Mirim	33,94	38,29	52,02
Miranda do Norte	34,05	42,25	55,76
Monção	31,22	32,64	46,60
Pindaré-Mirim	47,51	43,53	53,93
Santa Inês	57,49	53,89	59,36
Santa Rita	27,90	35,64	50,91
São Francisco do Brejão	44,42	42,32	55,30
São Luís	72,41	61,76	68,73
São Pedro da Água Branca	39,03	38,33	53,35
Tufilândia	35,72	33,33	48,31
Vila Nova dos Martírios	35,18	38,07	53,40
Vitória do Mearim	37,76	40,02	52,66
Bom Jesus do Tocantins	45,21	32,20	51,68
Canaã dos Carajás	44,30	42,55	60,21
Curionópolis	41,82	42,06	53,37
Marabá	53,74	53,12	59,83
Parauapebas	62,78	54,64	62,96

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme explicado na metodologia deste trabalho, o índice foi estruturado com uma leitura invertida, ou seja, quanto maior o índice de vulnerabilidade, menor será a vulnerabilidade do município. Nesse sentido, em 1991, os municípios que apresentaram menor vulnerabilidade foram São Luís (72,41), Parauapebas (62,78) e Santa Inês (57,49). Os três municípios estão entre os principais da ferrovia e maiores polarizadores de serviços do percurso da EFC, conforme afirma Silva (2016).

Por outro lado, os municípios de Santa Rita (27,90), Anajatuba (28,93) e Alto Alegre do Pindaré (29,28) foram identificados como os mais vulneráveis. Constatou-se que os três municípios mais vulneráveis da EFC em 1991 estão localizados no Estado do Maranhão. A figura 4 apresenta o mapa do IVSA dos municípios da ferrovia para 1991.

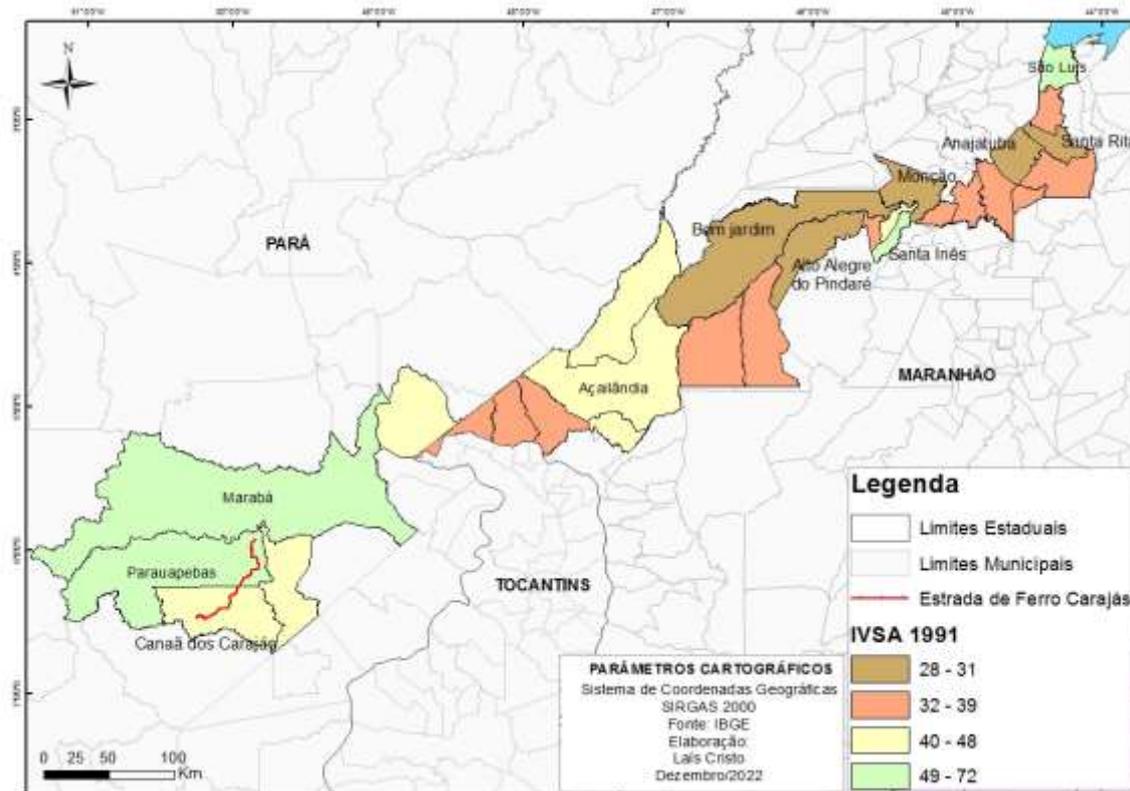


Figura 5 Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental de 1991 (elaborado pela autora, 2019).

Estimativas anteriores possibilitaram a exclusão de uma variável da componente 1 em função de não ter sido estatisticamente significativa ao nível de 5%, o que garantiu uma melhora no modelo, já que a proporção da variância total explicada por essa componente passou de 53% para 63%.

No modelo final, a variável escolaridade (*% de pessoas com ensino fundamental incompleto*) foi a que apresentou maior expressão na definição da componente principal por apresentar maior coeficiente, exercendo maior influência no índice de vulnerabilidade – quanto maior a % de pessoas com ensino fundamental incompleto, maior a vulnerabilidade municipal.

Tabela 5 Análise de Componentes Principais utilizados no IVSA de 1991

KMO	Alpha de Cronbach	Variáveis (%)	Coefficiente PC1 (desvio padrão)	Pesos
0,7971	0,8145	Pobreza	0,4571 (0,0734)	0,2089
0,6901	0,7977	População com ensino fundamental incompleto	0,4858 (0,0653)	0,2359
0,6860	0,8189	Domicílios sem água encanada	0,4549 (0,0784)	0,2068
0,8629	0,8384	Domicílios sem coleta de lixo	0,4156 (0,0884)	0,1727
0,8090	0,8363	Domicílios sem esgotamento sanitário	0,4188 (0,0870)	0,1754
0,7535	0,8520	Variância explicada (%)	63	
		Autovalor	3,1496	
Teste de probabilidade de independência: $\chi^2(10) = 61,84$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				
Teste de probabilidade de esfericidade: $\chi^2(14) = 63,29$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				
Teste Doornik-Hansen para normalidade multivariada: $\chi^2(10) = 58,567$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				

Fonte: Elaborado pela autora.

Em função de os pesos de cada elemento no índice de vulnerabilidade terem sido definidos a partir da soma dos quadrados dos coeficientes, conforme exposto na metodologia, conclui-se que se a variável representa um fenômeno negativo esse peso é prejudicial ao índice, havendo a necessidade de ações para modificar esse peso para que a vulnerabilidade seja alterada.

No caso de 1991, as variáveis com maiores pesos foram % de pessoas com ensino fundamental incompleto (0,2359), % de pessoas extremamente pobres (0,2089) e % da população sem água encanada (0,2068) (Tabela 5).

No ano 2000, os municípios que apresentaram menor vulnerabilidade foram novamente São Luís (61,76), Parauapebas (54,64) e Santa Inês (53,89). De outro lado, os municípios de Igarapé do Meio (31,70), Bom Jesus do Tocantins (32,20) e Monção (32,64) apresentaram menores índices, ou seja, foram os mais vulneráveis.

Diferente do que foi observado no ano de 1991, um dos três municípios mais vulneráveis da EFC em 2000 – Bom Jesus do Tocantins – localiza-se no Estado do Pará. A figura 5 apresenta o mapa com esses resultados.

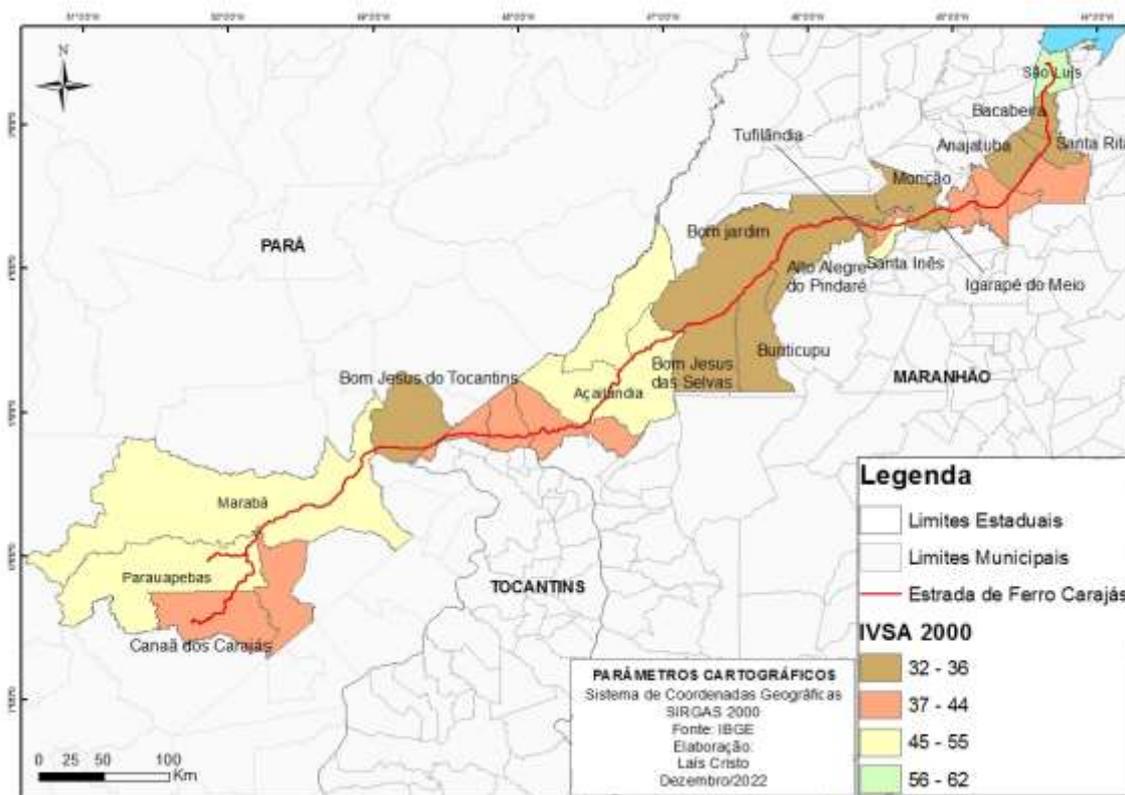


Figura 6. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental de 2000 (elaborado pela autora, 2019).

Nesse período, com exceção de Bom Jesus do Tocantins, que se manteve com o mesmo índice, Igarapé do Meio e Monção apresentaram aumento considerável do índice de Gini, ou seja, aumento da desigualdade, registrando uma elevação de 0,43 para 0,54, e de 0,43 para 0,61, respectivamente (ATLAS BRASIL, 2013), podendo esses dados justificar a posição desses municípios no ranking da vulnerabilidade no período em análise.

Na ACP para o ano 2000, as primeiras estimações excluíram uma variável da componente 1, que foi estatisticamente não significativa, gerando uma melhora no modelo que apresentou um aumento da variância explicada dos dados de 57% para 61%; por isso, essas últimas estimações foram utilizadas na construção do IVSA 2000. Entre as 15 variáveis que compuseram o modelo final para a construção do índice desse ano, as que tiveram maior relevância na definição da componente principal foram a *frota veicular* e a *% de domicílios sem automóveis para uso particular*.

Em outras palavras, estas foram as variáveis com maior peso no índice (ver tabela 6), significando que quanto maior a frota veicular e a % de domicílios sem automóveis, maior será a vulnerabilidade.

Tabela 6 Análise de Componentes Principais utilizados no IVSEA de 2000

KMO	Alpha de Cronbach	Variáveis (%)	Coefficiente PC1 (desvio padrão)	Pesos
0,7662	0,9449	Pobreza	0,2828 (0.0360)	0,0800
0,8908	0,9438	População com ensino fundamental incompleto	0,2974 (0.0286)	0,0884
0,7332	0,9496	População economicamente ativa desocupada	-0,2204 (0.0509)	0,0486
0,7709	0,9509	Domicílios com mais de quatro moradores	0,1973 (0.0555)	0,0389
0,9027	0,9426	Domicílios sem automóvel para uso particular	0,3098 (0.0224)	0,0960
0,7142	0,9433	Domicílios sem geladeira	0,2987 (0.0308)	0,0892
0,6757	0,9468	Domicílios sem televisão	0,2537 (0.0469)	0,0644
0,5574	0,9542	Domicílios sem rádio	0,1493 (0.0661)	0,0223
0,7494	0,9448	Domicílios sem telefone	0,2848 (0.0345)	0,0811
0,8748	0,9450	Domicílios sem máquina de lavar	0,2833 (0.0357)	0,0802
0,8476	0,9507	Domicílios sem computador	0,2038 (0.0535)	0,0415
0,8828	0,9450	Domicílios sem água encanada	0,2820 (0.0344)	0,0795
0,8129	0,9501	Domicílios sem coleta de lixo	0,2146 (0.0533)	0,0461
0,7154	0,9500	Domicílios sem esgotamento sanitário	0,2124 (0.0526)	0,0451
0,8330	0,9424	Frota veicular	-0,3138 (0.0214)	0,0985
0,7891	0,9504	Variância explicada (%)	61	
		Autovalor	9,1566	
Teste de probabilidade de independência: $\chi^2(105) = 478,17$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				
Teste de probabilidade de esfericidade: $\chi^2(119) = 492,07$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				
Teste Doornik-Hansen para normalidade multivariada: $\chi^2(30) = 71,238$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				

Fonte: Elaborada pela autora.

No IVSA de 2010, os municípios que apresentaram menor vulnerabilidade foram São Luís (68,73), Parauapebas (62,96) e Canaã dos Carajás (60,21), enquanto os mais vulneráveis foram Monção (46,60), Anajatuba (48,16) e Tufilândia (48,31). Monção manteve-se entre os municípios mais vulneráveis desde 2000, ocupando agora a posição de município mais vulnerável. Novamente, os três municípios com maior vulnerabilidade eram maranhenses. A figura 6 apresenta o mapa com os resultados do IVSA 2010.

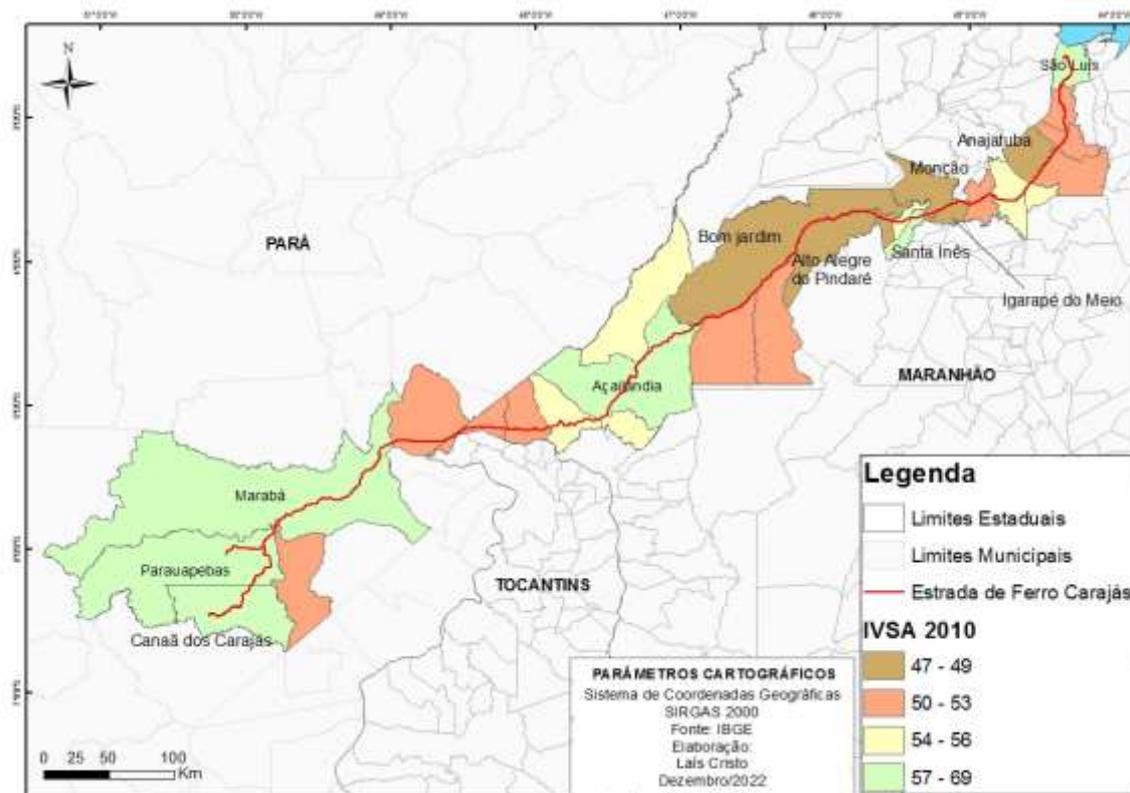


Figura 7. Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental de 2010 (elaborado pela autora, 2019).

Na ACP desse ano, as estimações possibilitaram a exclusão de quatro variáveis da componente 1 que foram estatisticamente não significantes a 5%, gerando uma melhora no modelo que passou a explicar 66% da variância dos dados e não mais 53%, considerando, assim como nos demais anos, uma confiabilidade de 95%.

Entre as 13 variáveis que compuseram o índice, as variáveis *% de domicílios sem computador* e *% de domicílios sem automóvel para uso particular* foram as que tiveram maior relevância na definição da componente principal, apresentando maior peso no índice e, portanto, maior influência no nível de vulnerabilidade municipal desse ano.

Tabela 7 Análise de Componentes Principais utilizados no IVSA de 2010.

KMO	Alpha de Cronbach	Variáveis (%)	Coefficiente PC1 (desvio padrão)	Pesos
0,8133	0,9520	Pobreza	0,2819 (0,0384)	0,0795
0,8992	0,9496	População com ensino fundamental incompleto	0,3096 (0,0284)	0,0958
0,5828	0,9585	Domicílios com mais de quatro moradores	0,2023 (0,0572)	0,0409
0,8850	0,9480	Domicílios com automóveis para uso particular	0,3245 (0,0192)	0,1053
0,8146	0,9516	Domicílios sem geladeira	0,2839 (0,0382)	0,0805
0,8109	0,9538	Domicílios sem televisão	0,2608 (0,0452)	0,0680
0,8548	0,9539	Domicílios sem telefone	0,2610 (0,0446)	0,0681
0,7426	0,9527	Domicílios sem máquina de lavar	0,2761 (0,0412)	0,0762
0,8181	0,9479	Domicílios sem computador	0,3255 (0,0192)	0,1060
0,8329	0,9522	Domicílios sem celular	0,2803 (0,0389)	0,0785
0,5744	0,9594	Domicílios sem coleta de lixo	0,1869 (0,0591)	0,0349
0,7485	0,9539	Domicílios sem esgotamento sanitário	0,2578 (0,0455)	0,0664
0,8884	0,9489	Frota veicular	-0,3156 (0,0247)	0,0996
0,8045	0,9561	Variância explicada (%)	67	
		Autovalor	8,6889	
Teste de probabilidade de independência: $\chi^2(78) = 413,63$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				
Teste de probabilidade de esfericidade: $\chi^2(90) = 425,24$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				
Teste Doornik-Hansen para normalidade multivariada: $\chi^2(26) = 97,495$; Prob > $\chi^2 = 0,000$				

Fonte: Elaborado pela autora.

Os municípios de São Luís, no Maranhão, e Parauapebas, no Pará, aparecem entre os menos vulneráveis da EFC nos três anos analisados. Canaã dos Carajás, no Pará, aparece nessa lista no ano de 2010. Por outro lado, Monção e Anajatuba estão entre os mais vulneráveis em dois dos três anos analisados. Ambos tiveram o seu IVSA abaixo da média (ver tabela 8) nos três anos de análise, indicando que se mantiveram entre os mais vulneráveis. A figura 7 apresenta a variação do IVSA entre os três anos analisados.

Tabela 8 Média do índice nos anos analisados

ANO	IVSA MÉDIO
1991	40,29
2000	40,95
2010	54,03

Fonte: Elaborado pela autora.

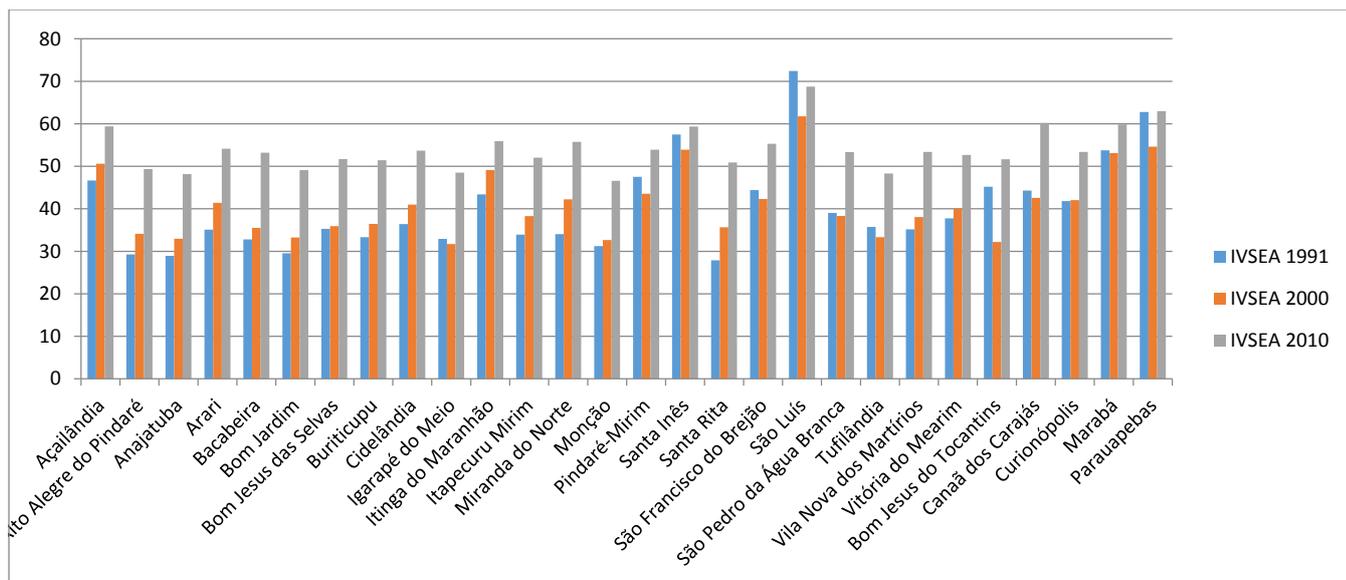


Figura 8. Variação do IVSA de 1991 a 2010 (elaborado pela autora).

Nos três modelos os testes Kayser-Meyer-Olkin (KMO) e Alpha de Cronbach confirmaram a adequação e consistência interna dos dados utilizados, já que os mesmos apresentaram graus de ajuste próximos a 1 (MAROCO, 2007; PESTANA e GAGEIRO, 2008; GRAZIANO e RIZZI, 2016).

A normalidade multivariada dos dados foi testada através do teste de Doornik-Hansen, que apresenta a soma das transformações quadradas da assimetria e curtose desses dados (KORKMAZ *et al.*, 2015; LANZILLOTTI, 2018). Os resultados dos testes indicaram que para o ano de 2010 houve uma melhor adequação e consistência dos dados utilizados, seguido pelo ano de 2000 e por fim 1991, conforme apresentado anteriormente nas tabelas 5, 6 e 7.

De forma geral, o IVSA aumentou no decorrer dos três anos analisados, confirmando que houve uma redução da vulnerabilidade na EFC. Entre 1991 e 2000 o IVSA apresentou variação geométrica média igual a zero, uma vez que sete municípios tiveram variação nula e outros sete sofreram uma diminuição do índice, logo, tiveram um aumento da vulnerabilidade. Esses municípios foram: Pindaré-Mirim, Santa Inês, São Francisco do Brejão, São Luís, Tufilândia, Bom Jesus do Tocantins, e Parauapebas.

A nível nacional, o início da década de 1990 foi caracterizado por uma queda no PIB (-3,1%), período de transição entre os governos de José Sarney (1985-1990) e Fernando Collor (1990-1992) e momento em que o mundo vivenciava os desdobramentos da Crise do Petróleo (THE WORLD BANK, 2016).

Enquanto durante o governo Collor o país vivenciou um período de recessão do PIB nacional, queda na renda *per capita* e elevação considerável da inflação, nas décadas posteriores, com destaque para os anos de 2000 e 2010, houve um período de crescimento do PIB, registrando 4,1% e 7,5%, respectivamente (IBGE, 2013).

Em escala mais detalhada, a partir dos anos 2000, o Sudeste do Pará passou a registrar o maior PIB *per capita* do Estado, com destaque aos municípios de Canaã dos Carajás e Parauapebas que estiveram entre os três municípios com maior influência nesse crescimento. Nesse mesmo período, ambos apresentaram um PIB *per capita* 2,5 vezes superior ao do Estado do Pará (SANTOS, 2017). Segundo o IBGE, em 2000 o PIB paraense representava 1,6% do PIB brasileiro, enquanto o Maranhense representava 1% no mesmo período. Em 2010, o Pará foi responsável por 2,1% do PIB do país, enquanto o Maranhão respondia a 1,2% dele.

Somente Marabá, Parauapebas e Canaã dos Carajás somaram no ano 2000 mais de 11% do PIB do Estado, participação que subiu para 27% em 2010. Nesse mesmo período, os três municípios apresentaram redução significativa da vulnerabilidade. No caso dos municípios do Maranhão, estes correspondiam a quase metade do PIB do Estado no ano 2000 (pouco mais de 48%), o que se deve ao fato de São Luís – capital do Estado – estar entre os 23 municípios analisados e, conseqüentemente, liderar o *ranking* dos municípios com as menores taxas de vulnerabilidade entre 1991 e 2010.

Em 2000, a capital maranhense representava sozinha aproximadamente 39% do PIB do Estado, seguida por Açailândia (3,7%), que esteve entre os 16 municípios da ferrovia que não registraram aumento da vulnerabilidade no período analisado. Em 2010, os 23 municípios maranhenses da ferrovia somaram exatos 48% do PIB do Estado, assim como no ano 2000; no entanto, oito desses municípios maranhenses apresentaram redução na participação do PIB do Maranhão, entre eles, Açailândia, embora este município tenha apresentado um aumento no PIB em valores correntes. São Luís aumentou seu PIB aproximadamente quatro vezes, de R\$ 4,7 bilhões para R\$ 18 bilhões entre 2000 e 2010 (IBGE, 2010).

Entre 1991 e 2000, São Luís e Parauapebas tiveram variação de -2% no IVSA. Portanto, ambos tiveram uma redução do índice entre esses anos, um aumento da vulnerabilidade, o que não os tirou do topo do *ranking* dos municípios com menor vulnerabilidade em 2000.

O aumento da vulnerabilidade em São Luís nesse período pode ser justificado pelo crescimento da desigualdade representado pelo índice de Gini, que subiu de 0,61 em

1991 para 0,65 em 2000 – quanto mais próximo de 1 este índice estiver, maior a desigualdade (ATLAS BRASIL, 2013). No caso de Parauapebas, o aumento do IVSA pode ser explicado pelo desmembramento de parte do território do mesmo para a formação dos municípios de Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte nessa década.

No mesmo período, Bom Jesus do Tocantins, no Pará, foi o município que apresentou maior variação negativa no IVSA (-4%); ou seja, teve um aumento significativo na vulnerabilidade. Esse fato pode ser justificado pela elaboração da Lei nº 5.708, de 1991, que fez com que o município tivesse parte de suas terras desmembradas para a criação do município de Abel Figueiredo que era considerado o distrito mais importante do município (PREFEITURA MUNICIPAL DE BOM JESUS DO TOCANTINS, 2019).

A análise da variação do índice justifica o posicionamento desse município entre os três mais vulneráveis no ano 2000. Por outro lado, Santa Rita, também no Maranhão – município mais vulnerável da ferrovia em 1991 – foi o município que teve maior variação positiva do índice (3%), indicando que apresentou uma redução da vulnerabilidade.

De modo geral, no subperíodo 1991-2000 a variação do índice foi muito pequena, com muitos municípios apresentando inclusive redução do IVSA. Além da década de 1990 ter sido o período de menor crescimento do PIB, no final da mesma, mais especificamente em 1999, merece destaque a desvalorização do real e/ou crise cambial, que culminou no início da crise política do governo de Fernando Henrique Cardoso (1995-1999 e 1999-2003) em função do grande déficit da balança comercial de 1998 (US\$ 33,6 bilhões) que correspondeu a 4,5% do PIB, gerando uma instabilidade financeira e um quadro econômico insustentável (FILGUEIRAS, 2006). Esse contexto pode ser uma das explicações para a pequena variação positiva e em alguns municípios negativa do IVSA nessa década.

Entre 2000 e 2010, a variação média do índice foi de 3%, os municípios de Bom Jesus do Tocantins e Igarapé do Meio apresentaram as maiores variações, logo, um aumento do IVSA e redução da vulnerabilidade. Nesse período houve uma melhoria da vulnerabilidade no território de forma geral, já que todos os municípios tiveram variação positiva nos seus IVSAs, refletindo uma queda da mesma. O desempenho do PIB no Pará e Maranhão justificam parcialmente estes resultados: o crescimento médio foi de 11% e 13%, respectivamente (IBGE, 2010).

Novamente, o município de Bom Jesus do Tocantins, no Pará, apresentou a maior variação do IVSEA (5%), significando que o mesmo apresentou redução significativa da

vulnerabilidade, seguido pelo município de Igarapé do Meio (4%). Vale lembrar que no ano 2000 Igarapé do Meio foi o município mais vulnerável da ferrovia, apresentando uma melhora nesse quadro em 2010.

Conforme mencionado na metodologia, além dos dados do IVSA, este estudo também utilizou os dados do IPS Amazônia de 2014 e 2018 a fim de garantir resultados mais consistentes e com maior abrangência temporal, considerando as variações desses índices em conjunto, já que os dados oficiais para a construção do IVSA só foram disponibilizados até 2010. Quanto menor for a vulnerabilidade, entende-se que maior será o progresso social. Nesse sentido, considerando que o IVSA foi estruturado com leitura e interpretação invertidas – quanto maior o índice, menor a vulnerabilidade –, a relação entre os dois índices é direta, ou seja, quanto maior o IVSA maior o IPS, com correlações positivas e estatisticamente significantes a 1% variando entre 0,60 e 0,76. A tabela 8 apresenta o IPS para os 28 municípios da ferrovia em 2014 e 2018.

Tabela 8 Índice de Progresso Social da Amazônia

Município	IPS 2014	IPS 2018
Açailândia	61,66	59,06
Alto Alegre do Pindaré	52,19	59,22
Anajatuba	55,79	55,12
Arari	61,68	62,75
Bacabeira	54,59	55,62
Bom Jardim	53,54	53,58
Bom Jesus das Selvas	48,73	52,65
Buriticupu	51,17	53,32
Cidelândia	59,35	52,98
Igarapé do Meio	54,69	54,46
Itinga do Maranhão	59,84	56,51
Itapecuru Mirim	55,13	58,10
Miranda do Norte	53,79	56,94
Monção	48,72	50,77
Pindaré-Mirim	54,67	55,48
Santa Inês	57,18	60,31
Santa Rita	55,40	56,48
São Francisco do Brejão	52,74	53,71
São Luís	66,44	63,88
São Pedro da Água Branca	55,96	53,30
Tufilândia	49,24	49,90
Vila Nova dos Martírios	59,67	51,37
Vitória do Mearim	58,28	55,43
Bom Jesus do Tocantins	54,08	58,55
Canaã dos Carajás	59,29	56,54

Curionópolis	54,25	56,20
Marabá	57,77	57,00
Parauapebas	61,21	61,72
Média Anual	55,96	56,10

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2018a)

Em 2014, os municípios que apresentaram os piores IPS foram Monção e Bom Jesus das Selvas, cujos índices foram apenas 87,1% da média geral entre os municípios da EFC. Em 2018 os piores índices foram registrados nos municípios de Monção e Vila Nova dos Martírios, sendo os seus índices somente 90,5% e 91,5% da média verificada no território da EFC, respectivamente. Por outro lado, os melhores índices de 2014 e 2018 foram os de São Luís e Arari. O município de Monção aparece com índices ruins tanto no IVSA quanto no IPS, ao mesmo tempo em que São Luís e Parauapebas aparecem entre os municípios com os melhores índices, confirmando a relação direta entre IPS e IVSA.

Considerando a similaridade das características (componentes) do IVSA e do IPS, calculou-se a variação geométrica entre IVSA de 2010 e o IPS de 2014 tendo sido constatado que houve uma variação média positiva de 1%, ou seja, de maneira geral, houve um aumento do progresso social e redução da vulnerabilidade. Bom Jesus das Selvas, Miranda do Norte, São Francisco do Brejão, São Luís, Marabá e Parauapebas foram os únicos municípios que apresentaram pequena variação negativa (-1% cada). A figura 8 apresenta as variações do IPS para cada um dos 28 municípios da ferrovia.

Entre 2014 e 2018, a variação média do IPS foi nula. Entre os 28 municípios da ferrovia, oito apresentaram uma redução no índice de progresso social (aumento da vulnerabilidade). Cidelândia e Vila Nova dos Martírios, no Maranhão, merecem destaque por terem apresentado as maiores quedas no IPS, com variações negativas de -3% e -4%, respectivamente.

Por outro lado, Alto Alegre do Pindaré no Maranhão, e Bom Jesus do Tocantins no Pará, foram os municípios que apresentaram os maiores aumentos no IPS (3% e 2%), indicando uma melhora no quadro desses municípios, já que entre 1991 e 2010 estiveram entre os municípios com os piores índices de vulnerabilidade.

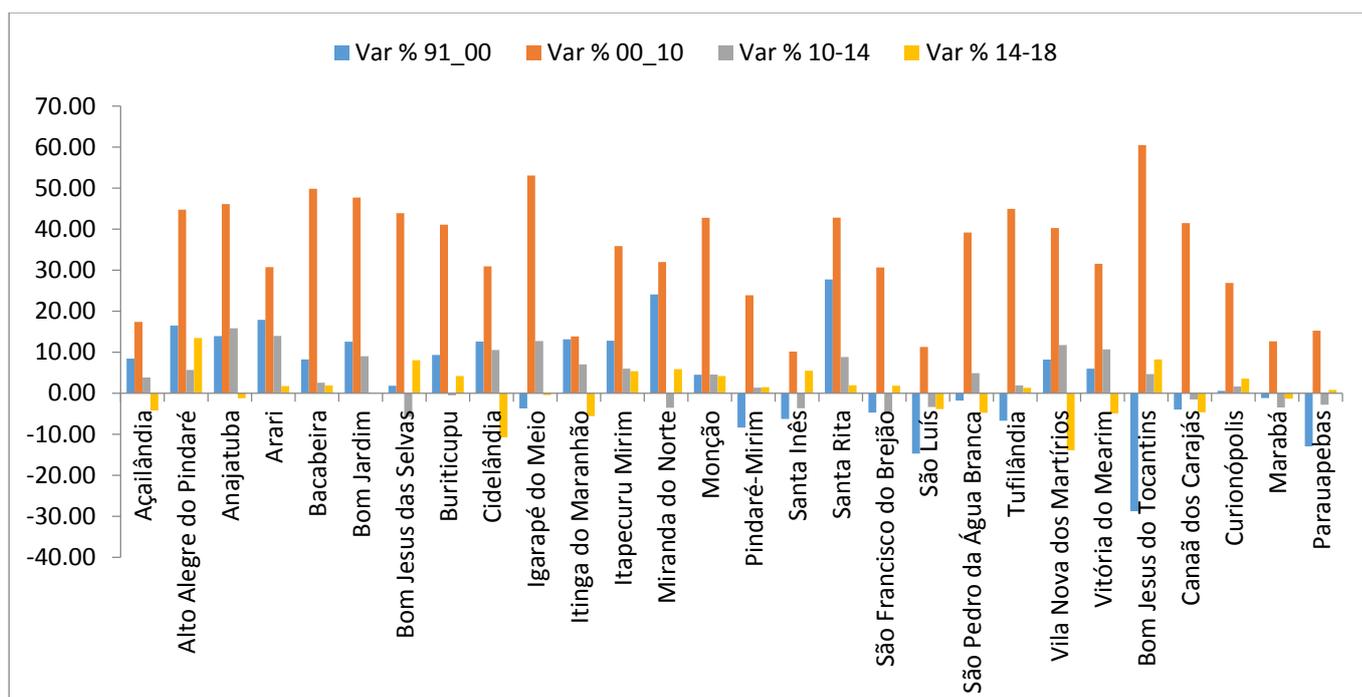


Figura 9. Variações do IVSA considerando os quatro subperíodos analisados (elaborado pela autora)

Apesar de o Maranhão representar a EFC com um número quase cinco vezes maior de municípios do que o Pará e possuir população também maior, em geral os municípios da parte paraense da ferrovia apresentam resultados melhores, em função de integrarem uma lista de 39 municípios da Mesorregião Sudeste do Pará, caracterizados por seu grande dinamismo socioeconômico e ambiental, com destaque ao desenvolvimento minerário, característico da região. Esses municípios vivenciaram importantes mudanças em suas estruturas produtivas no decorrer das últimas décadas, com destaque para Marabá e, mais recentemente, Parauapebas e Canaã dos Carajás, culminando em alterações sociais, econômicas e ambientais na região, claramente expostas nos índices de vulnerabilidade obtidos nesta pesquisa.

Tais particularidades, assim como outras características como o tamanho dos territórios – municípios de grandes extensões geralmente possuem população e densidade populacional menores em relação a capitais e cidades de médio porte –, as distâncias entre os distritos e as sedes municipais, a presença e a situação de comunidades isoladas, povos indígenas e quilombolas podem gerar diferenças quanto à performance social (SANTOS *et al.*, 2018b).

Estudos anteriores analisaram a Amazônia em geral, identificando os mais diversos impactos dos projetos de mineração na região; outros analisaram a geologia da região considerando a atividade de mineração desenvolvida. Ao mesmo tempo, estudos

sobre a área EFC trataram de questões como o uso de recursos agroflorestais no território; características socioeconômicas das comunidades rurais e urbanas; dinâmica urbana nesta área de influência; até mesmo o tema da vulnerabilidade foi abordado, focando apenas as comunidades rurais.

Esta sistematização de estudos anteriores demonstra a importância de analisar minuciosamente o território da EFC, considerando cada município atravessado pela ferrovia, identificando os municípios mais ou menos vulneráveis, bem como sua distribuição no território e relações espaciais, garantindo uma base sólida de informações sobre o território capaz de apoiar e enriquecer outros estudos sobre o tema.

3.3.2. Análise Exploratória Espacial

Este tópico analisa a distribuição espacial do IVSA entre os municípios da EFC a partir da técnica exploratória do Índice de Moran, que resultou nos mapas e gráficos de espalhamento que serão expostos a seguir, demonstrando as agregações espaciais e indicando possíveis áreas prioritárias ao direcionamento de políticas públicas e outras ações e iniciativas. A estimação do modelo também foi feita combinando-se a base de dados dos subperíodos (modelo com dados *pooled*) com objetivo de confirmar a consistência dos resultados.

Em geral, os resultados mostram que o IVSA e o IPS na EFC têm uma elevada correlação espacial. O índice de Moran é positivo e estatisticamente significativo ao nível de 5% nos modelos de subperíodos, exceto para o subperíodo 2000-2010 (Figura 12) em que o coeficiente de Moran não foi estatisticamente significativo ($p=0,720$). A fim de confirmar a consistência dos resultados, estimou-se um modelo com dados agrupados (*Pooled*). Também foi identificada uma correlação espacial elevada, estatisticamente significativa ao nível de 1% (Moran's $I = 0,7183$, valor de $p=0,000$). Uma vez que os modelos estimados tiveram um R-Quadrado (R-Squared) que variou de 17% a 65% entre os subperíodos (Tabela 9), mostraram uma elevada adequação aos dados (Figuras 6 a 10).

O subperíodo 1991-00 teve a maior correlação espacial de vulnerabilidade com o índice de Moran de 0,3709. Assim, rejeitamos a hipótese nula de que a localização dos municípios e os seus índices de vulnerabilidade são independentes uma vez que os municípios com IVSA elevado estão próximos uns dos outros (Tabela 9).

Tabela 9 Resultados das análises de regressão por Moran's I

Subperíodo	I de Moran	Valor de p	R²	R² ajustado
1991-00	0,3709	0,000	0,2939	0,2668
2000-10	-0,0371	0,720	0,0045	-0,0338
2010-14	0,2430	0,033	0,1660	0,1339
2014-18	0,2494	0,030	0,1721	0,1402
<i>Pooled</i> (1991-18)	0,7183	0,000	0,6456	0,6424

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: As estimativas dos coeficientes estão com erros-padrão robustos.

Os gráficos de dispersão de Moran para os subperíodos analisados são apresentados abaixo, e demonstram a inclinação da linha de regressão de Moran que foi positiva e estatisticamente significativa ao nível de 5% para os subperíodos 1991-00, 2010-14 e 2014-18, indicando que há um padrão de associação espacial positivo entre os municípios. Estes resultados mostram o importante papel da vizinhança para a mudança (variação) dos níveis de vulnerabilidade dos municípios da EFC.

O eixo vertical dos gráficos de dispersão de Moran (Wz) representa a variável espacial, ou seja, as variações do IVSA ponderadas pela matriz de contiguidade normalizada, considerando uma heterogeneidade espacial; e o eixo horizontal (z) representa as variáveis não espaciais, ou seja, as variações do IVSA considerando um espaço homogêneo sem levar em consideração a referida matriz. A reta em cada gráfico representa o coeficiente de Moran, ou seja, o resultado da regressão das variações espaciais sobre as não espaciais, enquanto os pontos azuis identificam as interseções entre o indicador espacial e não espacial, o que para os subperíodos 1991-00, 2010-14 e 2014-18 significa que a questão espacial potencializa o índice nos municípios, positiva ou negativamente.

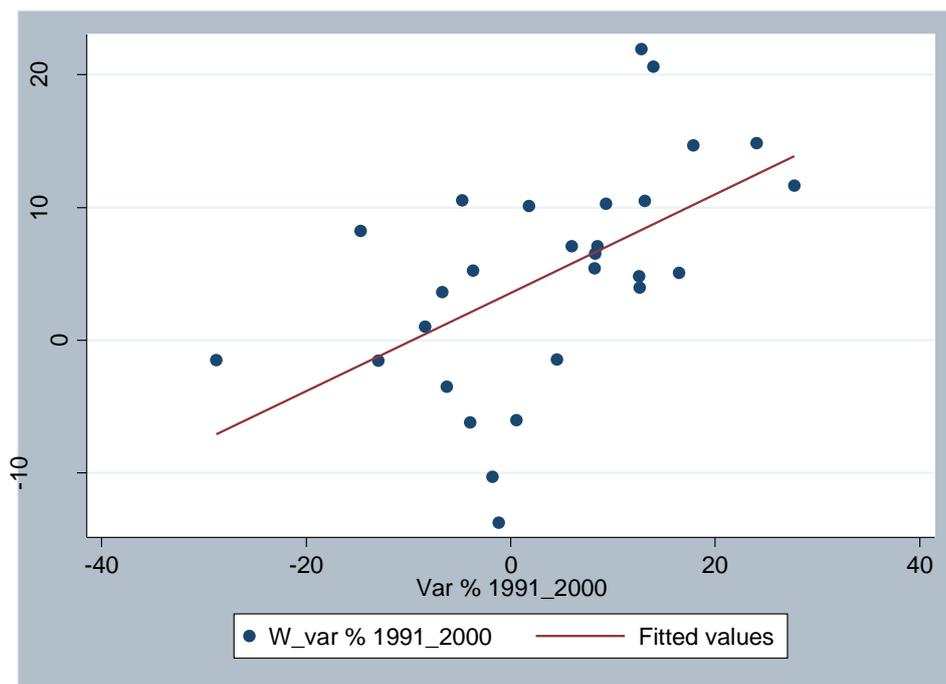


Figura 10. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 1991-2000 (elaborado pela autora).

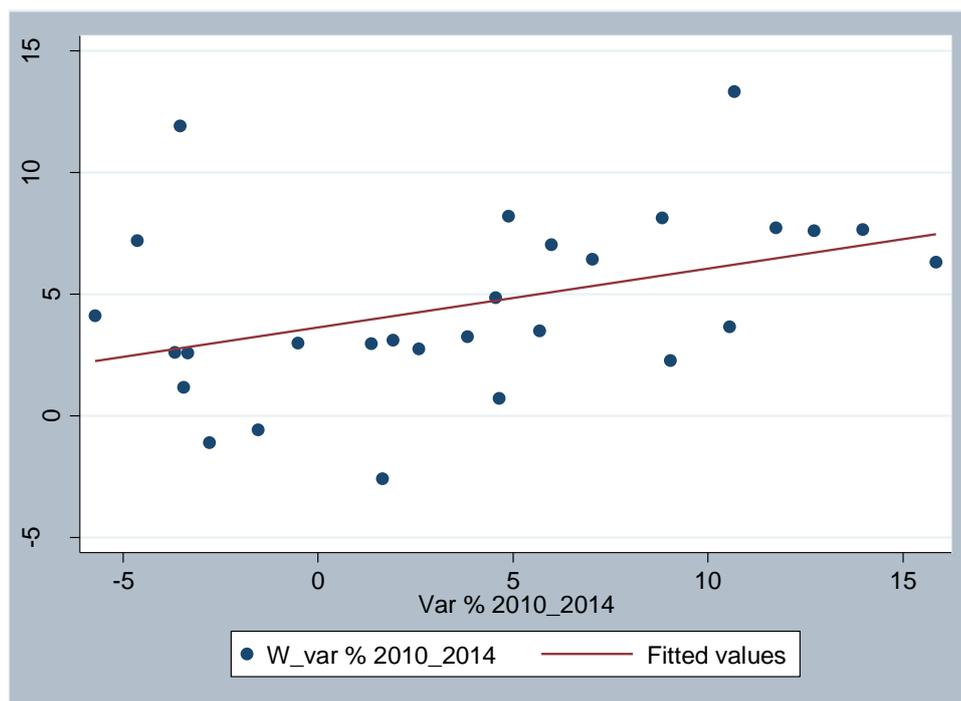


Figura 11. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 2010-2014 (elaborado pela autora).

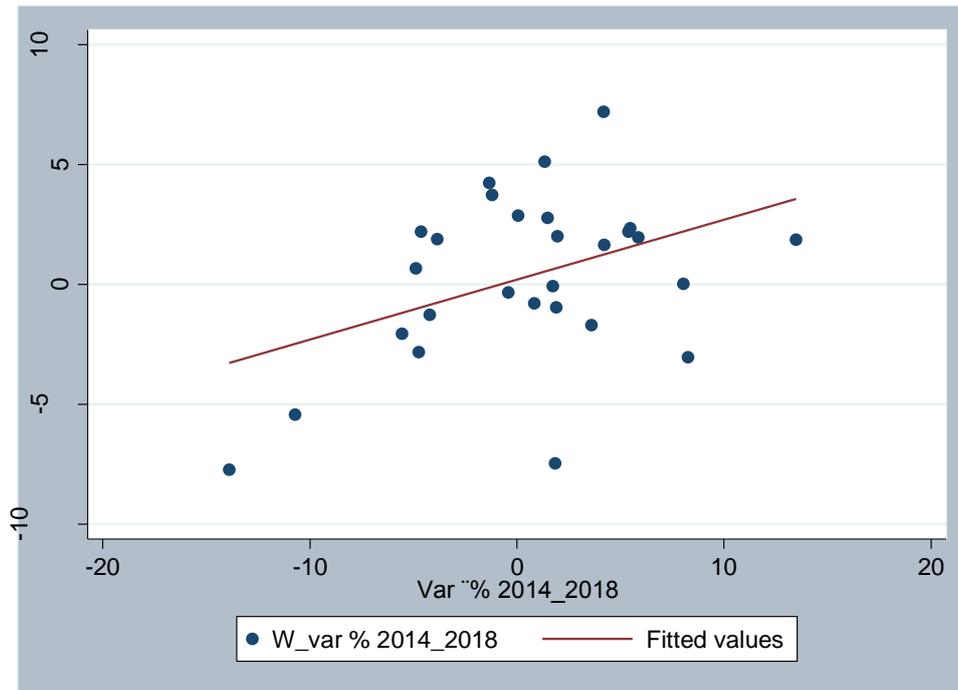


Figura 12. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 2014-2018 (elaborado pela autora).

A explicação da relação entre as variações do IVSA de cada subperíodo é dada por R^2 ajustado, que variou de 13% a 26% entre os subperíodos, conforme a tabela 9, sendo que o subperíodo que apresentou o maior Índice de Moran foi 1991-00 (0,3709), indicando que esse foi o modelo que melhor explicou a relação entre as variações espacial e não espacial.

Apenas o subperíodo 2000-2010 não apresentou correlação espacial entre os dados, conforme demonstra o gráfico de dispersão para esse subperíodo (figura 12), considerando que o mesmo foi estatisticamente não significativo e a reta de ajuste nos dados é menos íngreme ou quase plana.

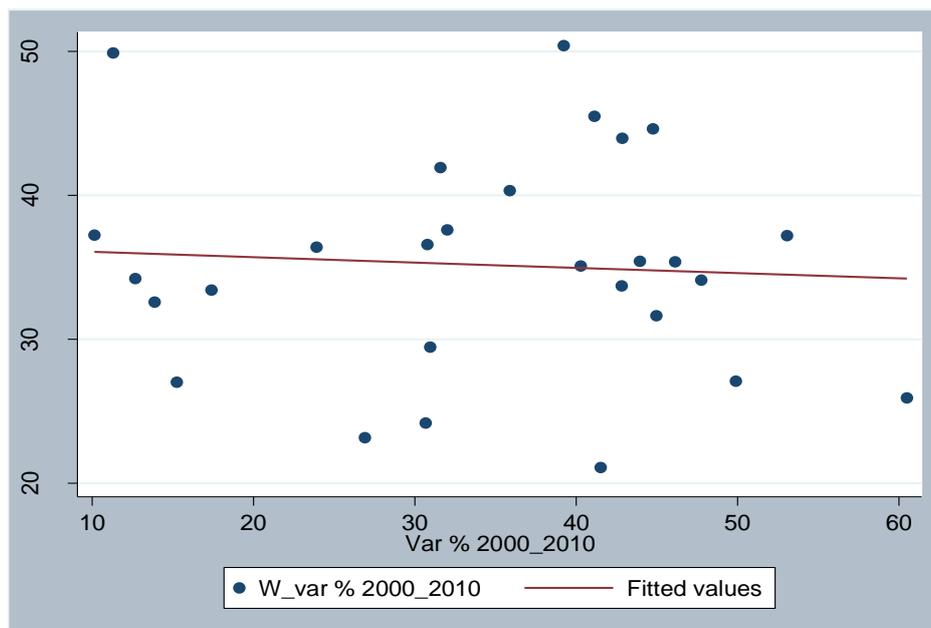


Figura 13. Gráfico de dispersão de Moran para o subperíodo 2000-2010 (elaborado pela autora).

A comparação entre as variações espaciais e não espaciais do IVSA pode ser feita a partir da análise das figuras 13 a 16, que apresentam os mapas com a diferença entre essas taxas considerando o índice de vulnerabilidade original e o índice de vulnerabilidade ponderado pela matriz de contiguidade normalizada, para cada um dos quatro subperíodos, incluindo a variação entre o IVSA e o IPS e a variação do IPS entre 2014 e 2018, deixando clara a importância da vizinhança na espacialização do IVSA. Os mapas confirmam os dados expressos nos gráficos de dispersão dos subperíodos inclusive para 2000-2010, no qual não foi verificada correlação espacial estatisticamente significativa.

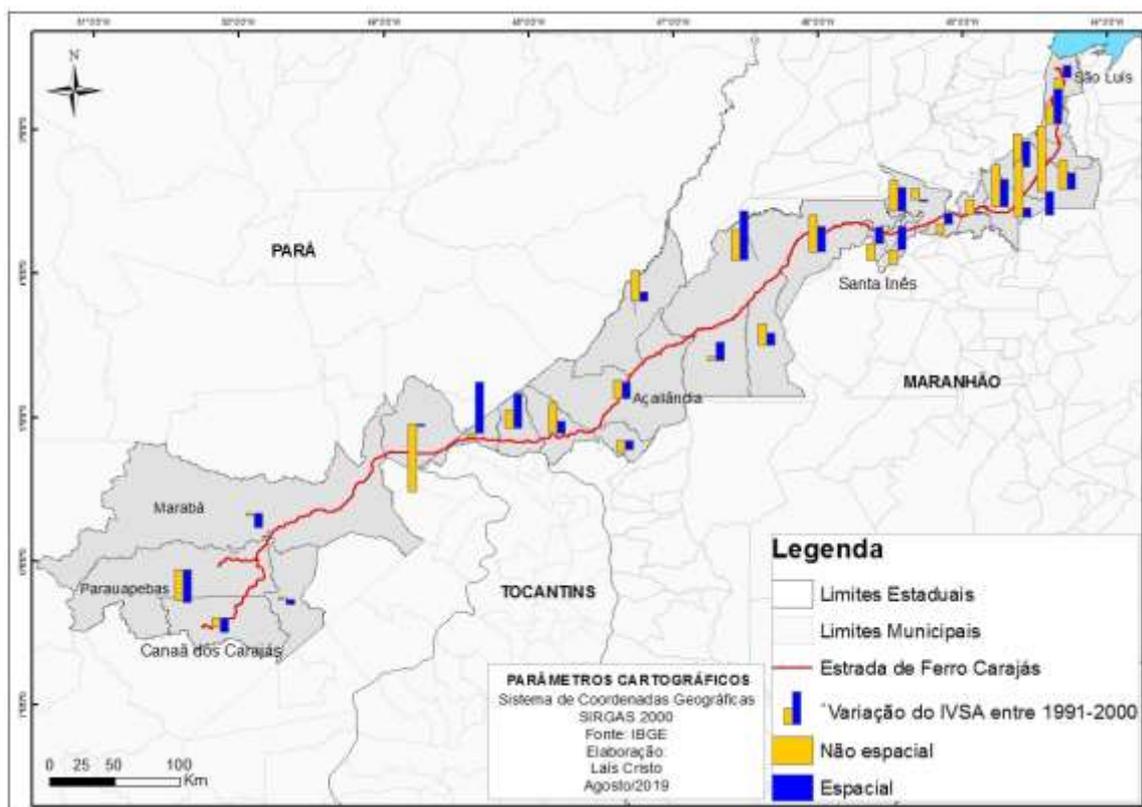


Figura 14. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 1991-2000 (elaborado pela autora, 2019).

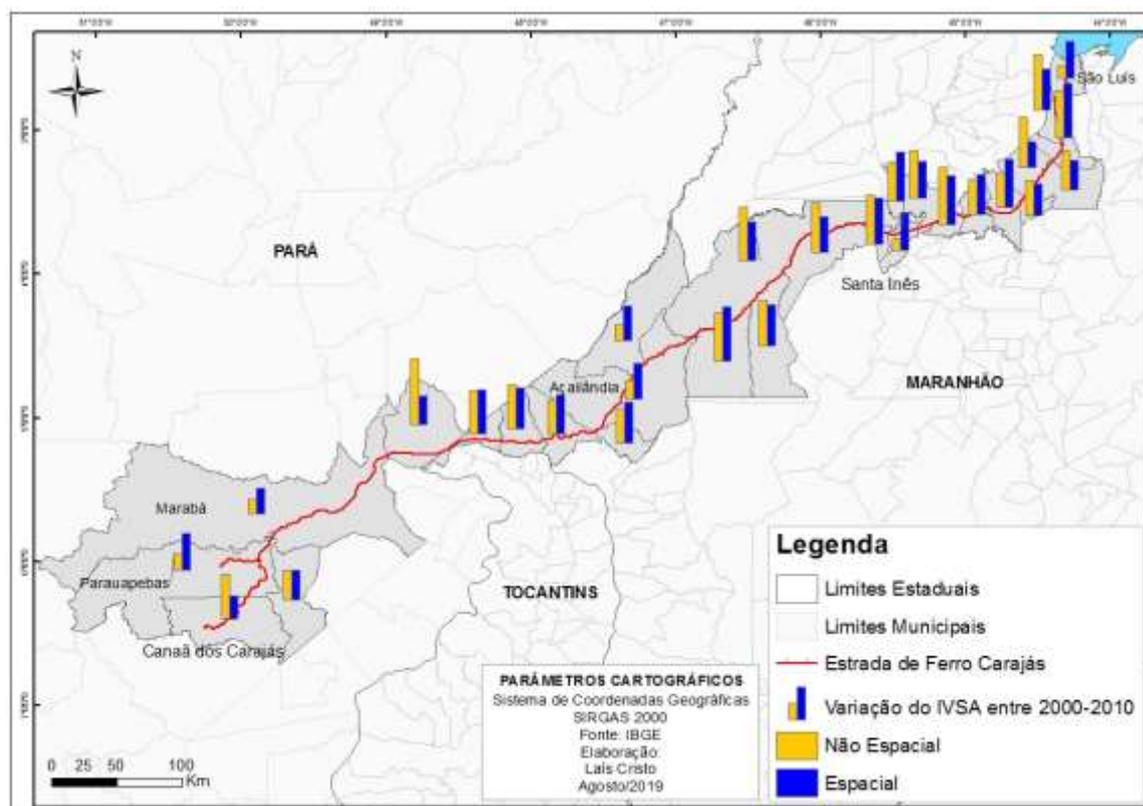


Figura 15. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 2000-2010 (elaborado pela autora, 2019).

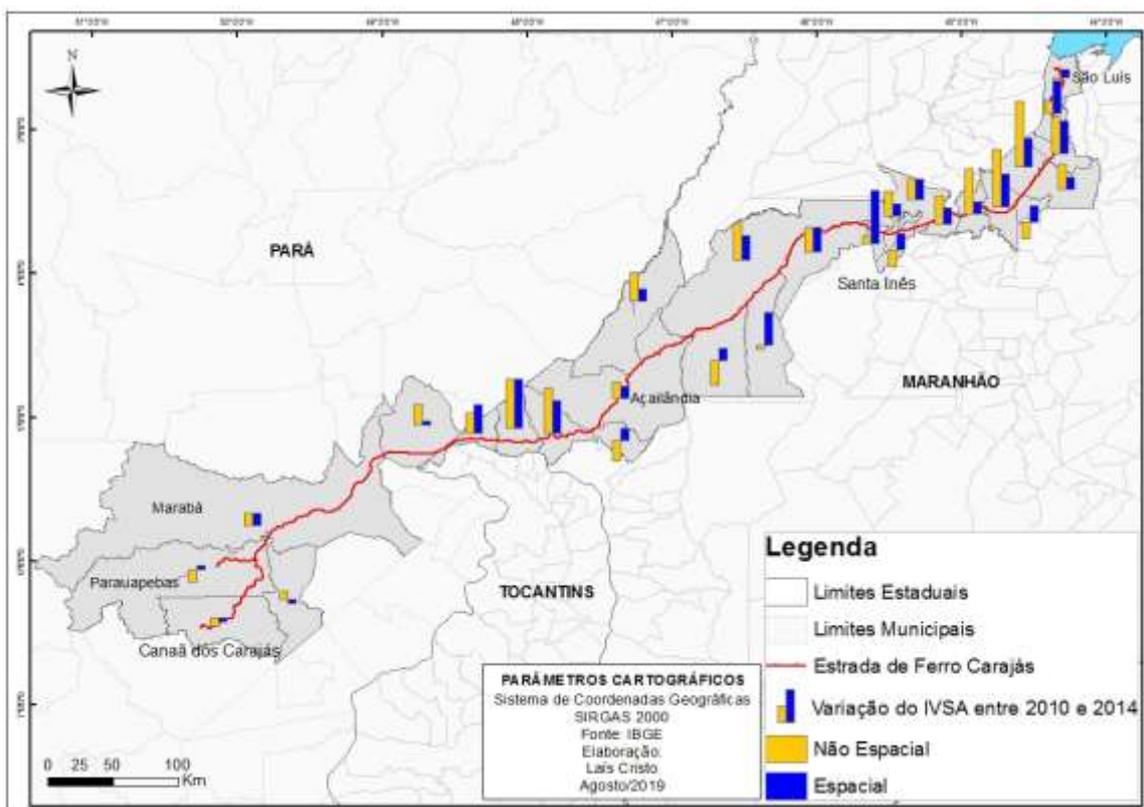


Figura 16. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 2010-2014 (elaborado pela autora, 2019).

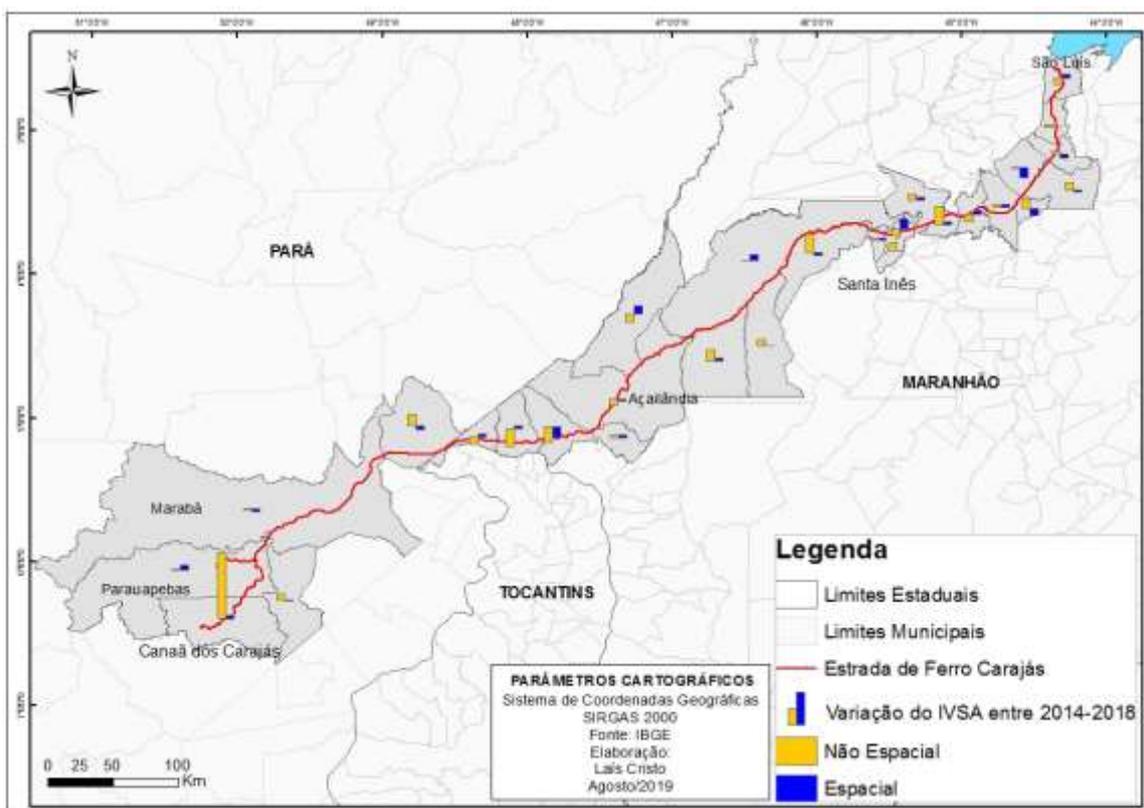


Figura 17. Mapa da variação do IVSA espacial e não espacial para o subperíodo 2014-2018 (elaborado pela autora, 2019).

Os mapas demonstram que, dado um nível de vulnerabilidade (IVSA), os municípios podem ter a variação da mesma amplificada para mais ou para menos em função de sua vizinhança. Nesse sentido, a variação do IVSA espacial pode representar benefícios ou prejuízos que o município tem em função de sua inserção na matriz de contiguidade, ou seja, em função de sua vizinhança, já que, dependendo de sua localização, pode haver interações significativas com outros municípios e, caso estes possuam melhores condições socioeconômicas e ambientais, esse efeito pode ser parcialmente absorvido pelos municípios vizinhos.

Além das análises das variações espaciais e não espaciais dos subperíodos, também foi feita a análise combinada, representando um retrato de todos os subperíodos de forma agregada, através do modelo *pooled*. Esse modelo explicou mais de 60% da relação entre as variações dos índices de 1991 a 2018, e seu *I* de Moran (inclinação da linha de regressão) é 0,7183, ou seja, maior do que os índices dos subperíodos, e estatisticamente significativa ao nível de 1%. Tais resultados indicam que há um padrão claro de correlação espacial positiva do IVSA, entre as variáveis, confirmando os resultados dos modelos dos subperíodos, e ratificando a presença de um padrão não aleatório e com forte dependência espacial-geográfica dos dados.

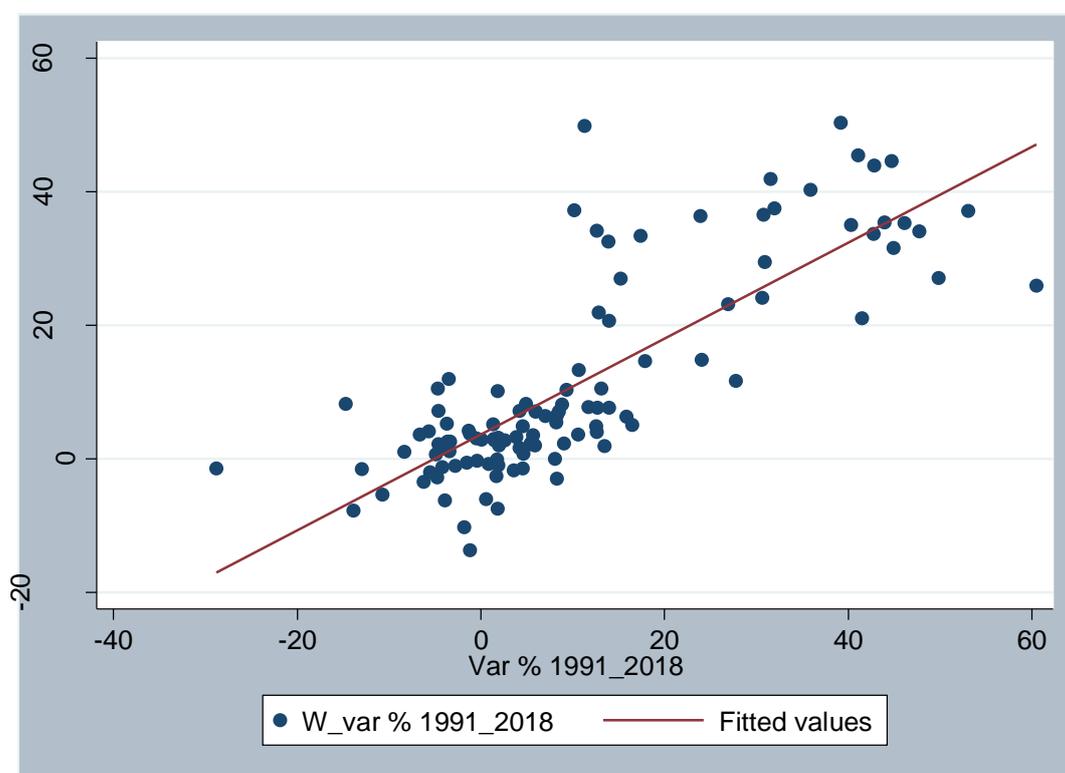


Figura 18. Gráfico de dispersão de Moran para o modelo *pooled*: 1991-2018 (elaborado pela autora).

A figura 18 representa o Indicador de Associação Espacial Local (LISA, na sigla em inglês) baseado na taxa de crescimento do IVSA espacial, considerando a média das variações espaciais do índice para os 4 subperíodos estudados.

Em outras palavras, é um mapa de *cluster* que apresenta os agrupamentos dos municípios baseados nas variações das taxas espaciais do índice de vulnerabilidade, indicando um padrão claro de área contígua com altas taxas de variação espacial, as quais apresentam uma relação inversa com os níveis calculados do IVSA. Ou seja, os municípios com alto IVSA (*hotspots*) fazem fronteira com municípios com alto IVSA, e esses municípios tendem a apresentar menores taxas de crescimento.

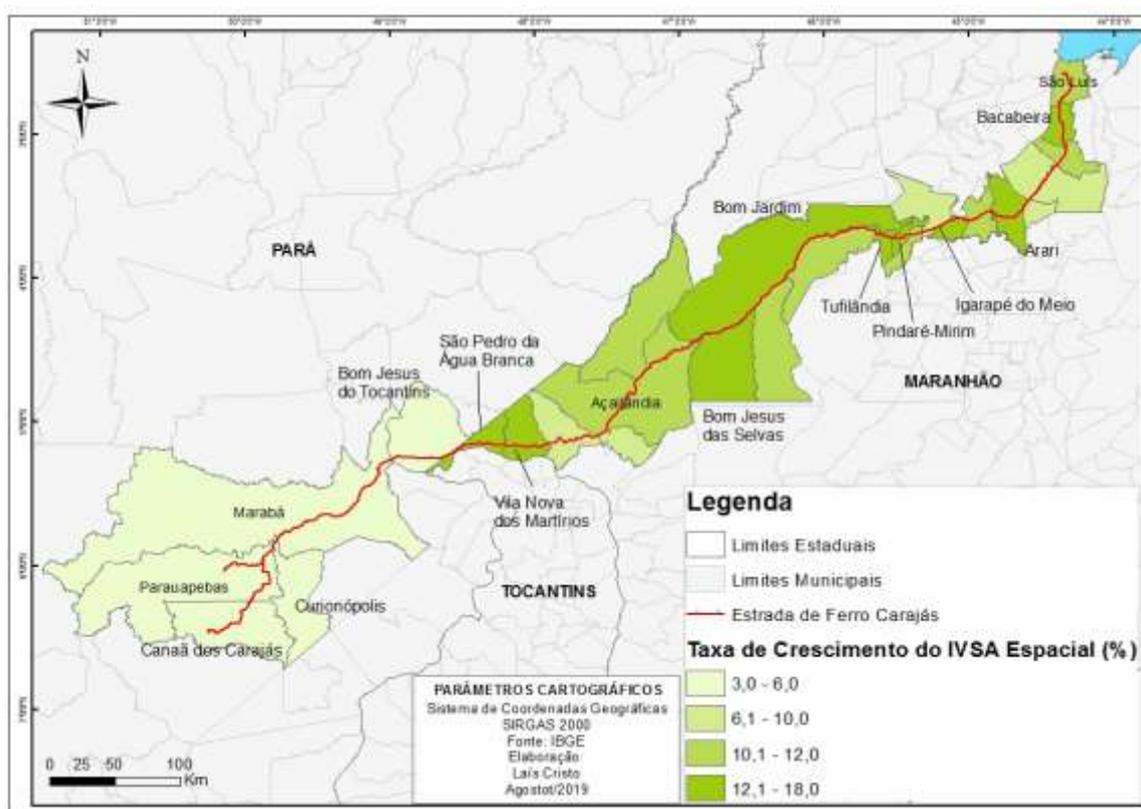


Figura 19. LISA – Taxa de crescimento do IVSA: média dos 4 subperíodos (elaborado pela autora, 2019).

Além do *cluster* que indica um padrão de associação espacial alto-alto (AA), como é o caso dos cinco municípios paraenses da ferrovia, também podemos identificar padrões de associação espacial do tipo baixo-baixo (BB), ou seja, coldspots, representados, entre outros, pelos municípios maranhenses Bom Jardim, Bom Jesus das Selvas, Tufilândia e Pindaré-Mirim. Nestes municípios com baixos IVSA, pequenas mudanças das dimensões potencialmente têm grande impacto no índice, resultando em

maiores taxas de variação (áreas escuras do mapa), o que é consistente com o processo de desenvolvimento.

Com base no mapa de *cluster* e identificação dos *hotspots* e *coldspots*, conclui-se que os municípios com altos índices de vulnerabilidade (e com menores taxas de variação) estão próximos de municípios na mesma condição, da mesma forma que aqueles com baixos índices fazem vizinhança com municípios em condições similares, indicando alta correlação espacial.

Por outro lado, a figura 19 apresenta o mapa de variação do IVSA desconsiderando as taxas espaciais, ou seja, não leva em consideração a vizinhança, mas apenas as variações do índice de vulnerabilidade original para cada subperíodo.

Através da análise desse mapa podemos identificar apenas os municípios que possuem maior ou menor taxa média de crescimento do índice de vulnerabilidade, sem levar em consideração as características espaciais do território ou a localização de cada município. Apesar de haver uma leve semelhança em alguns pontos dos mapas, constata-se claramente a importância da variável espacial na análise da vulnerabilidade dos municípios.

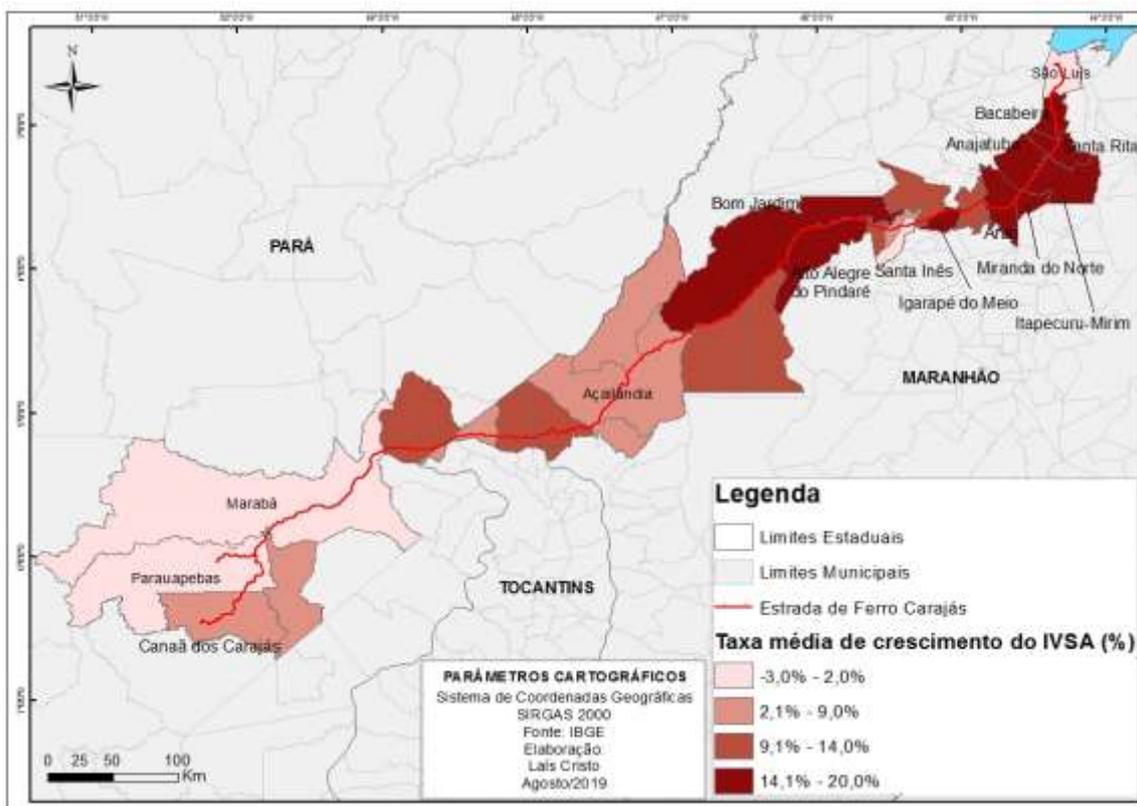


Figura 20. Taxa Média de Crescimento do IVSA (elaborado pela autora, 2019).

O estudo mostrou variações nas vulnerabilidades entre os municípios e constatou que tais vulnerabilidades estão diretamente associadas à localização geográfica e à vizinhança. Com base no modelo econométrico e na aplicação do Índice de Moran, foi confirmado o papel do espaço na vulnerabilidade, com uma elevada correlação espacial entre os municípios da EFC. Foi identificado um *cluster* de municípios vulneráveis, e o outro de menos vulneráveis. Assim, a evidência confirmou as previsões da teoria da aglomeração e as teorias do potencial de mercado.

Estudos anteriores demonstram uma complexidade e importância do conceito de vulnerabilidade. Cutter (2011) chama a atenção para a necessidade de uma visão sócio espacial e integrada da vulnerabilidade, o que nos permite vê-la como uma condição social, destacando a importância do uso de dados socioeconômicos e ambientais. Kaspersen *et al.* (2005) e Hogan *et al.* (2001) afirmam que a distribuição desigual dos serviços é um componente importante da vulnerabilidade, exigindo uma espacialização justa da infraestrutura urbana. Os autores consideram o espaço vulnerável como heterogêneo, chamando a atenção para a importância de considerar as condições sociais desiguais, tais como a distribuição desigual de serviços e infraestrutura.

Cross (2001) aponta que as pessoas em comunidades rurais ou pequenas cidades são mais vulneráveis do que aquelas em grandes cidades e áreas urbanas, devido à falta de preparação para lidar com situações de risco.

Este estudo converge com as abordagens anteriores ao confirmar a importância da utilização de dados socioeconômicos e ambientais na análise da vulnerabilidade, salientando ao mesmo tempo a relevância de considerar as condições desiguais do espaço, bem como a influência da vizinhança nessas condições.

Contudo, existe uma lacuna na literatura - que o presente estudo procura contribuir para o seu preenchimento - relativamente à análise da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental na EFC, especialmente considerando a questão espacial como um fator importante desta condição. Neste sentido, as teorias da aglomeração e do potencial de mercado, anteriormente analisadas neste estudo, sublinham a importância da dimensão espacial nos mais variados processos. O modelo econométrico confirmou a influência da localização na vulnerabilidade, uma vez que foi identificado um aglomerado de municípios vulneráveis e outro dos menos vulneráveis.

A redução dos níveis de vulnerabilidade dos municípios é essencial para alcançar uma condição de sustentabilidade nestas regiões e em todo o território da EFC. Neste sentido, profissionais, gestores de território e outras partes interessadas podem aproveitar

este estudo para propor ações para reduzir a vulnerabilidade e, conseqüentemente, garantir uma melhoria das condições de sustentabilidade da região, pois este estudo identificou municípios prioritários nos quais as ações e políticas públicas podem focar.

Os gestores devem notar que as medidas para reduzir a vulnerabilidade devem ser idênticas nos municípios vulneráveis, considerando que o resultado da análise espacial do IVSA e do IPS mostrou que os mais vulneráveis formam um *cluster*.

Este estudo também pode ser relevante em casos de escassez de recursos, uma vez que sugere aos gestores que atuem e se concentrem em questões fundamentais em certos municípios. Os efeitos de tais ações e políticas podem repercutir nos municípios vizinhos. Isto confirma a importância e utilidade desta investigação, que fornece informação desafiadora aos profissionais e gestores do território, demonstrando a relevância do tema analisado.

4. Mudanças no Uso do Solo e Condições Socioeconômicas em Comunidades ao longo da Estrada de Ferro Carajás

4.1. Introdução

A grande disponibilidade de recursos naturais e energia fóssil, o crescimento populacional e elevação da expectativa de vida e dedicação às atividades produtivas, o crescimento da urbanização, o aumento dos níveis educacionais e capital humano foram alguns dos fatores determinantes para o crescimento econômico mundial a partir do século XX (MARTINE E ALVES, 2015).

Apesar disso, a partir do início do século XXI, o modelo de produção vigente passou a apresentar instabilidades em função do início do esgotamento de muitos desses condicionantes. Na região amazônica a história tem seguido caminho semelhante. O meio técnico-científico-informacional – termo criado por Santos (1994) e traduzido como a terceira e atual fase da Revolução Industrial – tem alterado de forma cada vez mais intensa o espaço geográfico, em especial quando focamos nossa atenção à região da Amazônia Oriental, onde a dinâmica demográfica, econômica e ambiental é influenciada de forma direta pela atividade minerária.

A exploração mineral que ocorre nessa porção da Amazônia brasileira pela empresa Vale S.A. envolve um grande complexo minero-logístico, abrangendo parte dos Estados do Pará e Maranhão. O sistema mina-ferrovia-porto se dá entre as minas da região de Carajás, incluindo a mina S11D, localizada no município de Canaã dos Carajás,

no Pará, e o Porto de Itaquí, em São Luís, no Maranhão, interligados pelos aproximadamente 1000 km de extensão da Estrada de Ferro Carajás. O território da EFC é composto por 28 municípios, 5 no Estado do Pará e 23 no Maranhão, além de centenas de comunidades rurais e urbanas localizadas nesse percurso.

Há diversos estudos sobre a região Amazônica. Como exemplo podemos citar o livro *Amazônia, Amazônias*, de Gonçalves (2001), que analisa a diversidade dos povos presentes na região de forma paralela à análise da formação da mesma; as valiosas contribuições de Becker (1990; 2005), que classificou a região como uma nova fronteira de recursos e discutiu sua geopolítica em diferentes décadas, ao mesmo tempo em que deu importantes contribuições sobre o processo de formação histórica da mesma.

Nesse contexto vale mencionar tambémos trabalhos de Becker e Egler (1997), que apresentaram uma metodologia para o zoneamento ecológico-econômico na Amazônia Legal; Fearnside (2006), que tratou a dinâmica e os impactos do desmatamento na região; Bunker (2008), que examinou os impactos dos projetos de mineração na Amazônia; entre outros trabalhos não menos importantes sobre a região, e Da Silva (2014), que em seu livro “Território e Mineração em Carajás” trata da questão econômica e das estratégias de ocupação territorial da empresa Vale no Estado do Pará.

Apesar da crescente quantidade de trabalhos tratando da região Amazônica, ainda há poucos estudos específicos sobre o território da EFC. Entre eles podemos citar os trabalhos de Falesi (1986) que fez um levantamento de solos e aptidão agrícola na região; Coelho (1997), que tratou do desenvolvimento econômico e social ligado à extração mineral de acordo com o conceito de desenvolvimento sustentável na EFC; Cortelleti (2014), que apresentou uma proposta metodológica para a análise de riscos geológico-geotécnicos na EFC; Santos (2016), que focou sua pesquisa na área da arqueologia na região da EFC; Damasceno *et al.* (2017), que trataram do reaproveitamento dos resíduos de madeira descartados na EFC para a cogeração de energia elétrica, entre outros estudos sobre esse território.

Há, no entanto, uma carência quando buscamos estudos voltados à análise de comunidades localizadas ao longo de grandes estruturas ferroviárias, como é o caso da EFC, o que garante a peculiaridade deste trabalho. Essas comunidades são tão – ou mais – influenciadas pela ferrovia que os próprios municípios ou suas sedes, já que muitas delas são diretamente atravessadas pela mesma, ou estão muito próximas dela. Santos *et al.* (2018b) é um dos pouquíssimos trabalhos sobre as comunidades localizadas ao longo

da ferrovia, e analisa a rede de instituições que atuam nas mesmas, demonstrando a importância do fortalecimento dessas redes e atuação de atores locais.

No âmbito socioeconômico, podemos citar os trabalhos de Matlaba *et al.* (2018), que analisam a situação socioeconômica do município de Canaã dos Carajás, no Pará, e de seus habitantes, e capta opiniões dos mesmos sobre a vida na cidade; Matlaba *et al.* (2021) que analisaram a percepção de resiliência no município de Canaã dos Carajás; Santos *et al.* (2018b) que trabalharam em escala comunitária, mas concentraram-se na análise das redes de instituições que nelas funcionam; Brito *et al.* (2020) que analisaram a percepção das contribuições da natureza para as pessoas em cinco comunidades rurais da Amazônia Oriental. Cruz *et al.* (2021), que avaliaram a Licença Social para Operação do Projeto S11D, em Canaã dos Carajás; Nunes *et al.* (2020), que traçaram um perfil socioeconômico dos moradores das comunidades ao longo da EFC, sua percepção sobre a vida local e opinião sobre a ferrovia.

O território da Estrada de Ferro Carajás (EFC) tem sido palco de conflitos por resistência, por exemplo, contra as obras de expansão ferroviária, por melhores condições de vida, por mais oportunidades econômicas, por regularização fundiária etc., que se agravam devido à ausência parcial do poder ativo do Estado (SANTOS *et al.*, 2018b). Estes impactos ou externalidades negativas acabam abalando a confiança da população local em relação às ações das empresas locais - neste caso, a principal mineradora - e influenciando a percepção social de seus empreendimentos (MOTA *et al.*, 2017).

Cruz *et al.*, (2021) afirmam que a Licença Social de Operação (LSO) é um reflexo da percepção das comunidades com relação às empresas e identificam em sua pesquisa que o nível LSO do Projeto S11D é de aceitação (média de $3,63 \pm 0,87$, escala Likert), apesar de estar abaixo do ideal. Ao mesmo tempo, indicam que as interações com a comunidade, as melhorias das infraestruturas favorecem a LSO e que os impactos negativos na economia local e no meio ambiente influenciam negativamente essa licença.

Brito *et al.* (2020), em seu trabalho de investigação sobre a percepção das contribuições da natureza pelas comunidades rurais, mencionam que estas, em geral, são mais afetadas por atividades que geram degradação ambiental, o que demonstra a necessidade de estudo a nível comunitário e, conseqüentemente, superar a falta de informação e dados socioeconômicos a esta escala.

Santos *et al.* (2020) enfatizam a importância de analisar as mudanças no uso e cobertura do solo no território da ferrovia de Carajás, apesar do reconhecido menor

impacto do transporte ferroviário sobre o uso do solo em comparação, por exemplo, com as pastagens.

O objetivo do presente estudo é compreender as condições socioeconômicas e ambientais das comunidades localizadas na área de influência direta da ferrovia EFC a partir da análise do uso e ocupação do solo no território e do comportamento dos indicadores, nas referidas dimensões, de uma amostra de 32 comunidades no período de 2010 a 2017.

Para tanto, foram utilizados indicadores sociais e econômicos e foi feita análise qualitativa de imagens de satélites do mesmo período. Essas comunidades foram escolhidas pela Vale por serem críticas no âmbito da ferrovia e do Projeto Grande Carajás já que, de forma direta ou indireta, são influenciadas por esse importante empreendimento logístico.

Foi realizada análise quantitativa de dados primários e secundários para o referido período, destacando-se também a dinâmica demográfica dessas comunidades. Esse período de análise foi escolhido por duas razões: primeiro em função da disponibilidade de dados na escala de setores censitários; em segundo lugar, devido à realização de expedições do grupo de Socioeconomia e Sustentabilidade do ITV à região no biênio 2016-17.

É importante destacar que a escala dos setores censitários apresenta uma limitação em função de suas malhas sofrerem alterações entre os censos. Isso impede uma comparação fiel entre setores de diferentes censos, já que eles não coincidem. Em função disso, foi escolhido o censo 2010 por apresentar a delimitação mais atual desses polígonos, fundamental às análises em nível de comunidade.

A pesquisa se diferencia das demais por analisar comunidades que, no geral, não são estudadas de forma específica, e por basear tal estudo em análise de imagens de satélite do território da EFC de forma interligada à análise de dados em escala de setores censitários, além de trabalhar com dados primários obtidos através de pesquisas de campo. Esse tipo de abordagem permite a análise das condições socioambientais das comunidades da EFC durante um período de quase uma década, o que supre a ausência de dados após o último censo de 2010, além de complementar outros estudos sobre a ferrovia (FALESI, 1986; COELHO, 1997; CORTELLETI, 2014; SANTOS, 2016, ARAÚJO *et al.*, 2018), focados em outras escalas.

A fim de compreender as condições de vida das populações que vivem no território da EFC, este capítulo procurou responder se os dados analisados refletem a

vida dos moradores das comunidades localizadas neste território; quais são as condições de uso e ocupação do solo e sua evolução nessas comunidades de 2010 a 2017; se a evolução observada reflete os indicadores sociais e econômicos do censo 2010 e da pesquisa de campo para o biênio 2016-17; e se as comunidades urbanas têm melhores condições do que as rurais.

A importância econômica, social e ambiental da Estrada de Ferro Carajás, um corredor para o fluxo de produção e circulação de pessoas na mineração, justifica a necessidade de pesquisas e estudos sobre a dinâmica dos municípios e comunidades de seu território, logo, este capítulo é fruto de um trabalho que permitiu identificar e compreender por que determinadas comunidades têm melhores condições ou são mais influenciadas pela ferrovia que outras, e conseqüentemente possibilitará o estabelecimento de metas para o recebimento de ações e políticas públicas e/ou privadas na região.

4.2. Materiais e Métodos

Neste trabalho, foram estudadas as condições de vida das comunidades rurais e urbanas da EFC através da análise de 17 indicadores sociais e econômicos, totalizando 63 variáveis coletadas. A dimensão ambiental foi considerada através do exame do uso e ocupação do solo a partir da análise qualitativa das imagens de satélite obtidas do Google Earth para 2010 e 2017. O estudo confirmou que os indicadores socioeconômicos (que retratam as condições de vida locais) resultam dos padrões de uso e ocupação do solo.

Os procedimentos metodológicos realizados a fim de alcançar os objetivos da pesquisa foram os seguintes: i) fundamentação teórica através de revisão de literatura; ii) definição das variáveis sociais e econômicas a serem coletadas; iii) coleta de dados; iv) agregação e organização das variáveis coletadas em tabela do programa EXCEL; v) aplicação de testes estatísticos para análise de significância dos dados através do software Stata; vi) análise visual de imagens de satélites do Google Earth entre os anos de 2010 e 2017; vii) comparação e análise da evolução dos dados com base na análise visual das imagens.

Este estudo apresenta um experimento que compara dados secundários de 32 comunidades (ver figura 2) do Censo 2010 (IBGE) e dados primários coletados através da aplicação de questionários em pesquisas de campo realizadas no biênio 2016-17. Os indicadores socioeconômicos complementam a análise das mudanças de uso e cobertura

da terra com base em imagens de satélite para verificar a relação entre os dados coletados e as estimativas feitas com base na análise das imagens.

Como referido, os dados da pesquisa foram obtidos por meio de expedições realizadas pela equipe Socioeconomia e Sustentabilidade do Instituto Tecnológico Vale. Foram pesquisados 1.906 domicílios, sendo 855 e 1.051 na expedição à EFC de 2016 e 2017, respectivamente (Tabelas 10 e 11). Visando garantir alta confiabilidade dos resultados da pesquisa, as amostras foram definidas, em cada comunidade, com 95% de confiança e uma margem de erro de 3,5%, a qual é superior àquela frequentemente utilizada em muitas pesquisas (5%).

O objetivo da pesquisa foi conhecer o território e suas populações nas comunidades – rurais, rurais lindeiras, periurbanas e urbanas – localizadas ao longo da Estrada de Ferro de Carajás em 12 e 3 municípios do Maranhão e Pará, respectivamente (Tabela 12). Foi aplicado um questionário com questões fechadas, que orientou a coleta das seguintes informações socioeconômicas: migração e perfil dos entrevistados, características do domicílio, avaliação da vida na comunidade, conhecimentos e vocações socioeconômicas (práticas e habilidades) e percepção da comunidade em relação à ferrovia.

A seleção dos domicílios pesquisados foi aleatória e, visando respeitar os padrões éticos de pesquisa do Instituto Tecnológico Vale (VALE, 2013), assegurou-se o anonimato dos entrevistados. Foram entrevistadas pessoas adultas com 18 anos de idade ou mais e conhecimento suficiente para responderem a todas as questões do questionário. Os dados foram tabulados em uma planilha Excel e analisados estatisticamente por meio do software Stata (STATACORP, 2013).

Tabela 10 Distribuição dos domicílios na amostra, Expedição de 2016

Comunidade	Tipo	Município	UF	População	Domicílios	Amostra
Vila Maranhão	Urbana	São Luís	MA	4241	1060	68
Juçara	Peri-Urbana	São Luís	MA	500	125	12
Monge Belo	Rural	Itapecuru-Mirim	MA	1200	300	21
Marmorana	Rural	Alto Alegre do	MA	120	30	8
	Lindeiro	Pindaré				
Vila Casa Azul	Rural	Buritcupu	MA	95	24	7
	Lindeiro					
Assentamento Novo	Rural	Açailândia	MA	280	70	10
Oriente	Lindeiro					
Vila Ildemar	Urbano	Açailândia	MA	22000	5500	362
Bairro Araguaia	Urbano	Marabá	PA	6000	1500	104
Bairro Alzira	Urbano	Marabá	PA	3000	750	50
Mutran						
Nova Jerusalém	Rural	Canaã dos Carajás	PA	1200	300	24

Vila Bom Jesus	Rural	Canaã dos Carajás	PA	1400	350	28
Palmares II	Urbano	Parauapebas	PA	8000	2000	150
Onalicio Barros	Rural	Parauapebas	PA	350	88	11
Total				48.383	12.097	855

Fonte: Instituto Tecnológico Vale

Nota: PA e MA se referem aos estados do Pará e Maranhão.

Tabela 11 Distribuição dos domicílios na amostra, Expedição de 2017

Comunidade	Tipo	Município	UF	População	Domicílios	Amostra
Bairro Km 07	Urbana	Marabá	PA	15000	3750	130
Nova Vitória	Urbana	Parauapebas	PA	3000	750	34
Palmares Sul	Rural	Parauapebas	PA	6400	1600	61
APA do Gelado	Rural	Parauapebas	PA	480	120	11
Tropical I e II Jardim Ipiranga	Rural	Parauapebas	PA	10000	2500	95
Fazenda Santo Antônio	Rural	Parauapebas	PA	200	50	11
Fazenda Juazeiro / Nova Esperança	Rural	Parauapebas	PA	300	75	13
Primeiro Cocal	Rural	São Pedro da Água Branca	MA	1000	250	17
Cabeça Gorda	Rural	São Pedro da Água Branca	MA	200	50	8
Piquiá de Baixo	Urbana	Açailândia	MA	1248	312	16
Assentamento Francisco Romão	Rural	Açailândia	MA	484	121	8
Assentamento Agro Planalto	Rural	Açailândia	MA	160	40	8
Nova Vida	Rural	Bom Jesus das Selvas	MA	600	150	8
Vila Pindaré	Rural	Buriticupu	MA	1500	375	16
Borgea	Rural	Tufilândia	MA	2500	625	24
Atraca	Rural	Tufilândia	MA	400	100	8
Serrinha	Rural	Tufilândia	MA	3000	750	32
Olho d'Água dos Carneiros Velho	Rural	Pindaré-Mirim	MA	92	23	8
Vila Diamante	Rural	Igarapé do Meio	MA	1200	300	16
São Benedito	Rural	Igarapé do Meio	MA	520	130	8
São Vicente	Rural	Igarapé do Meio	MA	1900	475	16
Acoque	Rural	Arari	MA	1300	325	15
Água Preta	Rural	Miranda do Norte	MA	100	25	8
Água Branca	Rural	Miranda do Norte	MA	100	25	8
Cariongo 3	Rural	Miranda do Norte	MA	400	100	8
Periz de Cima	Rural	Bacabeira	MA	8000	2000	64
Estiva	Urbana	São Luís	MA	7212	1803	64
Vila Samara	Urbana	São Luís	MA	500	125	8
Inhaúma	Urbana	São Luís	MA	4400	1100	40
Coqueiro	Rural	São Luís	MA	1200	300	16
Pedrinhas	Urbana	São Luís	MA	18000	4500	152
Vila Jacu	Rural	São Luís	MA	152	38	8
Sitinho	Urbana	São Luís	MA	1200	300	16
Vila Conceição	Urbana	São Luís	MA	500	125	8
Gapara	Urbana	São Luís	MA	3972	993	40
Fumacê	Urbana	São Luís	MA	5120	1280	48
Total				102.340	25.585	1.051

Fonte: Instituto Tecnológico Vale

Tabela 12 Amostra da pesquisa, EFC

Amostra	Pará	Maranhão	Total
Nº de municípios	3	12	15
Nº domicílios pesquisados	722	1.184	1.906
Nº total de comunidades pesquisadas	13	36	49
Nº de comunidades excluídas	3	14	17
Nº de comunidades consideradas	10	22	32

Fonte: Elaboração própria.

Para os dados da expedição de 2016 assumiu-se que também se referem a 2017, exceto no caso da variável renda, a qual foi corrigida pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) do IBGE no período entre ambas as expedições; as 49 comunidades iniciais foram reduzidas a 32 comunidades (Apêndice 1).

A seleção final da quantidade de comunidades ocorreu em função de discrepâncias entre os dados de 2010 e 2016/2017, que apresentaram número de domicílios e/ou moradores menor ou muito acima daquele identificado na definição das amostras para as expedições. Isso ocorreu em função da limitação dos dados em nível de setor censitário, nos quais os polígonos previamente definidos, muitas vezes cobriam áreas maiores que as das comunidades. Essas situações foram confirmadas a partir da análise e contagem visual da quantidade de domicílios nas imagens dessas comunidades, o que confirmou a inconsistência e justificou a exclusão das mesmas dessa análise.

Na dimensão ambiental, o número de comunidades analisadas foi reduzido de 32 para 24 em função da dificuldade de visualização de algumas imagens de satélites para o período considerado, devido principalmente à grande quantidade de nuvens, além da indisponibilidade de imagens para o ano inicial de análise (2010). Na análise da referida dimensão estão expostas apenas imagens de nove comunidades, que exemplificam as mudanças ocorridas no período analisado. No entanto, no apêndice 2 deste trabalho estão apresentadas as imagens das outras 15 comunidades que foram passíveis de análise visual.

As variáveis socioeconômicas e ambientais coletadas para esta análise foram escolhidas de acordo com a disponibilidade dos dados do censo 2010, especificamente na escala detalhada de setores censitários. Foram verificadas duas limitações na coleta de dados dos setores censitários: a primeira referente à variação dos polígonos desses setores em cada censo, o que culminou na escolha do censo mais recente (2010) em detrimento dos demais, bem como na impossibilidade de uma fiel comparação intercensitária em

nível de setores; a segunda em função da disponibilidade dos dados dos setores censitários, já que as variáveis nessa escala não equivalem a todas aquelas que foram coletadas a nível municipal.

Os dados primários coletados nas expedições são ricos por refletirem as condições socioambientais das comunidades, em escala de detalhe, permitindo-nos análises específicas impossíveis com outros tipos de dados. As expedições foram realizadas no intuito de conhecer o território da EFC, trabalho que vem sendo continuado nesta pesquisa a partir da utilização desses dados.

A quantidade de dados variou entre o censo 2010 e a coleta nas expedições, já que no segundo caso o questionário aplicado foi elaborado especificamente visando analisar as condições de vida da população das comunidades com relação à influência da EFC; dessa forma, como referido, os dados primários da pesquisa abrangem interesses específicos e, portanto, estão em maior quantidade. A tabela 13 apresenta as variáveis coletadas e suas definições de acordo com o censo 2010 e com o questionário aplicado nas expedições à EFC.

Tabela 13 Definição das variáveis coletadas

Variáveis	Definição (Censo 2010)	Definição (Expedição EFC)
Situação/Tipo	Situação urbana (área urbanizada de cidade ou vila, área não-urbanizada de cidade ou vila, área urbana isolada)	Tipo de comunidade (rural/urbana)
	Situação rural (aglomerado rural de extensão urbana, aglomerado rural isolado – povoado, aglomerado rural isolado – núcleo, aglomerado rural isolado – outros aglomerados, zona rural - exclusive aglomerado rural)	
Domicílios	Quantidade de domicílios particulares permanentes	Quantidade de domicílios entrevistados
Moradores	Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes	Quantidade de pessoas que moram na residência
Crianças/Jovens	Soma das pessoas com idade entre de 0 e 17 anos	Quantas crianças ou jovens há na residência
Sexo	Total de moradores do sexo masculino Total de moradores do sexo feminino	Sexo do entrevistado
Renda	Total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares permanentes	Renda total do domicílio

Pobreza	Domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo (Salário mínimo base: R\$510,00)	Domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo Salário mínimo base: R\$937,00
Propriedade	Soma entre os domicílios particulares permanentes próprios e quitados e os domicílios particulares permanentes próprios em aquisição (financiados).	A propriedade em que a família mora é própria?
Escolaridade	Pessoas responsáveis pelo domicílio alfabetizadas.	Graus de escolaridade dos entrevistados
Condições sanitárias	Domicílios com esgotamento sanitário: Domicílios particulares permanentes com esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou via fossa séptica. Domicílios sem esgotamento sanitário: Domicílios particulares permanentes esgotamento sanitário via fossa rudimentar; via vala; via rio, lago ou mar; ou via outro escoadouro.	Domicílios com esgotamento via rede geral de esgoto ou via fossa séptica. Domicílios com esgoto a céu aberto, rio ou córrego, ou não identificada.
Abastecimento de água	Abastecimento de água via rede geral: Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral Abastecimento de água por outras vias: Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade; abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna; com outra forma de abastecimento de água	Domicílios com abastecimento de água através da rede pública Domicílios com abastecimento de água através de poço ou nascente, rio ou açude, cisterna, ou carro pipa.
Energia elétrica	Domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia distribuidora, com medidor; sem medidor ou de outras fontes Domicílios particulares permanentes sem energia elétrica	Domicílios com energia elétrica através de gerador; pública com medidor; sem medidor; não identificada. Domicílios sem energia elétrica
Bens Duráveis	Domicílios com geladeira Domicílios com televisão Domicílios com rádio Domicílios com celular Domicílios com motocicleta	Domicílios com geladeira Domicílios com televisão Domicílios com rádio Domicílios com celular Domicílios com motocicleta
Ocupação	População economicamente ativa ocupada	Quantidade de pessoas do domicílio que estavam trabalhando
Aposentados e pensionistas	Pessoas de 10 anos ou mais de idade, segundo a condição de aposentada ou	Existência de aposentado na residência

	pensionista de instituto de previdência oficial		
Naturalidade	Pessoas de 10 anos ou mais de idade segundo a naturalidade em relação à unidade da federação	Estado onde nasceu	onde o entrevistado nasceu

Fonte: IBGE (2010) e expedições ITV (2016; 2017).

As variáveis *domicílios*, *moradores* e *renda total*, para os dados do censo 2010, fazem referência ao total de domicílios do setor censitário que, em sua maioria, equivale exatamente às áreas das comunidades. Já no caso das expedições, essas variáveis referem-se aos valores totais da amostra, ou seja, à quantidade total de domicílios visitados ou de entrevistas realizadas nas expedições em cada comunidade.

Com exceção dessas variáveis, todas as outras foram expressas em porcentagem. Para a obtenção desses percentuais o valor de cada variável foi dividido pelo total de domicílios (entrevistados, no caso de 2017) ou pelo total de moradores. Exemplo: a variável *crianças* refere-se à quantidade de moradores da comunidade que eram crianças na data da entrevista; dessa forma, o percentual de crianças foi obtido multiplicando-se por 100 o rácio entre a quantidade de crianças e o total de moradores da comunidade. Da mesma forma, a variável *propriedade* teve seu percentual obtido multiplicando-se por 100 a divisão da quantidade de domicílios próprios pelo total de domicílios (no caso de 2010) ou pelo total de domicílios entrevistados (no caso de 2017).

Para a obtenção dos percentuais das variáveis *sexo*, *alfabetizados*, *aposentados* e *naturais da Unidade da Federação (UF)*, do ano de 2010, o procedimento foi similar ao das demais variáveis citadas anteriormente. No entanto, para 2017, por fazer referência às pessoas entrevistadas, e não ao total de moradores, foi feita a soma da quantidade de mulheres e homens entrevistados; da quantidade de pessoas entrevistadas que declararam não serem analfabetas; da quantidade de entrevistados que declarou haver algum aposentado na residência; da quantidade de entrevistados que declarou ter nascido na UF onde morava; o resultado das somas desses valores para cada comunidade foi dividido pelo total de entrevistados (que coincide com o total de domicílios da amostra, pois apenas uma pessoa foi entrevistada em cada domicílio) e os rácios multiplicados por 100.

No caso da variável escolaridade, para que fizéssemos a comparação com os dados dos setores censitários de 2010, que informam a quantidade de pessoas responsáveis pelo domicílio alfabetizadas, a variável coletada na expedição apresenta as seguintes categorias/ graus: analfabeto ou não estudou; cursou o ensino fundamental;

cursou o ensino médio; cursou o nível superior, a qual teve suas categorias agregadas e foi transformada em variável com apenas uma categoria denominada *alfabetizados*. Ou seja, todos os entrevistados que declararam possuir pelo menos ensino fundamental completo foram agrupados e designados como alfabetizados, sendo obviamente excluídos neste grupo no caso contrário.

A variável *pobreza* foi definida conforme no IBGE, considerando nessa condição aqueles domicílios que possuíam renda domiciliar *per capita* de até 1/8 do salário mínimo corrente. Para o cálculo da renda domiciliar *per capita* e verificar se ela se encontra na referida faixa em 2017, foi feita primeiramente uma correção monetária das rendas das comunidades pesquisadas em 2016. Dessa forma, a soma da renda total dos domicílios foi dividida pelo total de pessoas que moravam nas residências, obtendo-se a renda *per capita* domiciliar em cada comunidade. Em seguida, a renda *per capita* foi corrigida pelo fator 1,0270175, que corresponde ao IPCA verificado entre agosto de 2016 e maio de 2017, datas da primeira e segunda expedição, respectivamente (IBGE).

Dessa forma, os dados são comparáveis àqueles de 2010 calculados pelo IBGE. Posteriormente, a renda *per capita* domiciliar foi comparada com o valor do salário mínimo corrente em 2017 (R\$937); todos os domicílios com renda *per capita* de até a oitava parte do salário mínimo (R\$117,12) foram classificados como em situação de pobreza.

As variáveis referentes às *condições sanitárias, abastecimento de água e energia elétrica* foram compatibilizadas para permitirem comparações. Sendo assim, no caso do censo 2010, com relação as condições sanitárias, os domicílios são divididos em: com esgotamento sanitário via rede pública; via fossa séptica, via fossa rudimentar; via vala; via rio, lago ou mar; ou via outro escoadouro; nos dados das expedições, os domicílios foram divididos da forma que consta na tabela 13, sendo aqueles domicílios que possuíam esgotamento via rede pública ou fossa séptica considerados domicílios com esgotamento sanitário.

No caso da variável *abastecimento de água*, apenas os domicílios com abastecimento de água via rede geral de distribuição foram considerados domicílios com este bem, ou seja, excluindo-se aqueles que possuíam abastecimento de água via poço ou nascente, via cisterna, via rios ou lagos, conforme definição do IBGE.

Por fim, no caso da variável *energia elétrica*, nos dados das expedições, os domicílios foram considerados com energia elétrica independente da origem dessa

energia, ou seja, aqueles domicílios que possuíam este recurso via rede geral com ou sem medidor, via gerador ou outras fontes, foram considerados em uma mesma condição.

Em todas as variáveis foram realizados os seguintes testes estatísticos: Kolmogorov Smirnov, a fim de identificar se os dados seguiam ou não uma distribuição normal. Em caso positivo, fizemos na variável o teste paramétrico *t* de Student. Em caso negativo, quando foi rejeitada a hipótese nula, confirmando-se que a variável não tinha uma distribuição normal, aplicamos os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney (KRUSKAL, 1952; BIRNBAUM *et al.*, 1956).

A partir desses testes, foram identificadas as variáveis que apresentaram valores médios diferentes entre comunidades urbanas e rurais em cada ano, bem como a diferença das variações dessas variáveis entre os anos analisados, sempre considerando um nível de significância de 5%. Em todas as variáveis, o teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov foi realizado para identificar se os dados seguiram uma distribuição normal. Se positivo, o teste paramétrico *t* de Student foi aplicado a cada variável; caso contrário, foram utilizados os testes não paramétricos Mann-Whitney e Kruskal-Wallis (STATACORP, 2013); As variáveis que apresentaram médias diferentes entre as comunidades urbanas e rurais em cada ano foram identificadas e a diferença em sua variação entre os anos foi analisada, ao nível de 5% de significância.

A robustez dos resultados foi verificada através da análise de correlações entre as variáveis nos resultados do estudo, excluindo-se uma variável em cada par de correlação de Pearson estatisticamente significativa. O número de observações durante os testes estatísticos variou devido à ausência de dados para algumas comunidades. As variáveis de abastecimento de água, saneamento e eletricidade tiveram apenas 22 observações, enquanto todas as outras tiveram 30.

Paralelamente, foi feita uma análise visual para comparar as mudanças de uso e ocupação do solo e a variação dos indicadores durante esse período. Esta análise visual correspondeu à dimensão ambiental, e foi feita através da observação minuciosa da sequência temporal de imagens para cada uma das 32 comunidades a partir da localização de suas coordenadas geográficas.

De forma geral, a grande maioria das comunidades possuía imagens em 2010 e 2017, com exceção de alguns casos em que a ausência ou poluição de imagens – em função principalmente da existência de nuvens que cobriam a região – foram supridas pela análise de imagens de anos mais próximos, principalmente 2011.

Para a análise de uso e ocupação do solo, as coordenadas de cada comunidade foram inseridas no Google Earth a fim de localizar seus pontos e selecionar as imagens disponíveis no catálogo temporal do aplicativo. Posteriormente, as imagens passaram a ser observadas e minuciosamente analisadas, levando em consideração o entorno da comunidade, a quantidade e disposição dos domicílios, a existência de vegetação, de infraestrutura relacionada à ferrovia, bem como a própria ferrovia, existência de corpos hídricos, estradas etc. A análise foi feita inicialmente para o ano de 2010 e, em seguida, para 2017.

A partir da análise dos dois períodos, observamos a evolução da ocupação e uso do solo nas áreas das comunidades, e posteriormente a relação dessa evolução com os dados coletados no censo e nas pesquisas de campo, sempre levando em conta a influência da ferrovia no contexto das comunidades.

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Análise Socioeconômica e Demográfica

A análise dos dados socioeconômicos das 32 comunidades estudadas deixou claro que elas não se encontram em condições totalmente semelhantes. É importante destacar que as comunidades Tropical I, Tropical II e Nova Ipiranga e Assentamento Agroplanalto ainda não existiam em 2010, portanto, não as consideramos na análise socioeconômica e demográfica, apenas na análise da dimensão ambiental.

No que se refere à análise demográfica, tanto em 2010 como em 2017, as comunidades com maior população eram Vila Ildemar, em Açailândia, Maranhão, Pedrinhas, em São Luís, Maranhão, e Km 7, em Marabá, Pará. No mesmo período, as comunidades com menor população eram Vila Jacu (46 e 160 habitantes), Atraca (245 e 400 habitantes) e Cariongo 3 (440 e 400 habitantes), todas no Maranhão.

A análise demográfica das comunidades entre 2010 e 2017 demonstra que, no geral, houve um aumento populacional nas mesmas. Nova Vitória, localizada em Parauapebas, Pará; Periz de Cima, localizada em Bacabeira, Maranhão; e Km 7, no município de Marabá, Pará, foram as que tiveram maior taxa de crescimento geométrico, 25%, 22%, 20%, respectivamente. As comunidades Vila Pindaré, Cariongo 3, Nova Vida e São Benedito (a primeira com taxa de -2% e as três últimas com -1%) foram as únicas que não tiveram crescimento populacional, apresentando pequena redução (gráfico 1). Tais taxas foram inconsistentes com aquelas verificadas nas regiões de referência do

Pará, Maranhão e Brasil, no referido período, já que as três apresentaram taxa de crescimento de aproximadamente 1%.

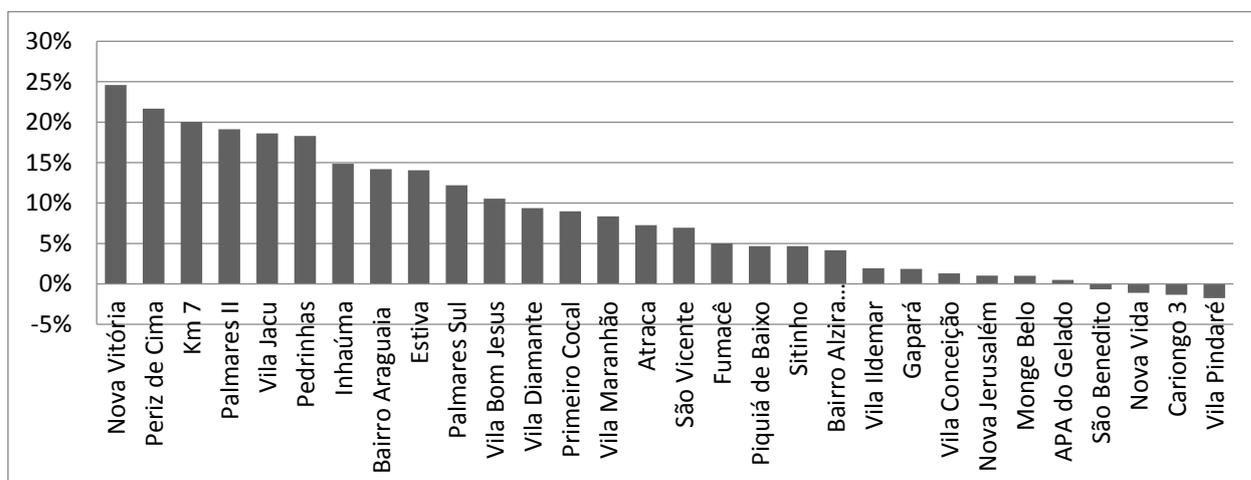


Figura 21. Taxa de crescimento populacional das comunidades entre 2010 e 2017 (elaborado pela autora).

Tanto em 2010 como em 2017 as comunidades com as maiores populações eram urbanas. Todas as comunidades que apresentaram queda na taxa de crescimento populacional durante esse período eram rurais. No entanto, duas das três comunidades com as maiores taxas de crescimento também eram rurais. Entre elas, apenas a comunidade Km 7, em Marabá, era urbana.

Em 2010, a partir do teste Kolmogorov-Smirnov, identificamos que as variáveis domicílios, moradores, crianças e jovens, renda total, renda per capita, pobreza, alfabetizados, geladeira, televisão, rádio, celular, população ocupada e esgotamento sanitário não apresentaram uma distribuição normal. A partir dos testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e Man-Whitney que testaram as diferenças entre as médias dessas variáveis nas comunidades urbanas e rurais em 2010, identificamos quais variáveis foram estatisticamente significantes a 5%. Em outras palavras, verificamos se existem diferenças entre as comunidades rurais e urbanas nessas variáveis no ano analisado (tabela 14).

Tabela 14 Resultados dos testes estatísticos das diferenças de médias entre as comunidades urbanas e rurais em 2010

Variável	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney
Domicílios	$X^2=12.346$, gl=1, p=0,0004	z= -3,514; Prob > z = 0,0004
Moradores	$X^2=10.903$, gl=1, p=0,0010	z= -3,302; Prob > z = 0,0010
Crianças e jovens	$X^2=12.050$, gl=1, p=0,0005	z= 3,471; Prob > z = 0,0005
Renda total	$X^2=14.516$, gl=1, p=0,0001	z= -3,810; Prob > z = 0,0001
Renda per capita	$X^2= 9.550$, gl=1, p=0,0020	z= -3,090; Prob > z = 0,0020
Pobreza	$X^2=11.327$, gl=1, p=0,0008	z= 3,366; Prob > z = 0,0008
Alfabetizados	$X^2=14.840$, gl=1, p=0,0001	z= -3,852; Prob > z = 0,0001
Geladeira	$X^2=19.013$, gl=1, p=0,0001	z= -4,361; Prob > z = 0,0000
Televisão	$X^2=13.254$, gl=1, p=0,0003	z= -3,641; Prob > z = 0,0003
Rádio	$X^2=17.921$, gl=1, p=0,0001	z= -4,233; Prob > z = 0,0000
Celular	$X^2=19.013$, gl=1, p=0,0001	z= -4,361; Prob > z = 0,0000
População ocupada	$X^2= 8.165$, gl=1, p=0,0043	z= -2,860; Prob > z = 0,0042
Esgotamento sanitário	$X^2= 8.414$, gl=1, p=0,0037	z= -2,930; Prob > z = 0,0034

Nota: foi feito o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov em todas as variáveis e, em função da conclusão deste teste, foram feitos os demais testes: t de Student, quando os dados seguiam uma distribuição normal, ou Kruskal-Wallis e Mann-Whitney, quando rejeitou-se a hipótese nula de normalidade dos dados. A presente nota também é válida para as tabelas 15 e 16.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo em vista a rejeição da hipótese nula de igualdade entre as médias, as 13 variáveis citadas apresentaram diferenças entre as comunidades rurais e urbanas. A quantidade de domicílios e de moradores das comunidades urbanas foi maior que a das comunidades rurais em 2010; por outro lado, a quantidade de crianças e jovens das comunidades rurais foi maior do que a das comunidades urbanas no mesmo ano.

No que se refere às variáveis socioeconômicas de 2010, a renda total e a renda *per capita* das comunidades urbanas foi maior que a das rurais, enquanto a variável pobreza, como era esperado, foi maior nas comunidades rurais. As comunidades que apresentaram melhores condições com relação à renda total domiciliar foram Vila Ildemar (R\$4,4 milhões) no município de Açailândia, no Maranhão; Km 7 (aproximadamente R\$1,8 milhão), em Marabá, no Estado do Pará; e Pedrinhas (R\$1,4 milhão), em São Luís-MA.

Vale ressaltar que essas eram as três comunidades com maior população nesse ano, o que contribui como justificativa para tais valores.

Em contrapartida, em 2010, as comunidades maranhenses Atraca, no município de Tufilândia, Cariongo 3, em Miranda do Norte e São Benedito, em Igarapé do Meio, apresentaram as menores rendas totais, R\$23 mil, R\$55 mil e R\$64 mil, respectivamente. As duas últimas estavam entre as três comunidades com menor população no mesmo ano.

Com relação à renda domiciliar *per capita*, em 2010, as comunidades Km 7 em Marabá, Pará, e Fumacê, em São Luís, Maranhão, apresentaram os maiores valores, com R\$422 e R\$360 respectivamente. Por outro lado, as comunidades com as menores rendas domiciliares *per capita* em 2010 foram Atraca (R\$95), no município de Tufilândia; Monge Belo (R\$100), no município de Anajatuba; e Nova Vida (R\$103), em Bom Jesus das Selvas, todas no Estado do Maranhão.

Ainda em 2010, as comunidades São Benedito, em Igarapé do Meio; Atraca, em Tufilândia; e Nova Vida, em Bom Jesus das Selvas, as três no Estado do Maranhão, apresentaram respectivamente 32%, 30% e 27% de seus domicílios em estado de pobreza, com renda domiciliar *per capita* de até R\$64 reais, ou seja, 1/8 do salário mínimo (R\$510 reais).

A quantidade de alfabetizados, de população economicamente ativa ocupada e de domicílios com esgotamento sanitário foi maior nas comunidades urbanas em detrimento das rurais. Da mesma forma, no que se refere à existência de bens duráveis, a quantidade de geladeiras, televisões, rádios e celulares das comunidades urbanas também foi maior do que nas comunidades rurais em 2010. Nesse ano, as comunidades Vila Conceição (25%), Km 7 (25%) e Fumacê (24%) foram as que apresentaram maior quantidade de alfabetizados responsáveis pelo domicílio. Já Cariongo 3 (4%), APA do Gelado (12%), Nova Vitória (12%) e São Benedito (12%), foram as comunidades com a menor quantidade de responsáveis alfabetizados.

Em 2017, apenas oito variáveis tiveram resultados estatisticamente significantes a 5% (tabela 15). Delas, apenas duas seguiram uma distribuição normal: crianças e jovens e esgotamento sanitário, e por isso realizamos o teste paramétrico t de Student, que demonstrou que a quantidade de crianças e jovens foi novamente maior nas comunidades rurais em detrimento das urbanas, ocorrendo o oposto em relação a quantidade de domicílios com esgotamento sanitário.

Nas outras seis variáveis - domicílios, moradores, renda total, renda per capita, celular e motocicleta – rejeitamos a hipótese nula de normalidade e, portanto, realizamos

os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e Man-Whitney. Estes dois últimos testes demonstraram que com relação aos bens duráveis, a quantidade de celulares das comunidades urbanas foi maior, enquanto a quantidade de motocicletas foi maior nas comunidades rurais. Já a quantidade de domicílios, de moradores, a renda total e a renda *per capita* das comunidades urbanas foi novamente maior do que a das comunidades rurais.

Tabela 15 Resultados dos testes estatísticos das diferenças de médias entre as comunidades urbanas e rurais em 2017

Variável	Teste Kruskal-Wallis	Teste Mann-Whitney
Domicílios	$X^2=7.806$, $gl=1$, $p=0,0049$	$z= -2,812$; Prob > $ z = 0,0049$
Moradores	$X^2=7.340$, $gl=1$, $p=0,0067$	$z= -2,710$ Prob > $ z = 0,0067$
Renda total	$X^2=9.290$, $gl=1$, $p=0,0023$	$z= -3,048$; Prob > $ z = 0,0023$
Renda <i>per capita</i>	$X^2=9.814$, $gl=1$, $p=0,0017$	$z= -3,133$; Prob > $ z = 0,0017$
Celular	$X^2=5.323$, $gl=1$, $p=0,0210$	$z= -2,312$; Prob > $ z = 0,0208$
Motocicleta	$X^2=10.625$, $gl=1$, $p=0,0011$	$z= 3,262$; Prob > $ z = 0,0011$

Nota: Em 2017, entre as variáveis que apresentaram resultados significantes a 5%, apenas *crianças e jovens* e *esgotamento sanitário* tinham distribuição normal e, portanto, realizamos o teste t de student, apresentando os resultados $\Pr(T > t)=0,0228$; $t=2,09$ e $\Pr(T < t)=0,0318$; $t=-1,96$, respectivamente.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em 2017, Vila Ildemar manteve-se com a maior renda total entre as 32 comunidades (R\$411 mil), seguida por Palmares II (R\$256 mil), em Parauapebas-PA, e Km 7 (R\$225 mil), no município de Marabá-PA. As três comunidades estão localizadas em importantes municípios da ferrovia do ponto de vista econômico. Açailândia, que abriga a comunidade Vila Ildemar é o município com o quarto maior PIB no Estado do Maranhão; da mesma forma, Parauapebas e Marabá, que abrigam as comunidades Palmares II e Km 7 têm o segundo e terceiro maior PIB do Pará (IBGE, 2020), sendo dois dos mais importantes municípios da região sudeste do Estado, onde há grande desenvolvimento da mineração industrial.

No mesmo ano, as comunidades com as menores rendas totais foram novamente Cariongo 3 (R\$4,2 mil) e São Benedito (R\$4,4 mil), ambas estavam entre as cinco

comunidades com menor população em 2017. Nesse ano, as comunidades com maior renda domiciliar *per capita* foram Bairro Araguaia, em Marabá-PA (R\$544), Vila Conceição (R\$501) e Gapará (R\$455) ambas em São Luís-MA. Por outro lado, Monge Belo (R\$96), em Anajatuba, continuou no ranking das três comunidades com piores rendas domiciliares per capita, seguida por São Benedito (R\$127), em Igarapé do Meio, e Cariongo 3 (R\$128) em Miranda do Norte, novamente todas no Estado do Maranhão.

Com relação à variação percentual dos dados das variáveis estudadas entre os anos de 2010 e 2017, apenas nove variáveis tiveram resultados estatisticamente significantes a 5% (tabela 16). Dessas nove variáveis, apenas a variável naturais da UF apresentou distribuição normal e portanto foi testada a partir do teste paramétrico t de Student, que identificou que a variação percentual de naturais da UF das comunidades urbanas foi maior do que a das comunidades rurais no período analisado.

Tabela 16 Resultados dos testes das diferenças nas variações médias das comunidades urbanas e rurais entre 2010 e 2017

Variável	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney
Renda total	$X^2=13.565$, $gl=1$, $p=0,0002$	$z = 3,683$ Prob > $ z = 0,0002$
Pobreza	$X^2=5.823$, $gl=1$, $p=0,0158$	$z = -2,413$ Prob > $ z = 0,0158$
Alfabetizados	$X^2=15.500$, $gl=1$, $p=0,0001$	$z = 3,937$ Prob > $ z = 0,0001$
Geladeira	$X^2=11.470$, $gl=1$, $p=0,0007$	$z = 3,387$ Prob > $ z = 0,0007$
Televisão	$X^2=6.778$, $gl=1$, $p=0,0092$	$z = 2,604$ Prob > $ z = 0,0092$
Celular	$X^2=11.470$, $gl=1$, $p=0,0007$	$z = 3,387$ Prob > $ z = 0,0007$
Motocicleta	$X^2=10.081$, $gl=1$, $p=0,0015$	$z = 3,175$ Prob > $ z = 0,0015$
Esgotamento sanitário	$X^2=5.073$, $gl=1$, $p=0,0243$	$z = 2,252$ Prob > $ z = 0,0243$

Nota: Entre as variáveis que apresentaram resultados significantes a 5%, apenas *naturais da UF* tinham distribuição normal e, portanto, realizamos o teste t de Student, apresentando o resultado $Pr(T < t) = 0.0279$; $t = -1.9954$.

Fonte: Elaborado pela autora.

Durante esse período, 15 comunidades apresentaram uma redução da quantidade de responsáveis pelo domicílio nascidos na Unidade da Federação na qual ele estava

localizado. Nova Jerusalém e APA do Gelado, ambas localizadas no Estado do Pará, nos dois municípios onde se concentram as principais minas do território – Canaã dos Carajás e Parauapebas –, foram as comunidades que apresentaram a maior queda nessa variável, o que indica um aumento dos fluxos migratórios para esses locais.

As comunidades do Estado do Pará, mais especificamente nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Marabá, foram as que mais possuíam moradores originários de outros Estados. Esses municípios são referência no contexto socioeconômico do território da EFC e, em sua maioria, fatores econômicos foram os motivos que originaram os movimentos locais para essas comunidades (SANTOS *et al.*, 2019). Das nove comunidades localizadas nesses três municípios, apenas três eram urbanas.

Sobre as demais oito variáveis realizamos os testes não paramétricos. Como resultado dos testes das variações percentuais dos dados das variáveis citadas entre 2010 e 2017, identificamos que as variações de renda total, pobreza, alfabetizados e esgotamento sanitário foram maiores nas comunidades rurais do que nas urbanas entre esses anos. Com relação às variáveis de bens duráveis que foram significantes, a variação percentual da quantidade de geladeiras, celulares e motocicletas das comunidades rurais foi maior que a das urbanas, enquanto apenas a variação percentual da variável televisão das comunidades urbanas foi maior entre 2010 e 2017.

As comunidades APA do Gelado, localizada em Parauapebas, no Pará, e a comunidade Nova Vida, localizada em Bom Jesus das Selvas, no Maranhão, apresentaram uma queda de 100% na quantidade de domicílios em situação de pobreza entre os dois períodos analisados. Esta última chama atenção por ter feito parte das três comunidades com maior número de domicílios em situação de pobreza em 2010, tendo apresentado uma melhora significativa nesse período de quase uma década.

A partir da análise dos dados, ficou claro também o aumento significativo da taxa de alfabetizados entre 2010 e 2017. A comunidade Cariongo 3 teve um aumento de mais de 15 vezes na taxa de alfabetizados, seguida pelas comunidades São Benedito e Nova Vitória, que aumentaram essa taxa em mais de 8 vezes.

Apenas as variáveis renda total, quantidade de celulares e esgotamento sanitário foram significantes nos três períodos analisados. No que se refere à variável esgotamento sanitário, as comunidades Primeiro Cocal, Piquiá de Baixo, Atraca, Cariongo 3, Vila Jacu e Vila Conceição, que não possuíam nenhum domicílio com esgotamento sanitário da rede pública em 2010, passaram a ter esse serviço em 2017. A comunidade Vila

Conceição merece destaque por ter apresentado um aumento de 100% na quantidade de domicílios com esgotamento sanitário, ou seja, todos os domicílios entrevistados em 2017 tinham o esgotamento via rede pública. No geral, todas as comunidades apresentaram uma melhora nesse indicador.

4.3.2. Análise da Dimensão Ambiental

A análise dos dados relativos à cobertura vegetal na EFC durante o período 2010-2017 demonstra que nos municípios do Estado do Pará, cerca de 53% e 45% (de quase 3 milhões de hectares) da área era floresta e pastagem, respectivamente. Os outros cinco usos da terra representaram até 2% no total; no Maranhão, cerca de 54% e 42% (de cerca de 3,5 milhões de hectares) da área eram, ao contrário do Pará, pastagens, e floresta, respectivamente, com os outros cinco usos da terra responsáveis por cerca de 5% da área.

Conseqüentemente, os mapas de ocupação do solo na ferrovia entre 2010 e 2017 não se alteram significativamente, considerando que os municípios da ferrovia de Carajás tinham grandes áreas desmatadas já em 2010 (aproximadamente 41.000 km²). Como mostram os mapas, tanto em 2010 como em 2017, a maior parte do território da EFC foi representada por áreas de pastagem, exceto terras indígenas, áreas protegidas, e algumas florestas fragmentadas remanescentes. Os mapas abaixo esclarecem a predominância de pastagens no território, seguidas por áreas florestais, em detrimento das outras classes de ocupação do solo apresentadas para os dois períodos, primeiro para o lado paraense da ferrovia e em seguida para o lado maranhense (Figuras 22, 23, 24 e 25).

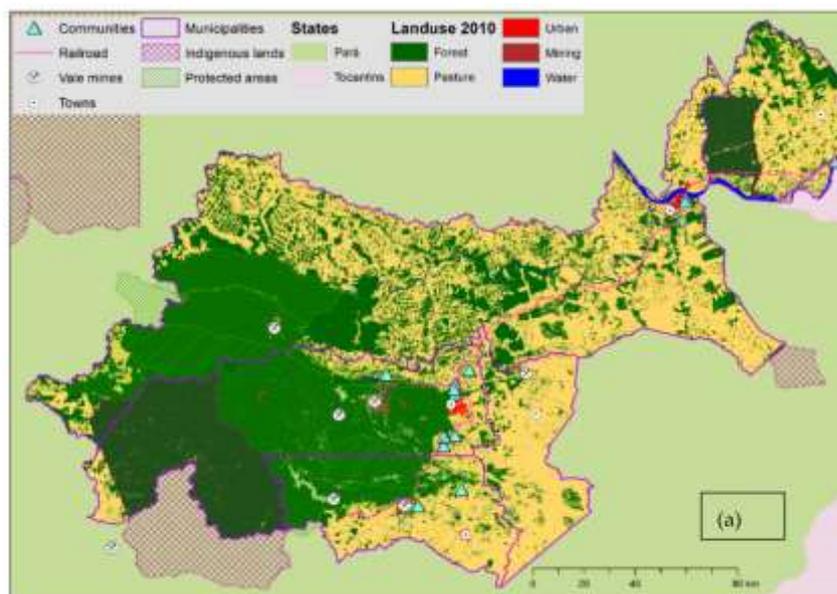


Figura 22. Mapa da cobertura do solo do lado paraense da EFC em 2010 (MapBiomias).

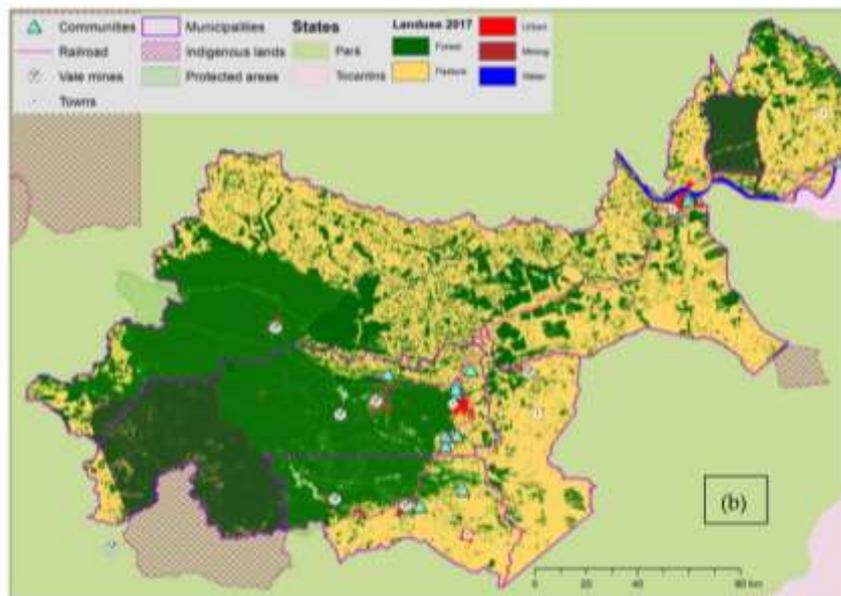


Figura 23. Mapa da cobertura do solo do lado paraense da EFC em 2017 (MapBiomias)

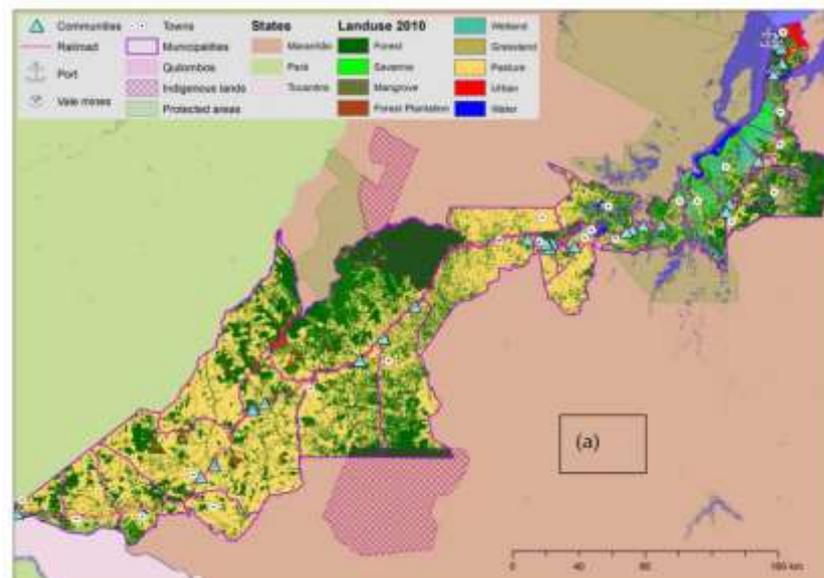


Figura 24. Mapa da cobertura do solo do lado maranhense da EFC em 2010 (MapBiomias)

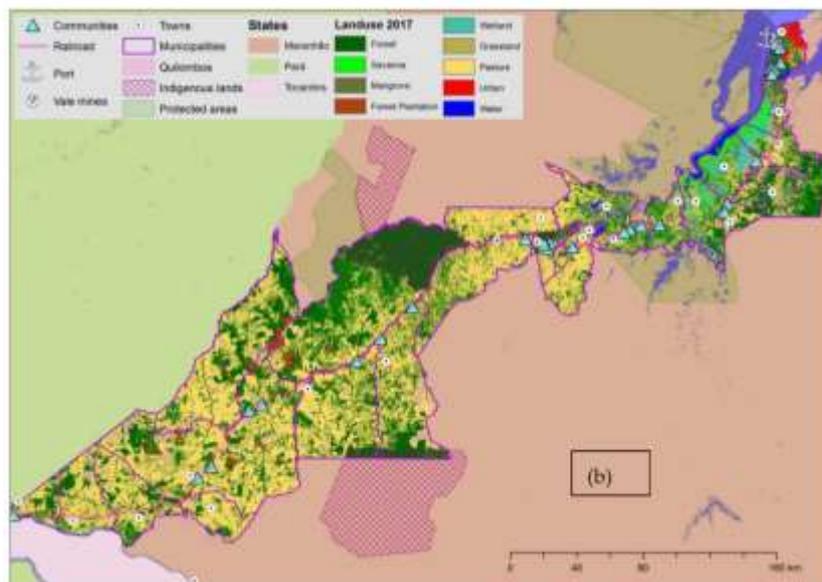


Figura 25. Mapa da cobertura do solo do lado maranhense da EFC em 2017 (MapBiomass)

Os mapas acima expostos, obtidos através da plataforma MAPBIOMAS (<https://mapbiomas.org/>) foram complementados com a análise das imagens do Google Earth, em escala detalhada, possibilitando a análise em nível comunitário. A análise ambiental permitiu constatar diferentes resultados entre as comunidades. As comunidades Assentamento Agroplanalto, Tropical I, Tropical II e Nova Ipiranga, e Nova Vitória, a primeira em Açailândia, no Maranhão, e as duas últimas no município de Parauapebas, no Pará, foram as que apresentaram maiores alterações no uso e cobertura do solo entre 2010 e 2017. As duas primeiras foram criadas nesse período, o que gerou grande alteração nas áreas em que foram implantadas. As imagens apresentadas a seguir representam alguns exemplos entre aquelas analisadas.

Na análise da imagem de 2011 da comunidade Tropical I, II e Jardim Ipiranga (figura 21a), só se via uma grande área de pastagem/vegetação rasteira, com alguns pontos no entorno voltados a atividades industriais. Em 2017, toda a área de pastagem estava totalmente ocupada por domicílios (figura 21b), podendo ser identificada uma expansão de 100% da comunidade, além da presença do ramal ferroviário do Sudeste do Pará, a leste da mesma.



Figuras 26a e 26b. Área da comunidade Tropical I, Tropical II e Nova Ipiranga, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2017, respectivamente (Google Earth).

Tanto a comunidade Nova Vitória como a comunidade Tropical I, II e Nova Ipiranga estão localizadas entre o ramal ferroviário do Sudeste do Pará e a EFC. Infere-se que a expansão da primeira e a criação da segunda estejam relacionadas à instalação do ramal, que ocorreu de forma paralela, ligando a mina em Canaã dos Carajás à EFC, em Parauapebas. A expansão e significativa alteração na cobertura do solo nas áreas dessas comunidades, incluindo a supressão da vegetação e aumento da ocupação humana, são coerentes com as alterações verificadas na análise dos dados socioeconômicos e demográficos das mesmas. A comunidade Nova Vitória, por exemplo, foi a que apresentou maior taxa de crescimento populacional no período estudado, o que é comprovado a partir da análise das imagens de 2010 e 2017 (figuras 22a e 22b).



Figuras 27a e 27b. Área da comunidade Nova Vitória, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2017, respectivamente (Google Earth).

Além da comunidade Nova Vitória, as comunidades Periz de Cima e Km 7 ocuparam o ranking das três comunidades com as maiores taxas de crescimento. Entre as

três comunidades, apenas Km7 (figuras 23a e 23b) é diretamente atravessada pela ferrovia, apesar de Periz de Cima estar localizada bem próxima da mesma.



Figuras 28a e 28b. Área da comunidade Km 7, em Marabá (PA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente (Google Earth).

Além das três comunidades citadas anteriormente, vale destacar as comunidades Bairro Araguaia (figuras 24a e 24b), Palmares II (figuras 25a e 25b) e Palmares Sul (figuras 26a e 7b), todas no Estado do Pará, também estão entre as 10 comunidades com maiores taxas de crescimento. Isso foi confirmado a partir da análise das imagens das mesmas, pois identificou-se considerável expansão do número de domicílios e consequente redução da cobertura vegetal para área de pastagem.



Figuras 29a e 29b. Área da comunidade Bairro Araguaia, em Marabá (PA), nos anos de 2011 e 2017 respectivamente (Google Earth).

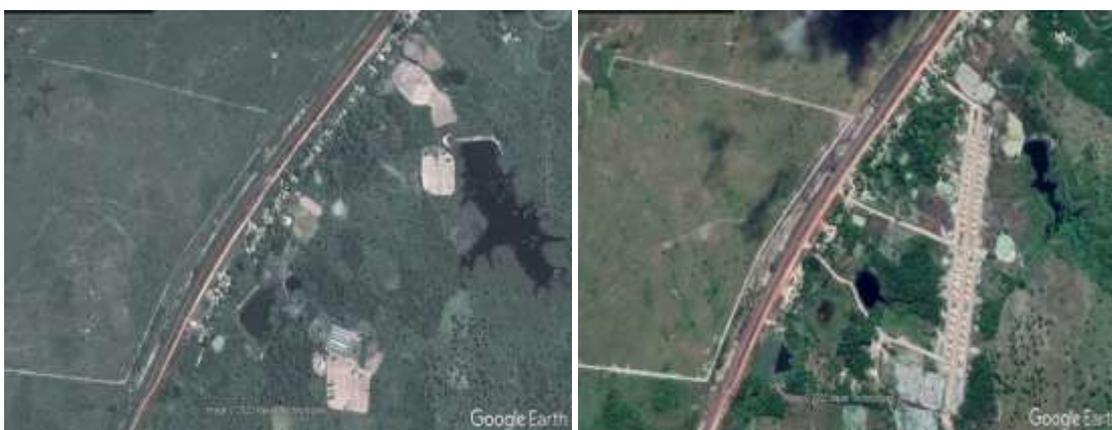


Figuras 30a e 30b. Área da comunidade Palmares II, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2018 respectivamente (Google Earth).



Figuras 31a e 31b. Área da comunidade Palmares Sul, em Parauapebas (PA), nos anos de 2011 e 2017 respectivamente (Google Earth).

Outras comunidades, como Vila Pindaré e Cariongo 3 praticamente não apresentaram mudança no ponto de vista demográfico, informação confirmada com a análise das imagens, apesar de a segunda ter apresentado consideráveis alterações na cobertura do solo com redução da cobertura vegetal principalmente na porção leste, onde foi construído o que aparenta ser um conjunto habitacional (figuras 27a e 27b). Os dados socioeconômicos mostram, inclusive, pequena redução da taxa de crescimento nas mesmas, assim como nas comunidades Nova Vida e São Benedito, todas rurais. Entre as quatro comunidades citadas, apenas São Benedito não é atravessada diretamente pela Ferrovia.



Figuras 32a e 32b. Área da comunidade Cariongo 3, em Miranda do Norte (MA), nos anos de 2011 e 2017 respectivamente (Google Earth).

As comunidades Atraca e Piquiá de Baixo não apresentaram grandes alterações na cobertura do solo entre 2010 e 2017, informação confirmada através da análise dos dados demográficos que demonstram que ambas apresentaram baixo crescimento populacional. No caso de Atraca (figuras 28a e 28b), houve pequeno aumento no número de domicílios nesse período, inclusão de algumas vias e reduções pontuais da cobertura vegetal. A comunidade Piquiá de Baixo (figuras 29a e 29b) já possuía área extremamente antropizada desde 2011, conforme se vê na imagem, já nesse período, havia poucos pontos cobertos por vegetação, caracterizando claramente uma zona de atividade industrial.



Figuras 33a e 33b. Área da comunidade Atraca, em Tufilândia (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente (Google Earth).



Figuras 34a e 34b. Área da comunidade Piquiá de Baixo, em Açailândia (MA), nos anos de 2011 e 2017 respectivamente (Google Earth).

Os resultados mostram a grande maioria das comunidades apresentam alterações coerentes entre os indicadores socioeconômicos e as imagens de satélite. No geral, as comunidades do lado maranhense da ferrovia quase sempre aparecem entre aquelas com piores indicadores socioeconômicos, com destaque às comunidades Cariongo 3, São Benedito e Atraca – que também estão entre as menores e menos habitadas comunidades – localizadas nos municípios de Miranda do Norte, Igarapé do Meio e Tufilândia, respectivamente, deixando claro que essas comunidades estão diante de maiores dificuldades para se alcançar a sustentabilidade. Esse quadro deixa claro a necessidade de se implementar ações que possibilitem a redução de riscos, o aumento da resiliência das comunidades, buscando sempre alcançar condições mais sustentáveis (CHASKIN, 2008; MAGIS, 2010; BERKES & ROSS, 2013).

As diferentes visões e estudos sobre Amazônia chamam a atenção para sua porção oriental, onde a atividade minerária está diretamente atrelada à realidade dos municípios e

da população residente (MORAN *et al.*, 1996; HOLMES *et al.*, 2002; SOUZA-FILHO *et al.*, 2019). O diagnóstico desse estudo confirma a importância da realização de estudos envolvendo não só os municípios, mas as comunidades influenciadas pelas atividades minerárias, e evidencia a necessidade de ações voltadas ao alcance de condições mais sustentáveis nas mesmas, considerando que as análises feitas demonstraram que ainda se faz predominante uma condição de (in)sustentabilidade em grande parte das comunidades estudadas.

Os principais resultados da pesquisa mostraram que as comunidades urbanas apresentam melhores condições socioeconômicas (por exemplo, renda mais alta e baixa pobreza) do que as comunidades rurais. Simultaneamente, as comunidades do lado maranhense da ferrovia apresentam piores condições socioeconômicas do que as do Pará, exceto as que estão próximas aos grandes centros urbanos. Estas disparidades podem ser entendidas a partir da análise de estudos anteriores sobre a região amazônica, que demonstram que as condições de vida da população são também o efeito da formação histórica dos municípios da região amazônica. Já as condições ambientais das comunidades estão diretamente relacionadas à sua localização em relação à ferrovia, independentemente de serem urbanas ou rurais.

Com base neste capítulo, a terceira hipótese desta pesquisa foi aceita a partir da análise dos dados socioeconômicos e imagens de satélite. A localização das comunidades ao longo da ferrovia está relacionada às formas de uso e ocupação da terra no território, e tal localização influencia diretamente as condições de vida da população local, uma vez que as comunidades localizadas muito próximas à ferrovia, ou atravessadas por ela, são geralmente aquelas que tiveram as mudanças mais significativas na cobertura e uso da terra e a maior variação nos indicadores socioeconômicos.

Em 2010, das vinte variáveis testadas, treze apresentaram resultados estatisticamente significantes, ou seja, apresentaram diferenças entre as comunidades urbanas e rurais. Dessas treze variáveis significantes, onze identificaram as comunidades urbanas como aquelas que tiveram maiores médias, enquanto as comunidades rurais apresentaram maiores médias em apenas duas variáveis: quantidade de crianças e jovens e quantidade de domicílios em estado de pobreza.

Em 2017, das vinte variáveis testadas, apenas oito variáveis apresentaram resultados estatisticamente significantes. Ou seja, doze variáveis podem ser consideradas semelhantes entre as comunidades urbanas e rurais nesse ano. Das oito variáveis que apresentaram diferenças entre as comunidades urbanas e rurais, seis identificaram as

comunidades urbanas como as que tiveram as maiores médias, enquanto as comunidades rurais tiveram maiores médias em apenas duas variáveis: quantidade de crianças e jovens e quantidade de domicílios com motocicletas.

Na análise da variação percentual das variáveis entre os anos de 2010 e 2017, das vinte variáveis analisadas, apenas nove apresentaram resultados estatisticamente significantes, ou seja, apresentaram diferenças entre as variações das comunidades urbanas e rurais. Dessas, sete variáveis apresentaram maiores variações percentuais entre as comunidades rurais, enquanto duas apresentaram as maiores variações entre as comunidades urbanas: quantidade de naturais da UF e quantidade de domicílios com televisão.

Há uma ausência de estudos relativos ao uso do solo e mudanças das condições socioeconômicas na região da EFC, assim como em outras regiões do mundo influenciadas por esse tipo de infraestrutura. Santos *et al.* (2020) são um dos poucos com uma abordagem similar com foco na região; entretanto, abordam as mudanças no uso do solo resultantes do Projeto de Mineração de Carajás. Esses autores identificaram uma redução considerável na área de cobertura vegetal na região entre 1984 e 2014 e a expansão da área não florestal, ou pastagem, confirmando o que foi observado na análise de imagens de satélite no presente estudo. Por outro lado, Desalegn *et al.* (2014), ao estudarem as mudanças no uso da terra e as condições socioeconômicas em uma comunidade de Wetabecha Minjaro, no planalto central da Etiópia, entre 1975 e 2014, concluíram que houve um aumento nas plantações e uma diminuição considerável na quantidade de pastagem na área, o que não estava ligado a uma melhoria nas condições socioeconômicas locais, contrastando com as constatações do presente estudo.

5. Conclusão e Pesquisas Futuras

Estudos sobre regiões que sediam grandes empreendimentos, populações afetadas por grandes projetos, ou sobre essas estruturas em si, têm sido cada vez mais desenvolvidos ao redor do mundo, inclusive no Brasil. Quando falamos especificamente de Amazônia, a necessidade e importância do desenvolvimento desse tipo de pesquisa se tornam ainda maior, considerando a complexidade dessa região, seja por questões ambientais, em função de sua grande biodiversidade, seja pela grande quantidade de atores envolvidos nas mais diversas questões que envolvem este território.

Com base nos resultados aqui apresentados compreende-se a importância desse tipo de estudo. Este trabalho, em especial, diferencia-se dos demais ao apresentar

informações para todos os municípios do território da EFC, definindo seus índices de vulnerabilidade, ao mesmo tempo em que apresenta a distribuição e correlação espacial deles no território, demonstrando as influências que determinados municípios podem ter sob outros. Além da análise da vulnerabilidade, o presente estudo preenche outra importante lacuna na literatura ao apresentar uma análise sobre as condições socioeconômicas em escala detalhada, em nível de comunidades, analisando ao mesmo tempo, as mudanças na cobertura do solo na região da EFC através de imagens de satélite.

Esta pesquisa demonstra a relevância de análises em escalas mais detalhadas, especialmente quando consideramos a importância econômica do território e conseqüentemente sua influência social e ambiental em cada município e comunidade de forma mais ou menos intensa. Ao avaliar a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental dos municípios que constituem o território da EFC através da construção de um índice utilizando a ACP, ao mesmo tempo em que apresenta uma análise do uso e cobertura do solo e das condições socioeconômicas de 32 comunidades localizadas no mesmo território, este estudo considerou de forma fiel as três dimensões da sustentabilidade. O índice construído foi ponderado espacialmente usando uma matriz de contiguidade dos municípios da EFC. A análise do índice foi feita para os níveis e as mudanças ao longo dos subperíodos que se estenderam por aproximadamente 30 anos.

Vários estudos anteriores sobre o território da EFC apresentam limitações. Alguns ignoram o papel do espaço e da localização para a vulnerabilidade do município. Outros enfocam poucos aspectos das principais dimensões da sustentabilidade, cobrem pequenos períodos ou até mesmo fazem análises de seção transversal. O presente estudo é inovador pois, utilizando técnicas estatísticas e cartográficas - ACP e I de Moran, por exemplo -, constrói um índice de vulnerabilidade composto de muitos aspectos de dimensões de sustentabilidade para todos os municípios no território da EFC e analisa a distribuição espacial e a correlação do índice de vulnerabilidade na região, demonstrando assim como as interações espaciais entre os municípios podem afetar sua vulnerabilidade.

Duas das três hipóteses dessa pesquisa foram rejeitadas. A hipótese 1 afirma que os municípios da região observam vulnerabilidades semelhantes e, portanto, foi rejeitada, considerando que, embora o contexto histórico da região da EFC seja semelhante, o índice de vulnerabilidade varia entre os municípios. A hipótese 2 afirma que há uma dissociação entre as vulnerabilidades dos municípios e sua localização geográfica, ou seja, seus municípios vizinhos. Esta hipótese foi rejeitada, pois a localização geográfica

desempenha um papel fundamental para a vulnerabilidade no território – medida e ponderada espacialmente – e sua mudança, ou seja, há influência da vizinhança. Por outro lado, a hipótese 3 foi aceita, já que afirma que a localização das comunidades ao longo da ferrovia está associada aos tipos de uso e ocupação do solo no território e influencia as condições de vida dos habitantes locais, o que foi confirmado através deste estudo.

A partir da análise dos resultados desta pesquisa, conclui-se que, no geral, São Luís, Parauapebas, Marabá e Santa Inês são os municípios menos vulneráveis do território ferroviário, enquanto os mais vulneráveis são Anajatuba, Monção, Igarapé do Meio, Alto Alegre do Pindaré e Bom Jardim, logo, a maior vulnerabilidade encontra-se no lado maranhense da ferrovia. Ao mesmo tempo, através da análise das condições socioeconômicas e da mudança na cobertura do solo do território, também ficou claro que as comunidades localizadas no lado maranhense da ferrovia encontram-se em situação menos sustentável quando comparadas àquelas do lado paraense. E, novamente, os municípios de São Luís, Parauapebas e Marabá se destacam, agora juntamente com Canaã dos Carajás e Açailândia, por possuírem as comunidades com as melhores condições socioeconômicas no período analisado.

A análise da vulnerabilidade a partir de dados socioeconômicos e ambientais de municípios, em conjunto com a análise das condições socioeconômicas de comunidades e análise de imagens de satélite em períodos definidos, pode subsidiar ações com o objetivo de reduzir situações de risco e aumentar a resiliência e sustentabilidade dos municípios e comunidades no território da EFC, seja através de políticas públicas ou iniciativas privadas, a fim de possibilitar a construção de municípios menos vulneráveis e comunidades mais sustentáveis. A partir da identificação de municípios e comunidades prioritárias para receber intervenções, os resultados desta pesquisa podem apoiar ações mais eficazes e permitir intervenções mais eficientes por parte dos mais diversos atores.

As análises aqui apresentadas demonstraram que é fundamental levar em conta a dimensão espacial de forma integrada na análise da vulnerabilidade, já que foi constatada uma alta correlação espacial para as mudanças de vulnerabilidade ao longo do tempo e nos níveis, com os municípios formando aglomerados de acordo com seu grau de vulnerabilidade. Estas constatações sustentam a riqueza da utilização de indicadores nas dimensões social, econômica e ambiental de sustentabilidade na análise de vulnerabilidade.

Em pesquisas futuras, pretende-se ampliar este estudo. O esforço será visando o desenvolvimento de um IVSA em uma escala mais detalhada, focalizando as

comunidades rurais (muitas diretamente afetadas pela EFC) localizadas nos municípios analisados. Isto pode ser feito através de uma integração entre dados primários (obtidos por uma pesquisa de campo) e dados secundários (usando dados em nível censitário, a menor unidade territorial nos conjuntos de dados do IBGE). Esta abordagem poderá garantir uma avaliação de características refinadas nas três principais dimensões de sustentabilidade consideradas no presente estudo.

Como permitiram identificar os municípios e comunidades prioritárias para receber intervenções, os resultados desta pesquisa podem (i) apoiar ações mais eficazes e eficientes com o objetivo de reduzir as vulnerabilidades na área de estudo; e (ii) permitir intervenções mais eficientes por parte dos gestores locais, empresas e outras partes interessadas que identificarão os problemas prioritários a serem resolvidos, pois estarão cientes de que seu desempenho ocorre em um contexto de *clusters* de vulnerabilidade identificados nesta pesquisa, respondendo assim, parcialmente, aos desafios de construção de um território EFC mais sustentável.

Pesquisas futuras poderão garantir uma atualização dos dados, possibilitando uma maior abrangência temporal, além da inserção de novas variáveis que venham a ser disponibilizadas, garantindo o enriquecimento da análise. No caso da escala comunitária, a inserção de novas comunidades também deve ser levada em consideração a fim de garantir a abrangência do maior número possível de comunidades. A constante atualização ou melhoria destas pesquisas garantirão ações constantes que acompanharão a evolução das condições dos municípios e das comunidades, garantindo um território menos vulnerável e mais sustentável na EFC.

6. Referências

- ABDALLAH, S. *et al.* *The Happy Planet Index 2.0: Why good lives don't have to cost the Earth*. London, New Economics Foundation, 2009. Disponível em: <<https://repository.uel.ac.uk/item/863q0>>. Acesso em: 11 jun. 2021.
- ADGER, W.N. "Vulnerability". *Global Environmental Change*, v. 16, pp. 268–281, 2006.
- AGÊNCIA BRASIL. *Produção do setor mineral cresce 7% em 2021 e faturamento aumenta 62%*. 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-02/producao-do-setor-mineral-cresce-7-em-2021-e-faturamento-aumenta-62>>. Acesso em: 13 out. 2022.
- ALBUQUERQUE, P. H. M. *Curso de Econometria Espacial Aplicada*. Fortaleza: IPECE, 2009.
- ALHEIROS, M. M. "Gestão de riscos geológicos no Brasil". *Revista Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental*, v.1, pp. 109-122, 2011.
- ALMEIDA, E. S.; HADDAD, E. A.; HEWINGS, G. J. D. "The spatial pattern of crime in Minas Gerais: an exploratory analysis". *Economia Aplicada*, v. 9, n. 1, pp.1-27, 2005.
- ALMEIDA, L. Q. de. *Vulnerabilidade socioambiental de rios urbanos: bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho região metropolitana de Fortaleza-Ceará*. Tese de doutorado. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2010.
- ALVES, C. D. *et al.* "Análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intra-urbana". In: *IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS*. Anais. Brasília, 2008.
- ALWANG, J., SIEGEL, P. B., & JORGENSEN, S. L. *Vulnerability: A view from different disciplines*. Washington, DC: World Bank Social Protection Discussion Paper Series, No. 115, 2001.
- AMADO, M. P. *Planejamento urbano sustentável*. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 234 p, 2005.
- AMARAL, P. *et al.* "Regional imbalances and market potential in Brazil". *Spatial Economic Analysis*, v. 5, n. 4, pp. 463-482, 2010.

ANDRADE, R. P. “Conquistar a terra, dominar a água, sujeitar a floresta”: Getúlio Vargas e a revista “Cultura Política” redescobrem a Amazônia (1940-1941). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*. Belém, v. 5, n. 2, p. 453-468, 2010.

ANSELIN, L. “Local Indicators of Spatial Association – LISA”. *Geographical Analysis*. v.27, n.2, pp. 93-115, 1995.

ANTT, Agência Nacional de Transportes Terrestres. Anuário Estatístico de Transportes, 201-2021. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <<https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2022/08/Anuario-Estatistico-2010-2021-Formatado-29.07.2022-16h03.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2022.

ARAÚJO, E.C. *Análise da produtividade da soja associada a fatores agrometeorológicos, por meio de estatística espacial de área, na região oeste do estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel/PR. 2012.

ARAÚJO, E. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. “Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região oeste do estado do Paraná”. *Engenharia. Agrícola*, v. 34, n. 2, pp. 286-299, 2014.

ARAÚJO, C. R., SANTOS, C. R., NASCIMENTO, P. H. S. *Otimização do ciclo operacional de transporte dos vagões de minério da estrada de ferro Carajás – Vale*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Belém, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/31>>. Acesso em 2 mai. 2020.

ARCADIS TETRAPLAN. Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Ramal Ferroviário do Sudeste do Pará. São Paulo, Vale, 2011.

ATLAS BRASIL. Atlas do desenvolvimento humano no Brasil, 2013. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/>. Acesso em: jul. 2019.

ATKINSON, G.D., DUBOURG, R., HAMILTON, K., *et al.*, *Measuring Sustainable Development: Macroeconomics and the Environment*. Cheltenham, Edward Elgar Publishing Ltd, 1997.

AZEEM, M.M.; MUGERA, A.W.; SCHILIZZI, S.; SIDDIQUE, K.H.M. “An Assessment of Vulnerability to Poverty in Punjab, Pakistan: Subjective Choices of Poverty Indicators”. *Social Indicators Research*, v. 134, n. 1, pp. 117-152, 2017.

BAGSTAD, K. J., CERONI, M. “Opportunities and challenges in applying the Genuine Progress Indicator/Index of Sustainable Economic Welfare at local scales”. *International Journal of Environment, Workplace and Employment*, v. 3, n. 2, pp. 132-153, 2007.

BARRERA-ROLDÁN, A.; SALDÍVAR-VALDÉS, A. “Proposal and Application of Sustainable Development Index”. *Ecological Indicators*, v. 2, n. 3, pp. 251-256, 2002.

BECKER, B. K. “Geopolítica da Amazônia”. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, pp.71-86, 2005.

_____, *Amazônia*. São Paulo, Editora Ática, 1990.

_____. “Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?” *Parcerias estratégicas*, v. 6, n. 12, p. 135-159, 2010.

BECKER, B. K.; EGLER, C. *Por que a participação tardia da Amazônia na formação econômica do Brasil? Brasil: Uma nova potência regional na economia-mundo*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

BECKER, B. K.; EGLER, C. *Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia legal*. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Secretaria de Coordenação da Amazônia, 1997.

BELL, S.; ALVES, S.; DE OLIVEIRA, E. S.; & ZUIN, A. “Migration and land use change in Europe: a review”. *Living Reviews in Landscape Research*, v. 4, n. 2, pp. 1-49, 2010.

BENTES, E. S.; AMIN, M. M. “Influência do Processo Migratório no Desenvolvimento Sustentável da Amazônia”. *Movendo Idéias (UNAMA)*, Belém/PA, v. 10, pp. 9-25, 2005.

BERGSTRAND, K., MAYER, B., BRUMBACK, B. *et al.* “Assessing the Relationship Between Social Vulnerability and Community Resilience to Hazards”. *Social Indicators Research* v.122, n.2, pp. 391–409, 2015.

BERKES, F.; ROSS, H. (2013). “Community resilience: toward an integrated approach”. *Society & Natural Resources*, v. 26, n. 1, pp. 5-20, 2013.

BIRNBAUM, Z. W. *et al.* *On a use of the Mann-Whitney statistic*. In: *Proceedings of the Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Volume 1: Contributions to the Theory of Statistics. The Regents of the University of California, 1956.

BOONE, C. G. “Environmental justice, sustainability and vulnerability”. *International Journal of Urban Sustainable Development*, v. 2, pp. 135-140, 2010.

BONILLA-MOHENO, M.; AIDE, T. M.; CLARK, M. L. “The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico”. *Regional Environmental Change*, v. 12, n. 3, pp. 543-557, 2012.

BORTOLETTO, K. C., FREITAS, M. I. C., ROSSETTI, L. A. F. G., OLIVEIRA, R. B. N., & LEITE, A. “Indicadores Socioeconômicos e ambientais para a análise da Vulnerabilidade Socioambiental do município de Santos SP”. *XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento XXV Expositicarta*, pp. 1-16, 2014.

BRADSHAW, J, HOELSCHER, P, RICHARDSON, D. “An index of child well-being in the European Union”. *Social Indicators Research*, v. 80, n. 1, pp. 133–177, 2007.

BRAKMAN, S.; GARRETSEN, H.; SCHRAMM, M. “The spatial distribution of wages: estimating the Helpman – Hanson model for Germany”. *Journal of Regional Science*, Malden, MA, v. 44, n. 3, pp. 437-466, 2004.

BRAKMAN, S.; GARRETSEN, H.; VAN MARREWIJK, C. *An introduction to geographical economics*. New York: Cambridge University, 2001.

BRASIL. Lei nº 1.806, de 06 de janeiro de 1953. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia (Revogada pela lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966. Extingue a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA) e cria a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM)). Diário Oficial da União: Rio de Janeiro, RJ, 07 de jan. 1953.

BRASIL. Lei nº 13.540 de 18 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). 2017 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13540.htm>. Acesso: 12 ago. 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.407 de 12 de junho de 2018. Regulamenta o disposto no inciso VII do § 2º e no § 5º do art. 2º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9407.htm>.

Acesso: 12 agosto 2019.

BRITO, R. M. D., MATLABA, V. J., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L., & GIANNINI, T. C. “Perception of Nature’s Contributions to People in Rural Communities in the Eastern Amazon”. *Sustainability*, v.12, n.18, pp. 7665, 2020.

BUNKER, S. “Da castanha-do-pará ao ferro: os múltiplos impactos dos projetos de mineração na Amazônia brasileira”. *Novos Cadernos*, NAEA, vol. 6, n.2, 2008. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v6i2.86>.

CÂMARA, G., CARVALHO, M. S., CRUZ, O. G., & CORREA, V. *Análise espacial de áreas. Análise espacial de dados geográficos*. Brasília: EMBRAPA, 157-82, 2004.

CÂNDIDO, G.A; MAIOR, M.M.S. “Avaliação das metodologias brasileiras de vulnerabilidade socioambiental como decorrência da problemática urbana no Brasil”. *Cadernos Metrópole*, v. 16, n. 31, pp. 239-262, 2014.

CAPELATO, M. H. “O Estado Novo: o que trouxe de novo?” In: FERREIRA, J.; DELGADO, L. (Orgs.). *O Brasil Republicano: o tempo do nacional-estatismo*. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, p. 109-143, 2003.

CARDONA, O. D. “Manejo ambiental y prevención de desastres”. In: FERNÁNDEZ, M. A. (org.). *Cities at Risk. Puerto Limón, Costa Rica*, LA RED/USAID, 1996.

CARTIER, R., BARCELLOS, C., HÜBNER, C., & PORTO, M. F. “Social vulnerability and environmental risk: a methodological approach for evaluating environmental injustice”. *Cadernos de saude publica*, v. 25, n.12, pp. 2695-2704, 2009.

CARVALHO, F. P. (2017). “Mining industry and sustainable development: time for change”. *Food and Energy Security*, 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fes3.109>>. Acesso em: 3 nov. 2020.

CARVALHO, T. S. *Uso do solo e desmatamento nas regiões da Amazônia legal brasileira: condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas*. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Econômicas/UFMG. Belo Horizonte, MG, 2014.

- CHANG, C. L., & CHAO, Y. C. “Using the analytical hierarchy process to assess the environmental vulnerabilities of basins in Taiwan”. *Environmental monitoring and assessment*, v. 184, n.5, pp. 2939-2945, 2012.
- CHASKIN, R. J. “Resilience, community, and resilient communities: Conditioning contexts and collective action”. *Child Care in Practice*, v. 14, n. 1, pp. 65-74, 2008.
- CHAVES, M. P. S.; BARROS, J. F.; FABRÉ, N. N. “Conflitos Socioambientais e Identidades Políticas na Amazônia”. *Achegas. net*, n. 37, pp. 42-57, 2008.
- CLARO, P. B., CLARO, D. P., & AMÂNCIO, R. *Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações*. Vol. 43, São Paulo, 2008.
- CNM, Conselho Nacional de Mineração. *Entenda a CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais)*. Estudos Técnicos, vol. 5, 2012.
- COELHO, M. C. N.; COTA, R. G. *Dez anos da estrada de ferro Carajás*. UFPA/NAEA, 1997.
- CORTELETTI, R. C. *Proposta de metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias - estudo de caso: Estrada de Ferro Carajás (EFC)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2014.
- COSTA, J. M. D. *Redes técnicas e uso privado do território na Amazônia: o caso da Estrada de Ferro Carajás da Companhia Vale do Rio Doce (1997 a 2006)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- CONSTANZA, R. *Ecological economics: the science and management of sustainability*. New York: Columbia University Press, 1991.
- CPDOC. Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil – Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <<http://www.fgv.br/cpdoc/acervo/dicionarios/verbete-tematico/superintendencia-do-plano-de-valorizacao-economica-da-amazonia-spvea>>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- CRISTO, L. A., MATLABA, V. J., MOTA, J. A., & CARVALHO, A. X. Y. “Vulnerabilidade de comunidades no entorno de ferrovias: o caso do Ramal Ferroviário do Sudeste do Pará”. In: Sachsida, A. (Orgs.). *Políticas Públicas: Avaliando mais de meio trilhão de reais em gastos públicos*, capítulo 16, Brasília, IPEA, 2018.

CROSS, J.A. “Megacities and small towns: different perspectives on hazard vulnerability”, *Environmental Hazards*, v. 3, pp. 63–80, 2001.

CRUZ, L. N. *Características socioeconômicas de comunidades rurais e urbanas situadas na zona de influência da Estrada de Ferro Carajás (EFC)*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico Vale, Belém/PA, 2017.

CRUZ, T. L., MATLABA, V. J., MOTA, J. A., & DOS SANTOS, J. F. “Measuring the social license to operate of the mining industry in an Amazonian town: A case study of Canaã dos Carajás, Brazil”. *Resources Policy*, 101892, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101892>.

CUTTER, S. L. “Vulnerability to environmental hazards”. *Progress in human geography*, v. 20, n. 4, pp. 529-539, 1996.

_____. “A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores”. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, v. 93, pp. 59-70, 2011.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; AND SHIRLEY, W. L. “Social Vulnerability to Environmental Hazards.” *Social Science Quarterly*, v. 84, pp. 242-261, 2003.

DA SILVA, J. M. P. *Território e mineração em Carajás*. Clube de Autores, 2014.

DAMASCENO, F. G., MATLABA, V. J., DOS SANTOS, J. F., & MOTA, J. A. “Reaproveitamento de dormentes de madeira da estrada de ferro Carajás para a cogeração de energia elétrica”. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, n. 45, pp. 1-18, 2017.

DELLAGNEZZE, R. “50 anos da Conferência de Estocolmo (1972-2022) realizada pelas nações unidas sobre o meio ambiente humano”. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, pp. 12-146, 2022.

DE ALCÂNTARA, V. D. S., STRAUCH, J. C. M., & AJARA, C. “Metodologia para análise da vulnerabilidade socioambiental: estudo de caso na macrorregião da Costa Verde”. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 65, n.3, 2013.

DELGADO, B. G. *Análise da deformabilidade de um solo tropical do oeste do Maranhão como material de sublastro na estrada de ferro Carajás*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, 2012.

DE LIMA, R. A. P.; SILVA, J. M. P. “Economia mineral e os impactos nos territórios amazônicos do sudeste paraense”. *Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas*, n. 9, pp. 103-116, 2018.

DE LOYOLA HUMMELL, B. M.; CUTTER, S. L.; EMRICH, C. T. “Social vulnerability to natural hazards in Brazil”. *International Journal of Disaster Risk Science*, v. 7, n. 2, pp. 111-122, 2016.

DE MELLO, A. Y. I; TOMÁS, L. R.; ÁLVARO DE OLIVEIRA, D. “Análise de vulnerabilidades às mudanças climáticas: proposta de abordagens por setores censitários e áreas de ponderação em Caraguatatuba e Santos”. In: *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Curitiba/PR, 2011.

DE OLIVEIRA ESTEVES, C. J. “Risco e vulnerabilidade socioambiental: aspectos conceituais”. *Caderno IPARDES-Estudos e Pesquisas*, v. 1, pp. 62-79, 2011.

SENATRAN, Secretaria Nacional de Trânsito. Frota de Veículos, 2000. Disponível em: <<https://www.denatran.gov.br/estatistica/237-frota-veiculos>>. Acesso em jul. 2019.

DESALEGN, T., CRUZ, F., KINDU, M., TURRIÓN, M. B., & GONZALO, J. “Land-use/land-cover (LULC) change and socioeconomic conditions of local community in the central highlands of Ethiopia”. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 21, n. 5, pp. 406-413, 2014.

DESCHAMPS, M. V. *Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Curitiba*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2004.

_____. “Vulnerabilidade socioambiental nas regiões metropolitanas brasileiras”. *Relatório de atividades do Observatório das Metrôpoles*. Convênio Ministério das Cidades/ Observatório das Metrôpoles/Fase/Ipardes, Brasília, 2006.

DORNAS, R.A.P. *et al.* “Strain by the train: Patterns of toad fatalities on a Brazilian Amazonian railroad”. *Science of the Total Environment*, v. 660, p. 493-500, 2019.

DOORNIK, J. A.; HANSEN, D. *An omnibus test for univariate and multivariate normality*. Working Paper, Oxford: Nuffield College, 1994.

EISELT, B.; GIGLIOLI, N.; PECKHAM, R. (2001). “Interregional Migration and Land Use Pressure. In: Land Use Simulation for Europe”. *Springer, Dordrecht*. pp. 159-170, 2001.

ELKINGTON, J. *Triple bottom line revolution: reporting for the third millennium*. Australian CPA, v. 69, p. 75, 1994.

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX, 2022. Disponível em: <<https://epi.yale.edu/>>. Acesso em: 13 out. 2022.

ERICSSON, M. & LÖF, O. “Mining’s contribution to national economies between 1996 and 2016”. *Mineral Economics*, v. 32, n. 2, pp. 223-250, 2019.

FALESI, I.C. *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de área da Estrada de Ferro Carajás*. Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, p. 104, 1986.

FAUSTINO, C.; FURTADO, F. *Mineração e violações de direitos: o Projeto de Ferro Carajás S11D, da Vale S.A.* Açailândia: DHESCA/Brasil, 1. ed., 2013.

FEARNSIDE, P. M. “Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle”. *Acta Amaz. [online]*, v. 36, n.3, pp. 395-400, 2006.

FILGUEIRAS, L. “O neoliberalismo no Brasil: estrutura, dinâmica e ajuste do modelo econômico”. In: BASUALDO, E.M.; ARCEO, E. (orgs). *Neoliberalismo y sectores dominantes. Tendencias globales y experiencias nacionales*. Capítulo 5, --. 179-206, CLACSO, Buenos Aires, 2006.

FONTAN, R. G., ROSA, R. A., LACRUZ, A. J. “Eficiência das ferrovias especializadas em transporte de minério de ferro e pelotas”. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 26, 2021.

FOURNIER, D'A. E. M. “The quantification of seismic hazard for the purposes of risk assessment”. In: *International Conference on Reconstruction, Restauration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas*, Skopje, 1995.

FREI, F. “Índice de Vulnerabilidade Familiar-IFV: mensuração de fatores de risco para a violência”. *Revista LEVS*, n. 1, pp. 115-126, 2008. DOI: <https://doi.org/10.36311/1983-2192.2008.v0n1.777>.

FSEAD, Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Índice de Vulnerabilidade Juvenil. 2000. Disponível em: <<http://produtos.seade.gov.br/produtos/ivj/index.php?tip=map&mapa=9>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

_____. Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS). 2019. Disponível em: <https://iprs.seade.gov.br/#>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FREITAS C. M., CARVALHO M. L., XIMENES E. F., ARRAES E. F., GOMES J. O. “Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil”. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, pp. 1577-1586, 2012.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; & VENABLES, A.J. *Economia Espacial: Urbanização, prosperidade econômica e desenvolvimento humano no mundo*. Futura, São Paulo, 2002.

FURLAN, C. M., LACRUZ, M. S. P., & SAUSEN, T. M. “Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica”. *Anais do XV Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto-SBSR*, pp. 4540-4546, 2011.

GALLOPIN, G.C. “Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity”, *Global Environmental Change*, v.16, n. 3, pp. 293-303, 2006.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2022. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/>. Acesso em: 13 out. 2022.

GODFREY, B. J. (1992). Migration to the Gold-Mining Frontier in Brazilian Amazonia. *Geographical Review*, 82 (4):458–69, 1992. <https://doi.org/10.2307/215202>.

GONÇALVES, C. W. P., *Amazônia, Amazônias*. São Paulo: Editora Contexto, 2001.

GOOGLE EARTH. Software Google Earth. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>.

GUIMARÃES, R. M., MAZOTO, M. L., MARTINS, R. N., CARMO, C. N. D., & ASMUS, C. I. F. “Construção e validação de um índice de vulnerabilidade socioambiental para a vigilância e gestão de desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro, Brasil”. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, pp. 4157-4165, 2014.

GRAZIANO, P., & RIZZI, P. “Vulnerability and resilience in the local systems: The case of Italian provinces”. *Science of the Total Environment*, v. 553, pp. 211-222, 2016.

GUJARATI, D.N., & PORTER, D.C. *Basic econometrics*. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2009.

HAESBAERT, R. *Viver no limite: território e multi/transterritorialidade em tempos de incerteza e contenção*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

HOGAN, D. J., CUNHA, J. D., CARMO, R. D., ET AL., “Urbanização e vulnerabilidade socioambiental: o caso de Campinas”. In: Hogan, D.J., Baeninger, R., Cunha, J.M.P., et al. (Orgs.), *Migração e ambiente nas aglomerações urbanas*, Campinas, NEPO/UNICAMP, 2001.

HOLMES, T. P. *et al.* “Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon”. *Forest ecology and management*, v. 163, n. 1-3, pp. 93-110, 2002.

HOMMA, A. K. O. *Extrativismo vegetal na Amazônia: limites e oportunidades*. Brasília: Embrapa-SPI, 1993.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. “Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação”. *E&S Engineering and Science*, v. 5, n. 1, pp. 83-90, 2016.

IANNI, O. *Estado e Planejamento no Brasil*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1996.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 1991*. 1991. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 2 ago. 2018.

_____. *Censo 2000*. 2000. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 2 ago. 2018.

_____. *Manual técnico de uso da terra*. 2ª edição, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv32440.pdf>>. Acesso em 7 jul. 2020.

_____. *Censo 2010*. 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 2 ago. 2018.

_____. Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). 2013. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?edicao=20932>>. Acesso em: 28 mai. 2019.

_____. *IBGE Cidades*. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2021.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. Ferrovias da Vale é a mais eficiente do país segundo ILOS. 2013. Disponível em: <<https://ibram.org.br/noticia/ferrovia-da-vale-e-a-mais-eficiente-do-pais-segundo-ilos/>>. Acesso em: 03 set. 2018.

_____. *Relatório Anual de Atividades: julho 2017 - junho de 2018*. 2018. Disponível em: <http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 4 set. 2018.

_____. *Relatório do Setor Mineral no Primeiro Trimestre de 2022*. 2022. Disponível em: <<https://ibram.org.br/publicacoes/?txtSearch=&checkbox-section%5B%5D=1236>>. Acesso em: 18 out. 2022.

INDEX MUNDI. Iron Ore Monthly Price - US Dollars per Dry Metric Ton, 2021. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore&months=60>>.

IPAM, Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia. *Políticas ambientais*. 2003. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/polamb/cuisant.htm>>. Acesso em: 26 jul. 2018..

INBS, Instituto Brasileiro de Sustentabilidade. Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum” – definição e princípios, 2019. Disponível em: <<http://www.inbs.com.br>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

ITV, Instituto Tecnológico Vale. Proposta de modelo para avaliar a criticidade social das comunidades. Relatório Técnico, Grupo de Pesquisa Socioeconomia e Sustentabilidade. Belém: Instituto Tecnológico Vale, 2017.

JOHNSON, D. P., STANFORTH, A., LULLA, V., & LUBER, G. “Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data”. *Applied Geography*, v. 35, pp. 23-31, 2012.

JOKINEN, J. C. “Migration-related land use dynamics in increasingly hybrid peri-urban space: insights from two agricultural communities in Bolivia”. *Population and environment*, v. 40, n. 2, pp. 136-157, 2018.

JORNAL O TEMPO. *Pará dominará a mineração*. 2018. Disponível em: <<https://www.otempo.com.br/capa/economia/par%C3%A1-dominar%C3%A1-a-minera%C3%A7%C3%A3o-1.1863825>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

JUSTIÇA NOS TRILHOS. (2018). Disponível em: <<http://justicanostrilhos.org/>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

KASPERSON, J.X., KASPERSON, R.E., TURNER, B.L. II, ET AL., “Vulnerability to global environmental change”. In: Kasperson, J.X., Kasperson, R.E. (eds), *Social contours of risk, vol. II: risk analysis, corporations & the globalization of risk*, chapter 14. Earthscan, London, pp. 245–285, 2005.

KAZTMAN, R. “Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social. Borrador para discusión”. In: *La medición de la pobreza, métodos e aplicaciones*, BID-BIRF-CEPAL, Aguascalientes, México, 2000.

KAZTMAN, R. et al. *Vulnerabilidad, activos y exclusión social en Argentina y Uruguay*. Santiago do Chile, OIT, pp. 107, 1999.

KORKMAZ, S.; GOKSULUK, D.; ZARARSIZ, G. *MVN: multivariate normality tests*. R package version, v. 4, 2015.

KRUGMAN, P. “Increasing returns and economic geography”. *Journal of Political Economy*, v. 99, n.3, pp. 483-499, 1991.

KRUSKAL, W. H. “A nonparametric test for the several sample problem”. *The Annals of Mathematical Statistics*, v.23, n.4, pp. 525-540, 1952.

KUYPERS, S., MARX, I. “The truly vulnerable: integrating wealth into the measurement of poverty and social policy effectiveness”. *Social Indicators Research*, v. 142, n. 1, pp. 131-147, 2019.

LANZILLOTTI, H. S. *et al.* “Instrumento para avaliar a combinação de alimentos para tornar o ferro mais biodisponível na dieta”. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 23, pp. 4107-4118, 2018.

LE TOURNEAU, F.M., BURSZTYN, M. “Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental”. *Ambiente e sociedade*, v. 13, n. 1, pp. 111-130, 2010.

MAGIS, K. “Community resilience: An indicator of social sustainability”. *Society and Natural Resources*, v. 23, n. 5, pp. 401-416, 2010.

MALTA, F. S. *Vulnerabilidade Socioambiental: Proposta Metodológica e Diagnóstico para o Município do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado: Programa de Planejamento Energético/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MANCINI, L.; SALA, S. “Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks”. *Resources Policy*, v. 57, pp. 98-111, 2018.

MANSUR, A. V., BRONDÍZIO, E. S., ROY, S., HETRICK, S., VOGT, N. D., & NEWTON, A. “An assessment of urban vulnerability in the Amazon Delta and Estuary: a multi-criterion index of flood exposure, socio-economic conditions and infrastructure”. *Sustainability Science*, v. 11, n. 4, pp. 625-643, 2016.

MAPBIOMAS. Plataforma MapBiomas Brasil. Disponível em: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>.

MARANDOLA JR., E. & HOGAN, D.J. “Vulnerabilidade do lugar vs. Vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão”. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 26, pp. 161-181, 2009.

MAROCO, J. *Análise estatística com utilização do SPSS*. Lisboa: Edições Sílabo, v. 3, 2007.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. “Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?” *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 32, n. 3, pp. 433-460, 2015.

MATLABA, V. J., HOLMES, M., MCCANN, P., & POOT, J. “Classic and spatial shift-share analysis of state-level employment change in Brazil”. In: *Applied Regional Growth and Innovation Models*. Chapter 7, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 139-172, 2014.

MATLABA, V.J., MANESCHY, M. C., FILIPE DOS SANTOS, J. & MOTA, J. A. “Socioeconomic dynamics of a mining town in Amazon: a case study from Canaã dos Carajás, Brazil”. *Mineral Economics*, v. 32, n. 1, pp. 75-90, 2018.

MATLABA, V. J., PEREIRA, L. R., MOTA, J. A., & DOS SANTOS, J. F. “Resilience perception of a mining town in eastern Amazonia: a case study of Canaã dos Carajás, Brazil”. *Environmental Mmanagement*, pp .1-19, 2021.

MATOS, D.A.S; RODRIGUES, E.C. *Análise Fatorial*. Escola Nacional de Administração Pública (ENAP). 75p, 2019.

MCT, Ministério de Ciência e Tecnologia. *Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal*. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia, 2010. Disponível em:

<https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/sirene.html>. Acesso em: 2 ago. 2019.

MDIC, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Comércio Exterior – Estatísticas de comércio exterior, 2019. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior>>. Acesso: 2 nov. 2019.

MEMÓRIA, J.M.P. *Breve história da estatística*. Área de Informação da Sede - Texto para Discussão, 2004. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/110361/1/sgetexto21.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

MIGUEL, D. A. A. “Acidentes Ferroviários no Brasil: análise comparativa com a União Europeia”. *34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*, 210-221, Novembro, 2020.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 349 de 16 de agosto de 2004. Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/legislacao/federal/46695-dispue-sobre-o-licenciamento-ambiental-de-empreendimentos-ferroviarios-de-pequeno-potencial-de-impacto-ambiental-e-a-regularizauuo-dos-empreendimentos-em-operauuo.html>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

MME, Ministério de Minas e Energia. Desempenho do Setor Mineral no Comércio Exterior. Boletim Informativo do Setor Mineral, 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/2674215/Boletim+Informativo+do+Setor+Mineral+2019/606fef71-b399-47b7-8cac-b0652e7ffe89?version=1.0>. Acesso: 2 nov. 2019.

_____. *Boletim Econômico Mineral*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-lanca-tres-novas-plataformas-online-para-o-setor-mineral-e-barragens-de-mineracao>>. Acesso em: 6 ago. 2022.

MONASTERIO, L. M. Indicadores de Análise Regional e Espacial. In: CRUZ, B. D. O. O., FURTADO, B. A. O., MONASTERIO, L. M. O., & RODRIGUES JÚNIOR, W. O. *Economia Regional e Urbana: Teorias e Métodos com Ênfase no Brasil*. Brasília: IPEA, 2011.

MONGABAY. *Atropelamento de animais em ferrovias: impacto ainda desconhecido no Brasil*. 2022. Disponível em: <<https://brasil.mongabay.com/2022/08/atropelamento-de-animais-em-ferrovias-impacto-ainda-desconhecido-no-brasil/>>. Acesso em: 10 out. 2022.

- MOSER, C.O.N. “The Asset Vulnerability Framework: Reassessing Urban Poverty Reduction Strategies”, *World Development*, v. 26, n. 1, pp. 1-19, 1998.
- MORAN, E. F. *et al.* “Restoration of vegetation cover in the eastern Amazon”. *Ecological Economics*, v. 18, n. 1, pp. 41-54, 1996.
- MOTA, J. A., MANESCHY, M. C., SOUZA-FILHO, P. W., NAVARRO TORRES, V. F., DE SIQUEIRA, J. O., DOS SANTOS, J. F., & MATLABA, V. “Uma nova proposta de indicadores de sustentabilidade na mineração”. *Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate*, v.8, n.2, 2017.
- MUNASINGHE, M. *Making Development More Sustainable*. Colombo: MIND, 2010.
- MUNIZ, L. M. “Ecologia Política: o campo de estudo dos conflitos sócio-ambientais”. *Revista Pós Ciências Sociais*, v. 6, n. 12, 2010.
- NASCIMENTO, E. “Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico”. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, pp. 51-64, 2012.
- NEVES, M. C., RAMOS, F. R., CAMARGO, E. C. G., CÂMARA, G. & MONTEIRO, A. M. *Análise exploratória espacial de dados sócio-econômicos de São Paulo*. Salvador: GIS Brasil, 2000.
- NUNES, R. A., MATLABA, V., SANTOS, J. M. F. *Perfil socioeconômico dos moradores e sua percepção sobre a vida nas comunidades ao longo da Estrada de Ferro Carajás*. DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.36, 2020. Disponível em: <<https://www.itv.org/wp-content/uploads/2022/08/Diss.2020.RafaelNunes.MProfitVDS.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2022.
- ONU, Organização das Nações Unidas. *Agenda 2030*. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 28 fev. 2019.
- PALHETA, J. M. et al. Conflitos pelo uso do território na Amazônia mineral. Mercator (Fortaleza), v. 16, 2018
- PENHA, L. R. DA; NOGUEIRA, A. P. F. “Os impactos do desenvolvimento na área de influência da Estrada de Ferro Carajás”. *Interespaço – Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 1, 170 -180, 2015.

PESTANA, M. H. & GAGEIRO, J. N. *Análise de Dados para Ciências Sociais. A complementaridade do SPSS*, 5ª ed., Lisboa, Edições Sílabo, pp. 527-528, 2008.

PIZARRO HOFER, R. *La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina*. División de Estadística e Prospecciones Económicas. Santiago: Comisión Ecnômica para América Latina e Caribe (CEPAL), 2001. Disponível em: <<http://repositorio.cepal.org/handle/11362/4762>>. Acesso em: ago. 2019.

PPI, Programa de Parcerias de Investimentos. *Estrada de Ferro Carajás*. 2021. <Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/efc-estrada-de-ferro-carajas>>. Acesso em 10 fev. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BOM JESUS DO TOCANTINS, 2019. Disponível em: <http://www.bomjesusdotocantins.pa.gov.br/?page_id=230>. Acesso em: 12 jul. 2019.

PURVIS, B., MAO, Y., & ROBINSON, D. “Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins”. *Sustainability science*, v. 14, n. 3, pp. 681-695, 2019.

RAMOS, M.C. *Processos de revegetação das áreas impactadas na Estrada de Ferro Carajás*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico Vale, Belém/PA, 2018.

RIMOLDI, S.M.L., ARCAGNI, A., FATTORE, M. *et al.* “Social and Material Vulnerability of the Italian Municipalities: Comparing Alternative Approaches”. *Social Indicators Research*, p. 1-18, 2020.

RODRIGUEZ, J. “Vulnerabilidad y grupos vulnerables: un marco de referencia conceptual mirando a los jóvenes”. *Serie Población y desarrollo*, Santiago, Chile, n. 7. Cepal/Celade, 2001.

RONCANCIO, D.J., NARDOCCI, A.C. (2016). “Social vulnerability to natural hazards in São Paulo, Brazil”. *Natural Hazards*, v. 84, pp. 1367–1383, 2016.

RUAN, X.; QIU, F.; DYCK, M. “The effects of environmental and socioeconomic factors on land-use changes: a study of Alberta, Canada”. *Environmental monitoring and assessment*, v. 188, n. 8, pp. 446, 2016.

SACHS, I. *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo: Nobel, 1993.

SAITO, O. MANAGI, S., KANIE, N., KAUFFMAN, J., & TAKEUCHI, K. "Sustainability science and implementing the sustainable development goals". *Sustainability Science*, v. 12, n. 6, pp. 907-910, 2017.

SANTOS, M., *Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico informacional*. 2 ed. São Paulo, Editora Hucitec, 1994.

SANTOS, M., *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: São Paulo, Ed. Hucitec, 2002.

SANTOS, M. C. "Musealização em Projectos de Arqueologia Consultiva: Perspectivas Patrimoniais para a Estrada de Ferro Carajás (MA/PA)". *Cadernos de Sociomuseologia*, v. 51, n. 7, 2016.

SANTOS, V. M. *A Economia do sudeste paraense: evidências das transformações estruturais*. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9000>>. Acesso em: 28 mai. 2019.

SANTOS, S. D., CELENTANO, D., GARCIA, J., ARANIBAR, A., & VERÍSSIMO, A. *Índice de Progresso Social na Amazônia Brasileira*. Belém-PA: Imazon, 2018a.

SANTOS, J. F. D., MAIA, M. B., MANESCHY, M. C., MATLABA, V., & MOTA, J. A. "Redes sociais ao longo da estrada de ferro Carajás na Amazônia Oriental". *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, n. 109, pp. 149-166, 2018b.

SANTOS, J. F., GALVÃO, L., MOTA, J. A., MATLABA, V., PAES, R. *Atlas de Socioeconomia da Estrada de Ferro de Carajás: população e território, socioeconomia, cidadania*. Belém, Instituto Tecnológico Vale, 2019. Disponível em: <<http://www.itv.org/publicacao/atlas-de-socioeconomia-da-estrada-de-ferro-de-carajas-populacao-e-territorio-socioeconomia-cidadania/>>. Acesso em: 12 set. 2020.

SANTOS, D. C. SOUZA-FILHO, P. W. M., DA ROCHA NASCIMENTO JR, W., CARDOSO, G. F., & DOS SANTOS, J. F. "Land cover change, landscape degradation, and restoration along a railway line in the Amazon biome, Brazil". *Land Degradation & Development*, v. 31, n. 15, pp. 2033-2046, 2020.

SAVINI, M. *Reforma agrária ajuda a desmatar a Amazônia*. Correio Braziliense. Brasília – DF, 2005. Disponível em: <<http://www.correioweb.com.br/>> . Acesso em: 24 jul. 2018.

SCANDAR NETO, W. J. *Síntese que organiza o olhar: uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses*. Rio de Janeiro, v. 110, 2006.

SEDEME, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia. Sinopse da Produção Mineral no Pará em 2020. 2020. <Disponível em: <http://www.sedeme.pa.gov.br/economia-mineral>>. Acesso em: 29 ago. 2021.

SEDDON, D.S.N. *Vulnerabilidade social no Espírito Santo: conceito e mensuração*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2014.

SEGERSTEDT, E., ABRAHAMSSON, L. “Diversity of livelihoods and social sustainability in established mining communities”. *The Extractive Industries and Society*, v. 6, n.2, pp. 610-619, 2019.

SILVA, M. Z. *A Companhia Vale do Rio Doce na Estratégia do Desenvolvimento Brasileiro*. Vitória: EDUFES, 440 p., 2004.

SILVA, F. L. D., PENA, H. W. A., DE ASSIS OLIVEIRA. “A dinâmica da ocupação da Amazônia brasileira: do interesse político e econômico aos conflitos socioambientais.” *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 2015.

SILVA, L. R. G. *Dinâmicas Urbanas ao longo de Ferrovias*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico Vale, Belém/PA, 2016.

SIMINERAL, Sindicato das Indústrias Mineraias do Estado do Pará. *Mineração no Pará, Brasil e Mundo*. 2019. Disponível em: <http://simineral.org.br/mineracao/mineracao-para>. Acesso em: 1 nov. 2019.

SOUZA-FILHO, P. W. M. *et al.* “A GEOBIA approach for multitemporal land-cover and land-use change analysis in a tropical watershed in the southeastern Amazon”. *Remote Sensing*, v. 10, n. 11, pp. 1683, 2018.

SOUZA-FILHO, P. W. M. *et al.* (2019). “Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: A challenge for biodiversity conservation”. *Plos one*, v. 14, n. 1, pp. e0211095, 2019.

SOUZA-FILHO, P.W.M., *et al.* (2020). “Land use intensity of official mineral extraction in the Amazon region: linking economic and spatial data”. *Land Degradation & Development*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3810>.

SPOSATI, A. *Mapa da Exclusão/Inclusão Social da cidade de São Paulo*. São Paulo, Educ, 1996.

SNOWDEN, D.J. & BOONE, M.E. “A Leader’s Framework for Decision Making”, *Harvard business review*, v. 85, n. 11, p. 68, 2007.

STARKE, L. *Breaking new ground: mining, minerals, and sustainable development: the report of the MMSD Project*. Earthscan, vol. 1, 2002.

STATA CORP. Data analysis and statistical software (STATA) (version 13.0), Windows, 2013. <http://www.stata.com/>.

THE WORLD BANK, 2016. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KN?end=2016&locations=BR&start=1960>>. Acesso em: 28 mai. 2019.

THE WORLD BANK, 2022. Disponível em: <https://data.worldbank.org/?intcid=ecr_hp_BeltD_en_ext>.

TOBLER, W.R. “A computer movie simulating urban growth in the Detroit region”. *Economic Geography*, v. 46, pp. 234-40, 1970.

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

TURNER B.L. II, KASPERSON R.E., MASTON P.A., MCCARTHY J.J., CORELL R.W., CHRISTENSEN L. “A framework for vulnerability analysis in sustainability science”. *Proceedings of the national academy of sciences*, v. 100, n. 14, pp. 8074-8079, 2003.

UNES, L.; PINHEIRO FILHO, W. C.; CUTRIM, S.; ROBLES, L.; & BOTTER, R. “Eficiência Portuária: Estudo de caso no Terminal Marítimo Ponta da Madeira”. In: *Anais do II CIDESPORT-Congresso Internacional de Desempenho Portuário*, pp 1-23, 2015.

UNISDR, United Nations International Strategy for Disaster Reduction. Terminologia, 2017. Disponível em: < <https://www.undrr.org/#letter-v> >. Acesso em: 23 ago. 2019.

URA, K., ALKIRE, S., ZANGMO, T., AND WANGDI, K. *A short guide to gross national happiness index*. Thimphu: Centre for Bhutan Studies, 2012.

VALE. Code of ethical conduct. 2013. Disponível em: <http://www.vale.com/SiteCollectionDocuments/CodigoEtica/assets/docs/EN_CodigoCondutaEtica_VF.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

VALE. *S11D—Novos caminhos para a mineração*. 2017. Disponível em: <<http://www.vale.com/PT/initiatives/innovation/s11d/Documents/s11d-2016/assets/doc/revista-vale-s11d.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

VALE. *Estrada de Ferro Carajás: o caminho onde passa nossa riqueza*. 2018a. <Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/innovation/carajas-railway/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

VALE. *Vale conclui obra de expansão da Estrada de Ferro Carajás e amplia projetos sociais no Maranhão*. 2018b. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/expansao-estrada-carajas-projetos-sociais-maranhao.aspx>>. Acesso em 27 ago. 2018.

VALE. *Negócios*. 2022a. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/business/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 02 out. 2022.

VALE. *Sobre a Vale*. 2022b. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 02 out. 2022.

VARELLA, C. A. A. *Análise de componentes principais*. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

VIEIRA, I. C. G., SANTOS JUNIOR, R. A. O., & TOLEDO, P. M. D. *Dinâmicas produtivas, transformações no uso da terra e sustentabilidade na Amazônia*. Rio de Janeiro: Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15060>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

VILARINHO, C.C. (2018). *Uso de recursos agroflorestais em comunidades na zona de influência da Estrada de Ferro Carajás (EFC)*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico Vale, Belém/PA, 2018.

WILLIAMS, L., & KAPUTSKA, L. “Ecosystem vulnerability: A Complex interface with technical components”, *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 19, n. 4, pp. 1055-1058, 2000.

YALIN, L., CU, N., & PAN, D. "Economic and social effects analysis of mineral development in China and policy implications". *Resources Policy*, v.38, n.4, pp. 448-457, 2013.

YOON, D. K. "Assessment of Social Vulnerability to Natural Disasters: A Comparative Study." *Natural Hazards*, v. 63, pp. 823-843, 2012.

YOON, D. K., KANG, J. E., & KIM, Y. J. (2017). "Measuring Community Vulnerability to Natural Disasters in Korea Using the Entropy Method". *International Journal of Mass Emergencies & Disasters*, v. 35, n. 2, 2017.

ZAHARAN, S.; BRODY, S. D.; PEACOCK, W. G.; VEDLITZ, A., & GROVER, H. "Social Vulnerability and the Natural and Built Environment: A Model of Flood Casualties in Texas." *Disasters*, v. 32, pp. 537-560, 2008.

APÊNDICE 1

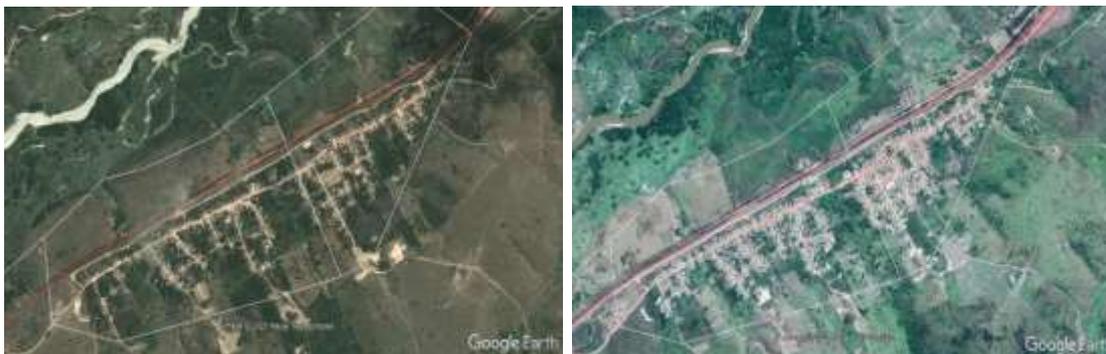
Tabela1. Lista de comunidades analisadas na pesquisa por município e situação.

	Comunidade	Município	Situação
1	APA do Gelado	Parauapebas	Rural
2	Bairro Alzira Mutran	Marabá	Urbana
3	Estiva	São Luís	Urbana
4	Fumacê	São Luís	Urbana
5	Gapará	São Luís	Urbana
6	Inhaúma	São Luís	Urbana
7	Monge Belo	Anajatuba	Rural
8	Nova Jerusalém	Canaã dos Carajás	Rural
9	Pedrinhas	São Luís	Urbana
10	Primeiro Cocal	São Pedro da Água Branca	Rural
11	São Vicente	Igarapé do Meio	Rural
12	Sitinho	São Luís	Urbana
13	Vila Bom Jesus	Canaã dos Carajás	Rural
14	Vila Jacu	São Luís	Rural
15	Vila Diamante	Igarapé do Meio	Rural
16	Vila Ildemar	Açailândia	Urbana
17	Vila Conceição	São Luís	Urbana
18	Vila Maranhão	São Luís	Urbana
19	Assentamento Agro Planalto	Açailândia	Rural
20	Atraca	Tufilândia	Rural
21	Bairro Araguaia	Marabá	Urbana
22	Cariongo 3	Miranda do Norte	Rural
23	Km 7	Marabá	Urbana
24	Nova Vida	Bom Jesus das Selvas	Rural
25	Nova Vitória	Parauapebas	Urbana
26	Palmares II	Parauapebas	Urbana
27	Palmares Sul	Parauapebas	Rural
28	Periz de Cima	Bacabeira	Rural
29	Piquiá de Baixo	Açailândia	Urbana
30	São Benedito	Igarapé do Meio	Rural
31	Tropical I, II e Nova Ipiranga	Parauapebas	Rural
32	Vila Pindaré	Buriticupu	Rural

APÊNDICE 2

Comunidade Vila Pindaré

A comunidade apresentou expansão e aumento visível do número de domicílios entre 2010 e 2017. Não houve no entanto mudança significativa na cobertura vegetal, apenas em alguns pontos específicos da comunidade.



Figuras 1a e 1b: Área da comunidade Vila Pindaré, em Buriticupu (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Comunidade São Benedito

Não houve aumento considerável do número de domicílios durante o período analisado (2010 a 2017). Foi identificada redução da cobertura vegetal principalmente nas porções norte e sul da comunidade. Na primeira houve supressão da vegetação para instalação de lagos artificiais.



Figuras 2a e 2b: Área da comunidade São Benedito, em Igarapé do Meio (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Comunidade Pedrinhas

Mudança razoável no uso e ocupação do solo da área da comunidade, com aumento do número de domicílios principalmente em sua área central. Maior supressão

vegetal na porção leste da comunidade, com redução e desaparecimento de lagos entre 2010 e 2017.



Figuras 3a e 3b: Área da comunidade Pedrinhas, em São Luís (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Vila Jacu

Apesar de não ter havido grande mudança no número de domicílios, fica clara a alteração ambiental nos arredores da comunidade, com identificação de supressão vegetal nas porções oeste e sudoeste para a expansão da área da ferrovia, além do desaparecimento de lagos nas porções sudeste e leste da área da comunidade e expansão de vicinal em direção à área de conjunto habitacional a leste da comunidade.



Figuras 4a e 4b: Área da comunidade Vila Jacu, em São Luís (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Fumacê

Não foi identificada grande mudança visual entre as imagens de 2010 e 2017. A área já possuía ocupação considerável até mesmo antes do ano de 2010. No entorno da comunidade, mais especificamente nas porções norte e oeste da mesma, em área industrial, houve redução de parte da vegetação para expansão do complexo portuário de Itaqui, área que apresentou variação na análise visual entre os anos analisados.



Figuras 5a e 5b: Área da comunidade Fumacê, em São Luís (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Monge Belo

Foi identificado visualmente um aumento do número de domicílios em função da expansão da comunidade entre 2010 e 2017 e considerável redução da cobertura vegetal no mesmo período em pontos específicos da comunidade, com destaque à porção oeste/sudoeste da localização da comunidade, onde houve supressão da vegetação para construção e instalação de lagos artificiais.



Figuras 6a e 6b: Área da comunidade Monge Belo, em Anajatuba (MA), nos anos de 2012 e 2017 respectivamente.

Sitinho

Aumento razoável do número de domicílios com identificação de supressão vegetal principalmente nas porções sudeste, parte da porção norte e nordeste da comunidade, áreas correspondentes à ferrovia.



Figuras 7a e 7b: Área da comunidade Sitinho, em São Luís (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Primeiro Cocal

Não foi identificada grande mudança na quantidade de domicílios entre 2010 e 2017, no entanto, verificou-se que houve supressão da cobertura vegetal principalmente na porção sul/sudoeste, nas proximidades do rio. Próximo à ferrovia não se identificou mudanças visualmente significativas.



Figuras 9a e 9b: Área da comunidade Primeiro Cocal, em São Pedro da Água Branca (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Inhaúma

Pequeno aumento do número de domicílios, com aparente aumento da cobertura vegetal em alguns pontos no entorno da comunidade, como nas porções leste e sudoeste. Pequena redução da cobertura vegetal na porção noroeste da comunidade, na área ao lado da ferrovia.



Figuras 10a e 10b: Área da comunidade Inhaúma, em São Luís (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Estiva

Aumento razoável do número de domicílios entre 2010 e 2017. Houve aumento da cobertura vegetal na área próxima à ferrovia e ao rio – Estreito dos Coqueiros (porção oeste e noroeste). O projeto de duplicação da ferrovia é bastante evidente na imagem dessa comunidade, gerando alteração no uso do solo no entorno do corredor da ferrovia. Houve duplicação da ferrovia inclusive sobre o rio (duplicação da ponte ferroviária).



Figuras 11a e 11b: Área da comunidade Estiva, em São Luís (MA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Vila Bom Jesus

Visível expansão da comunidade com inclusão de algumas vias, aumento do número de domicílios, principalmente na porção sudeste da área, e redução da cobertura vegetal em pontos específicos nas porções sudoeste e oeste da área comunidade.



Figuras 12a e 12b: Área da comunidade Vila Bom Jesus, em Canaã dos Carajás (PA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.

Vila Maranhão

Houve perda razoável da vegetação no entorno da comunidade e aumento do número de residências entre 2010 e 2017, principalmente nas porções norte e noroeste da mesma, além das porções leste e sudeste, nas quais houve expansão da área da ferrovia.



Figuras 13a e 14b: Área da comunidade Vila Maranhão, em São Luís (MA), nos anos de 2010 e 2016 respectivamente.

São Vicente

Mudança na cobertura do solo no entorno da comunidade entre 2010 e 2017 em função da supressão vegetal em diversos pontos no entorno da comunidade, além do aumento do número de domicílios na área.



Figuras 14a e 15b: Área da comunidade São Vicente, em Igarapé do Meio (MA), nos anos de 2011 e 2017 respectivamente.

Bairro Alzira Mutran

Entre 2010 e 2017 não foram identificadas alterações significativas na área da comunidade. Houve aumento razoável do número de domicílios e aparentemente um aumento da cobertura vegetal na porção leste ao lado da ferrovia. De forma geral, não houve grandes alterações no uso e ocupação do solo. A área já era bastante ocupada e urbanizada antes mesmo de 2010.



Figuras 16a e 16b: Área da comunidade Bairro Alzira Mutran, em Marabá (PA), nos anos de 2010 e 2017 respectivamente.