

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE ECONOMIA

JANAÍNA ALVES DE LIMA

**PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES E
EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA:
UMA ANÁLISE PARA A AGROPECUÁRIA NA
AMAZÔNIA LEGAL**

SOROCABA -SP
2023

JANAÍNA ALVES DE LIMA

PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA ANÁLISE PARA A AGROPECUÁRIA NA AMAZÔNIA LEGAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em economia da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de mestre em economia.

Orientador: Dr. Cassiano Bragagnolo

Sorocaba-SP
2023

Alves de Lima, Janaína

Produtividade total dos fatores e emissões de gases de efeito estufa: uma análise para a agropecuária na Amazônia Legal / Janaína Alves de Lima -- 2023. 66f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Cassiano Bragagnolo
Banca Examinadora: Alexandre Nunes de Almeida, Gustavo Carvalho Moreira
Bibliografia

1. Agropecuária da amazônia legal brasileira. 2. Produtividade total do fatores. 3. Emissões de gases de efeito estufa. I. Alves de Lima, Janaína. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

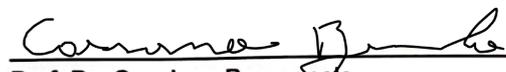
Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

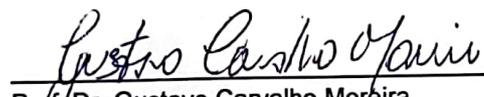
Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Economia

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Mestrado da candidata Janaína Alves de Lima, realizada em 21/12/2023:



Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo
Universidade Federal de São Carlos



Prof. Dr. Gustavo Carvalho Moreira
Universidade Federal de São Carlos



Prof. Dr. Alexandre Nunes de Almeida
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTO

Agradeço aos meus pais, Casturina e Ivoniso, pelo apoio e amor incondicional. Obrigada por estarem sempre ao meu lado e me ajudarem a realizar essa etapa tão importante para mim.

Aos meus irmãos Juliana e Lucas, ao meu sobrinho e afilhado Pedro, aos meus cunhados Carol e Fábio, e aos meus amigos Aline, Luiz e Vinícius, cuja amizade foi sempre um abrigo e um incentivo para que nos momentos mais difíceis eu continuasse a persistir. Obrigada por compreenderem a minha ausência em muitos momentos.

Ao professor Cassiano, cuja orientação, apoio e ensinamento foram fundamentais para que eu pudesse compreender e avançar em cada processo deste trabalho e adquirir amadurecimento para seguir na área acadêmica.

Agradeço também a todos os professores e funcionários do programa de Pós-Graduação em Economia, da UFSCar campus Sorocaba/SP, que de alguma forma contribuíram para a minha formação no mestrado.

Aos meus colegas de mestrado Ariel e Tomás, pelos momentos de convivência, de estudos, de cumplicidade e amizade. E ao meu primo Heliton, por ser um exemplo de professor para mim, por me incentivar e esclarecer minhas inúmeras dúvidas sobre a área acadêmica.

Sou grata pelas contribuições dos membros da banca de qualificação e de defesa, pela dedicação e pelo conhecimento compartilhado comigo.

E ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo disponibilizada durante o mestrado.

RESUMO

O desmatamento na região da Amazônia Legal é um dos principais fatores que geram emissões de gases de efeito estufa. Estas emissões podem ser minimizadas com um uso eficiente das áreas destinadas à agropecuária na região. Diante desse contexto, esse estudo tem como objetivo medir o crescimento da Produtividade Total dos Fatores – PTF – com base em dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017, da Produção Agrícola Municipal – PAM – e do Produto Interno Bruto – PIB – agropecuário estadual, todos divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, bem como dados do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG. As estimativas foram realizadas por meio dos índices de Malmquist (M) e Malmquist generalizado (GM), que não consideram a geração de subprodutos indesejáveis, os Gases de Efeito Estufa (GEEs). Estes índices foram comparados com os índices de Malmquist-Luenberger (ML) e Malmquist-Luenberger global (GML), que levam em consideração a presença destes subprodutos na produção agropecuária. Os resultados apontaram para um crescimento da PTF para a Amazônia Legal, tanto para a produtividade, quanto para a mudança na eficiência técnica e na eficiência tecnológica. Entretanto, para os índices GML e ML, que levam em consideração a existência de subprodutos, o crescimento foi menor em relação aos índices M e GM. Os resultados também apontaram que em 56% dos municípios da Amazônia Legal há maior ênfase produtiva no crescimento econômico em detrimento do controle de emissões de GEEs.

Palavras-chave: Desmatamento; Eficiência Econômica; Políticas Públicas; PTF; Índice de Malmquist

ABSTRACT

Deforestation in the Legal Amazon region is one of the main factors generating greenhouse gas emissions. These emissions can be minimized with the efficient use of areas destined for agriculture in the region. Given this context, this study aims to measure the growth in Total Factor Productivity - TFP - based on data from the 2006 and 2017 Agricultural Censuses, Municipal Agricultural Production - PAM - and the state's Gross Domestic Product - GDP - for agriculture, all published by the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE, as well as data from the Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimation System - SEEG. The estimates were made using the Malmquist (M) and generalized Malmquist (GM) indices, which do not take into account the generation of undesirable by-products, the Greenhouse Gases (GHGs). These indices were compared with the Malmquist-Luenberger (ML) and global Malmquist-Luenberger (GML) indices, which take into account the presence of these by-products in agricultural production. The results pointed to a growth in TFP for the Legal Amazon, both for productivity and for the change in technical efficiency and technological efficiency. However, for the GML and ML indices, which take into account the existence of by-products, growth was lower than for the M and GM indices. The results also show that in 56% of the municipalities in the Legal Amazon there is a greater productive emphasis on economic growth.

Keyword: Deforestation; Economic Efficiency; Public Policies; TFP; Malmquist Index

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização dos estados que compõem a Amazônia Legal.....	20
Figura 2 - Taxa de desmatamento (KM ²) dos estados da Amazônia Legal para o período de 1988 a 2022	26
Figura 3 - Taxa de desmatamento ao ano (KM ²) para a Amazônia Legal no período de 1988 a 2022	28
Figura 4 - Número efetivo de cabeças de gado (milhões) para a Amazônia Legal e demais estados brasileiros para o período de 1974 a 2021	32
Figura 5 – Crescimento anual da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist tradicional (M) que não considera as emissões de CO2 equivalente	54
Figura 6 – Crescimento anual da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist-Lundemberg (ML) que considera as emissões de CO2 equivalente	55
Figura 7 - Crescimento da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist Generalizado (GM) que não considera as emissões de CO2 equivalente	56
Figura 8 - Crescimento da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist-Luendemberg Generalizado (GML) que considera as emissões de CO2 equivalente	56
Figura 9 - Resultados das relações entre as produtividades calculadas por meio dos índices GML e GM para os municípios da Amazônia Legal entre 2006 e 2017.....	58
Figura 10 - Resultados das relações entre as produtividades calculadas por meio dos índices ML e M para os municípios da Amazônia Legal no ano entre 2006 e 2017	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos selecionados que incluem estimativas da PTF agrícola para regiões selecionadas do Brasil.....	36
Quadro 2 - Trabalhos selecionados que incluem a geração de subprodutos indesejáveis no cálculo da PTF.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis de insumos e produtos dos municípios utilizados neste estudo.....	49
Tabela 2 - Valor total para o ano inicial de 2006 e taxas de crescimento dos produtos e insumos nos estados da Amazônia Legal para o ano de 2017	51
Tabela 3 - Índice de crescimento da produtividade, mudança na eficiência técnica e mudança tecnológica para a agropecuária na Amazônia Legal calculadas pelas médias ponderadas pelo produto para os índices GML, ML, GM e M para o ano de 2006 e de 2017	53
Tabela 4 - Índice de crescimento da produtividade, mudança na eficiência técnica e mudança tecnológica para a agropecuária na Amazônia Legal calculadas pelas média simples pelo produto para os índices GML, ML, GM e M para o ano de 2006 e de 2017	53
Tabela 5 - Número de municípios “verdes” e percentual de municípios “verdes” para os estados da Amazônia Legal comparando-se os resultados das produtividades para do índices ML com o índice M e do índice GML com o índice GM	57

LISTA DE SIGLAS

AR	Radar de Abertura
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CRS	Retornos Constantes a Escala
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
DETER	Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real
FLIR	Forward Looking Infravermelho
GEEs	Gases de Efeito Estufa
GM	Índice de Malmquist Global
GML	Global Malmquist-Luenberger
GWP	Global Warming Potential
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
M	Índice de Malmquist Tradicional
ML	Índice de Malmquist-Luenberger
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Espectro Radiômetro de Imagem de Resolução Moderada
MP	Ministério Público
MSS	Scanners Multiespectrais
ONG	Organizações Não Governamentais
PAM	Produção Agrícola Municipal
PGC	Projeto Grande Carajás
PIB	Produto Interno Bruto
PLANAFLORO	Plano Nacional de Florestas no Estado de Rondônia
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima

POLO NOROESTE	Programa de Desenvolvimento Integrado do Noroeste do Brasil
PPCDAm	Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
PTF	Produtividade Total dos Fatores
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SFA	Análise de Fronteira Estocástica
SIPAM	Sistema de Proteção da Amazônia
SIVAM	Sistema de Vigilância Ambiental
SPVEA	Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Desenvolvimento histórico e desmatamento agropecuário na Amazônia Legal	19
2.2 Intensificação da produção agropecuária na Amazônia Legal	30
2.3 Produtividade Total dos Fatores na agricultura brasileira	35
2.4 Produtividade Total do Fatores e subprodutos indesejáveis	38
3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS	42
3.1 Metodologia	42
3.2 Bases de dados.....	46
4 RESULTADOS	49
4.1 Estatísticas descritivas	49
4.2 Cálculos dos índices	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Desde a segunda metade da década de 1980 discussões sobre como tornar sustentável o desenvolvimento da Amazônia Legal vem sendo abordadas. Em parte, essas discussões aconteceram por algumas combinações, como pelas cobranças de lideranças e de Organizações Não Governamentais (ONG's) nacionais e pelas cobranças da comunidade internacional, que na década de 1980 estudavam as consequências das mudanças climáticas globais, quais eram seus efeitos e causas (ANDERSEN *et al.*, 2002; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Segundo Andersen *et al* (2002), a partir da década de 1960, a expansão da fronteira agrícola em direção à Amazônia tornou-se um objetivo geopolítico de desenvolvimento brasileiro. Alguns projetos foram fundamentais para possibilitar a expansão da região amazônica, como a construção de estradas que unificaram o território amazônico às demais regiões do país e a criação da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), em 1953, que teria o desígnio de ser uma agência regional para acompanhar o desenvolvimento da região. Para que a agência pudesse acompanhar os trabalhos realizados no território amazônico, o governo brasileiro criou a definição de “Amazônia Legal”, de forma que a definição não é uma determinação geográfica, mas geopolítica (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Além da expansão da atividade agropecuária, na década de 1960, ocorreu também um significativo aumento populacional na região, motivado por políticas públicas que buscaram promover o desenvolvimento da Amazônia Legal. Entretanto, esses incentivos ao mesmo tempo que proporcionaram desenvolvimento e crescimento econômico para a região, geraram também exploração dos recursos naturais, desmatamento e desigualdades sociais, devido à precária infraestrutura dos municípios da região (FEARNSIDE, 2001; HALL, 1991; MARGULIS, 1990; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

No Brasil, uma das maiores fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) é o desmatamento em larga escala associado à expansão da atividade agropecuária no território amazônico (NOBRE, 2001), que acelerou-se a partir da década de 1960, devido à integração da região por meio da rodovia transamazônica

(WEST; FEARNSIDE, 2021). Entre 90% e 99% do desmatamento tropical é impulsionado pela agropecuária (SEEG, 2023).

No entanto, a exportação agrícola é uma importante atividade para o comércio exterior brasileiro, atingindo, em 2020, US\$ 100,8 bilhões em exportações. Conforme dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), os principais produtos exportados pelo Brasil são a soja, a carne bovina, o açúcar de cana, a celulose, o milho, a carne de frango, o café e o algodão (CNA, 2021). Segundo estudo divulgado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA (2021), a participação do setor agropecuário no PIB brasileiro também é relevante, sendo de 26,6% em 2020.

De acordo com dados do InfoAmazonia (2021) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021b), o rebanho bovino na Amazônia Legal saltou de 8,5 milhões em 1974 para 93 milhões de cabeças em 2020, o que representa quase 43% do rebanho nacional. Entre 2004 e 2020, o rebanho aumentou 30% na Amazônia Legal, enquanto nas outras regiões do Brasil reduziu em 6%. Nessas duas décadas, a Amazônia brasileira perdeu 197 mil km² de florestas, principalmente pela abertura de áreas de pastagens (ANDERSEN *et al.*, 2002).

A conservação destas áreas com mata nativa pode ser alcançada por meio de uma produção agropecuária mais intensiva, diminuindo a demanda por novas áreas produtivas e o conseqüente desmatamento (NASCIMENTO *et al.*, 2019). Esta intensificação do uso da terra pode ocorrer por meio do ganho de produtividade advindo da introdução de tecnologias, geralmente como resultado de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (por exemplo, novas cultivares, melhores práticas agrícolas, melhores práticas gerenciais etc.) (BYERLEE; STEVENSON; VILLORIA, 2014).

Tendo em vista a importância da produção agropecuária para a economia brasileira e as potenciais externalidades negativas oriundas dessa produção, o objetivo geral desta pesquisa foi mensurar a variação da Produtividade Total dos Fatores (PTF) por meio de índices do tipo Malmquist comparando os resultados de cálculos tradicionais da PTF com cálculos que considerem a geração de subprodutos indesejáveis no processo de produção, mais especificamente as emissões de gases de efeito estufa (GEEs). O cálculo da PTF visa medir a

eficiência com que os fatores e insumos de produção são combinados por meio de tecnologias e práticas agropecuárias. Para os índices de produtividade de Malmquist tradicionais foram calculados os índices de Malmquist tradicional (M) (FÄRE *et al.*, 1994a) e de Malmquist generalizado (GM) (PASTOR; LOVELL, 2005). Para o cálculo dos índices que consideram as emissões de GEES foram utilizados os índices de Malmquist-Lundemberg (ML) (CHUNG; FÄRE; GROSSKOPF, 1997) e o de Malmquist-Lundemberg generalizado (GML) (OH, 2010b, 2010a). Após o cálculo, os índices foram comparados e classificados em “verdes” e “amarelos”, conforme metodologia criada por Oh (2010a, 2010b) avaliando se os índices tradicionais (GM ou M) possuem crescimento da PTF maior ou menor que os índices que consideram os subprodutos indesejáveis (GML ou ML). Se for maior, o local é classificado como “verde” deste modo existe ênfase do setor no crescimento econômico em detrimento das emissões e se for menor o local é classificado como “amarelo” e, portanto, existe ênfase no crescimento econômico em detrimento das questões ambientais.

Esta pesquisa utilizou como base de dados o Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário estadual, divulgado pelo Ipeadata e calculado pelo IBGE (2020); os censos agropecuários do IBGE de 2006 e de 2017 (IBGE, 2009, 2019), os dados da Produção Agrícola Municipal – PAM – também divulgada pelo IBGE (2022), e os dados do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2022). Destaca-se que até o presente momento não foram encontrados na literatura estudos dedicados a explorar o tema abordado na região em questão e utilizando a base de dados proposta.

Além desta breve introdução, esta dissertação conta com mais quatro seções. Na segunda seção apresenta-se uma breve revisão sobre o desenvolvimento e desmatamento agropecuário na Amazônia Legal, alguns estudos sobre produtividade agrícola e desmatamento e estudos sobre o cálculo de medidas de PTF que levem em consideração a produção de subprodutos indesejáveis na produção para diversos setores e países. Na terceira seção apresentam-se as metodologias utilizadas no estudo e a base de dados empregada nos cálculos. Na quarta seção são apresentados os resultados do estudo e a discussão. Por fim, na quinta seção são apresentadas as considerações finais.

1.1 Objetivo geral e específicos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse estudo foi calcular a PTF por meio de índices do tipo Malmquist que considerem a geração de subprodutos indesejáveis no processo de produção, mais especificamente as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) para produção agropecuária da Amazônia Legal.

1.1.2 Objetivos específicos

Comparar os resultados da PTF tradicional com a PTF que leva em consideração a geração de subprodutos indesejáveis;

Classificar os estados da Amazônia Legal em verdes ou amarelos, conforme metodologia criada por Oh (2010a, 2010b).

1.2 Hipótese

Avaliar se existe ênfase no crescimento econômico em detrimento das emissões de GEEs ou se o crescimento econômico ocorre simultaneamente à diminuição das emissões de GEEs para a produção agropecuária da Amazônia Legal, conforme metodologia proposta por Oh (2010a, 2010b).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo explora três temas fundamentais relacionados à eficiência da produtividade agropecuária e à preservação ambiental na Amazônia Legal. Inicialmente faz-se a contextualização histórica do desmatamento e da atividade agropecuária na região, destacando-se questões relacionadas às políticas públicas, ao desenvolvimento econômico, ao crescimento populacional e aos índices de desmatamento. A seguir são apresentados alguns estudos sobre a intensificação da produtividade agrícola no Brasil. Por fim apresentam-se pesquisas que estabelecem correlações entre a produtividade agropecuária e a geração de subprodutos indesejáveis ao calcular a Produtividade Total dos Fatores (PTF) em diversas regiões e países.

2.1 Desenvolvimento histórico e desmatamento agropecuário na Amazônia Legal

A ocupação territorial e as atividades econômicas da Amazônia tiveram seu início em 1616 com a construção do Forte do Presépio no delta do rio Amazonas, sendo um marco da colonização portuguesa na região norte do Brasil. As atividades trouxeram assentamentos agrícolas para a região, usando um número limitado de técnicas de produção, que se baseavam na extração de borracha e castanha, conhecida como castanha do Brasil, para exportação (ANDERSEN *et al.*, 2002).

O período áureo da borracha na região ocorreu entre 1870 e 1912, sendo este um período de considerável crescimento econômico, de riqueza e prosperidade, com aumento da renda regional *per capita* de seis vezes e crescimento populacional de 3,3% ao ano (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004). Esse processo atraiu fluxos migratórios relevantes, principalmente da região nordeste, que tinha sua economia afetada por secas. Mas, com o excesso de oferta causado pelos concorrentes asiáticos, os preços da borracha caíram dando início a uma crise secular, com exceção do período da Segunda Guerra Mundial, que culminou no final do ciclo da borracha (ANDERSEN *et al.*, 2002).

De 1912 a 1950, a economia da região Norte permaneceu praticamente estagnada e o fluxo migratório acabou sendo direcionado para outras regiões. A extração da borracha e castanha do Brasil, bem como de outros produtos florestais

menos importantes continuaram, mas em quantidades menores. Em 1960, quando a Capital Federal do Brasil deixou de ser na cidade do Rio de Janeiro passando a ser Brasília, a expansão da fronteira em direção à Amazônia tornou-se, de fato, um objetivo da geopolítica de desenvolvimento brasileiro (ANDERSEN *et al.*, 2002).

Para que a SPVEA, criada em 1953, pudesse acompanhar os trabalhos regionais realizados no território amazônico, o governo brasileiro criou a definição “Amazônia Legal”, de forma que a definição não é uma determinação geográfica, mas política (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004). Conforme apresentado na Figura 1, a Amazônia Legal é composta por 772 municípios em nove estados (Amazonas, Acre, Amapá, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia, Tocantins e parte do Maranhão), se estendendo por cerca de 5 milhões de km², o que corresponde a aproximadamente 59% do território nacional (IBGE, 2021).

Figura 1 - Mapa de localização dos estados que compõem a Amazônia Legal



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia – IBGE (2021).

A construção de estradas foi o tipo de intervenção que mais gerou transformação na Amazônia Legal. Ao todo foram construídos na região cerca de 60.000 km de estradas, acelerando o processo migratório nas áreas mais acessíveis, principalmente por meio de pessoas que vinham do Centro-Sul e do Nordeste do país (ANDERSEN *et al.*, 2002; ANDERSEN; REIS, 1997; MARGULIS, 1990).

A construção da BR Belém-Brasília e da BR 364 (Brasília-Porto Velho), em 1958, possibilitou grande aumento desse processo migratório (ANDERSEN *et al.*,

2002). Este processo liberou os assentamentos na Amazônia da dependência da navegação nos rios. Em seguida aconteceu a construção primordial das grandes estradas como a Transamazônica, a estrada Cuiabá-Santarém e a estrada Porto Velho na década de 1970 (ANDERSEN *et al.*, 2002; ANDERSEN; REIS, 1997; MARGULIS, 1990).

As políticas públicas e o Banco de Crédito da Amazônia tiveram papel determinante no processo de construção de estradas e migratório. Uma série de atos legislativos e decretos foram promulgados em 1966 e 1967 com a finalidade de desenvolver e ocupar a Região Amazônica e integrá-la ao restante do Brasil. Esse plano ficou conhecido como “Operação Amazônia” que oferecia crédito barato, subsídios fiscais, isenção de impostos e concessão de terras a empresários que estivessem dispostos a investir em atividades agrícolas na região (ANDERSEN *et al.*, 2002).

O plano baseava-se na criação de polos de desenvolvimento, sendo criada a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) para administrar o sistema de incentivos fiscais e de crédito e trazer investimentos privados para esses polos, e a implantação da Zona Franca de Manaus, ambas deveriam ser integradas às principais estradas e garantir que as indústrias, serviços e comércios progredissem em torno dos setores que foram favorecidos por essas políticas públicas (ANDERSEN *et al.*, 2002; MARGULIS, 1990).

Essa operação de criação de polos de desenvolvimento tornou a pecuária a principal fonte de desmatamento (ANDERSEN *et al.*, 2002). Em seu entorno outras atividades tiveram menor participação no desmatamento, como a extração de madeira, produção de carvão, mineração e hidrelétricas (ANDERSEN *et al.*, 2002; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Segundo Andersen *et al.* (2002), o resultado dessa expansão foi o crescimento significativo da economia, da população e do desmatamento, principalmente em Belém e Manaus. Houve crescente urbanização nas cidades onde a população era de mais de 20.000 habitantes, que subiu de uma representatividade de 19% da população da região em 1940 para 25% em 1960 (ANDERSEN *et al.*, 2002). Na década de 1970, a renda regional *per capita* mais do que triplicou e a população cresceu a uma taxa de 5% ao ano (ANDERSEN *et al.*, 2002; MARGULIS, 2003). De 1970 a 1980, as taxas de crescimento do PIB foram

em média de 18% ao ano em termos reais (ANDERSEN *et al.*, 2002).

De forma contrária ao ciclo da borracha, a base econômica dessa expansão não foi o extrativismo, mas sim as políticas públicas que promoveram os polos de desenvolvimento, proporcionando um grande crescimento econômico na esfera regional, assim como migração de pessoas e expansão da indústria e da agropecuária na Amazônia Legal (ANDERSEN *et al.*, 2002; FEARNSTIDE, 2005). Segundo Fearnside (2005), os incentivos fiscais foram um forte impulsionador do desmatamento nas décadas de 1970 e 1980 na Amazônia brasileira.

Para Andersen *et al* (2002), os incentivos fiscais, na década de 1980, promoveram a forte presença de empresas estatais em projetos de mineração e geração de energia hidrelétrica, como o complexo de minério de Carajás da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e da Tucuruí usina hidrelétrica construída pela ELETROBRAS. Nesta época, o crescimento econômico se deu pelo setor industrial que teve taxas médias de crescimento de 30% ao ano, com a participação da indústria no PIB do estado subindo de 15% em 1970 para 37% em 1980. Com a participação da agropecuária, com taxas médias de crescimento anual de 6% para as áreas agropecuárias, sendo 11% para as áreas de cultivo e 8,9% para o gado.

Com o aumento e desenvolvimento industrial, houve também o aumento migratório. Entre 1980 e 1991, a população de Parauapebas, município do estado do Pará, cresceu à taxa anual média de 18,07%. Marabá, município também do estado do Pará, por sua vez, cresceu a uma taxa média de 8,34% ao ano, enquanto a população de Imperatriz, município do estado do Maranhão, cresceu, em termos absolutos, de 294.816 habitantes em 1980 para 456.044 em 1991 (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Algumas consequências destes intensos fluxos migratórios e inadequada infraestrutura foram observadas nos setores de educação e de saúde. Diversas cidades, pequenas e médias, situadas ao longo do complexo de Carajás apresentavam preocupantes problemas de infraestrutura básica (HALL, 1991; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004). Em 1988, a cidade de Parauapebas, por exemplo, apresentou índices preocupantes de malária, tuberculose, hepatite, meningite, tétano, sarampo e coqueluche (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Embora o Governo tenha concedido incentivos fiscais às empresas e facilitado o acesso à terra, a maioria dos projetos necessitava de uma melhor

infraestrutura oferecida pelo governo regional para promover a agricultura familiar e um desenvolvimento sustentável (FEARNSIDE, 2001).

Diante desse cenário de grande desmatamento e desigualdades sociais, a segunda metade da década de 1980 iniciou trazendo dúvidas sobre como tornar o desenvolvimento da Amazônia Legal sustentável (ANDERSEN *et al.*, 2002; FEARNSIDE, 2005; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Aconteceram uma série de manifestações na sede do Banco Mundial em Washington, capital dos Estados Unidos, devido ao fato de o banco ter viabilizado, por meio de financiamentos, boa parte dos programas e projetos de desenvolvimento social e ambientalmente nocivos realizados na Amazônia Legal, como é o caso do Projeto Grande Carajás (PGC), nos anos 1980, que é considerado o maior e mais ambicioso projeto implementado em área de floresta tropical no mundo (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

O PGC cobria uma área com cerca de 895.000 km², ou seja, o equivalente a 10,6% do Brasil, e era composto por quatro grandes projetos: o Projeto Carajás, que era a base do programa; o complexo de alumínio ALBRÁS-ALUNORTE em Barcarena, próximo de Belém; o complexo de alumina-alumínio ALUMAR em São Luís; e a hidrelétrica de Tucuruí no rio Tocantins. Além disso, o PGC incluía investimentos em infraestrutura em projetos agropecuários, agroindustriais e silviculturais. (HALL, 1991; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Além desse programa, o Programa de Desenvolvimento Integrado do Noroeste do Brasil (Polo Noroeste), que foi um dos principais polos de desenvolvimento, sendo implementado em Rondônia e no norte do Mato Grosso em 1982, foi parcialmente financiado pelo Banco Mundial. O Programa obteve recursos da ordem de US\$ 1,5 bilhões e teve o seu início decretado com o asfaltamento da rodovia Cuiabá-Porto Velho (BR-363), ao qual proporcionou enorme fluxo migratório para a região, e por consequência provocou fortes impactos ambientais e sociais, por meio da extração inadequada de recursos naturais, pressão sobre as terras e povos indígenas, que foram, em grande parte, invadidas por madeireiros, garimpeiros, companhias de mineração e posseiros, e também cortadas por rodovias (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Os consistentes impactos socioambientais ocasionados no Polo Noroeste levaram à interrupção dos empréstimos concedidos pelo Banco Mundial. Também

devido à recessão macroeconômica que o país passava, que embora não tenha afetado tanto essa região, que se manteve a uma taxa média de crescimento do PIB de 7,7% ao ano (3,3% ao ano em termos *per capita*), causou mudanças setoriais, como a desaceleração da atividade industrial. Esta desaceleração da atividade industrial trouxe um maior crescimento da agricultura, da pecuária e do setor de serviços (MARGULIS, 1990).

Assim, no final da década de 1980 e início da década de 1990, foram implementadas políticas públicas que conceberam e delinearão uma série de programas destinados a conter o desmatamento e promover o desenvolvimento sustentável, sob a perspectiva da conservação da floresta na Amazônia Legal.

Em 1981, aconteceu a criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que incluiu, além dos representantes dos ministérios, representantes de ONG'S, permitindo assim abranger Recursos Hídricos as opiniões da sociedade civil no processo de tomada de decisão (SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Em 1988, foi inaugurado o programa "Nossa Natureza", que favoreceu as comunidades e governos locais que não tinham recebido qualquer apoio do governo federal (ANDERSEN *et al.*, 2002; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Outro programa foi o de Polos Florestais do Leste do Amazonas, proposto pela CVRD em 1989, com o objetivo de reflorestar uma área degradada de 1 milhão de hectares afetada pelo Projeto de Mineração Carajás (ANDERSEN *et al.*, 2002; MARGULIS, 1990; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

A criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em 1989, uma nova agência ambiental brasileira à época, também ocorreu neste contexto e formulou uma política ambiental capaz de exigir regulamentação tanto para o desmatamento quanto para a exploração econômica de áreas florestais em propriedades privadas (ANDERSEN *et al.*, 2002; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004).

Criado em 1990 o Plano Nacional de Florestas no Estado de Rondônia (PLANAFLORO), com financiamento do Banco Mundial, teve como objetivo mitigar as consequências do desmatamento de programas de desenvolvimento anteriores em Rondônia (ANDERSEN *et al.*, 2002).

Esses programas e ações para mitigar o desmatamento e proporcionar desenvolvimento sustentável contribuíram para a criação de metodologias

inovadoras de monitoramento e controle de desmatamento e queimadas (ANDERSEN *et al.*, 2002).

Embora este monitoramento já fosse realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 1979, no final da década de 1990, o governo brasileiro investiu em sistemas de monitoramento como o Sistema de Vigilância Ambiental (SIVAM) e o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), que envolveram muitos tipos de dispositivos de sensoriamento remoto, como satélites (RADARSAT, LANDSAT, SPOT), aeronaves equipadas com Scanners Multiespectrais (MSS), *Forward Looking Infravermelho* (FLIR) e Radar de Abertura (AR), aviões de vigilância operados manualmente, estações meteorológicas terrestres e aéreas e monitores de comunicações (ANDERSEN *et al.*, 2002).

Um desses projetos que utiliza satélites LANDSAT é o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), criado em 1988, que realiza o monitoramento por satélite do desflorestamento por corte raso na Amazônia Legal e fornece as taxas anuais de desmatamento na região, por meio de imagens de satélites da classe LANDSAT (20 a 30 metros de resolução espacial e taxa de revisita de 16 dias) numa combinação que busca minimizar o problema da cobertura de nuvens e garantir critérios de interoperabilidade (PRODES AMAZÔNIA, 2020).

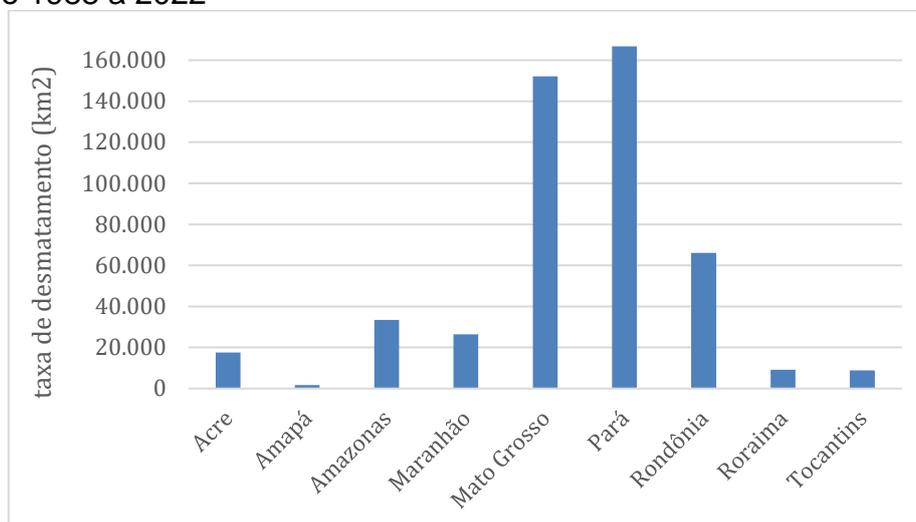
O monitoramento realizado pelo INPE indicou que o desmatamento estava concentrado em poucas regiões, conforme demonstrado na Figura 2, com 76% dos novos desmatamentos ocorrendo na região que passou a ser denominada de Arco do Desmatamento¹. Em 1998, quase 80% do desmatamento concentrava-se apenas nos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia (MARGULIS, 2003).

Entre 1988 e 1991, a série PRODES registrou uma queda na taxa de desmatamento, ocasionada pela recessão econômica e pela hiperinflação que dominou a economia do Brasil principalmente na década de 1980, fazendo com que o governo não conseguisse destinar fundos para a construção de estradas e projetos de assentamento. Neste mesmo cenário, os proprietários rurais também não conseguiram ampliar seus investimentos, sendo a situação ainda mais agravada quando o presidente Fernando Collor de Mello confiscou contas bancárias

¹ Entende-se por arco do desmatamento, a região onde a fronteira agrícola avança em direção à floresta e também onde encontram-se os maiores índices de desmatamento da Amazônia. São 500 mil km² de terras que vão do leste e sul do Pará em direção oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre (IPAM, 2023).

em março de 1990, liberando-as novamente e realizando a devolução dos valores em parcelas ao longo de anos (FEARNSIDE, 2005).

Figura 2 - Taxa de desmatamento (KM²) dos estados da Amazônia Legal para o período de 1988 a 2022



Fonte: Elaboração própria com base em dados do desmatamento disponibilizados pelo INPE (2022)

Já em 1995 a taxa de desmatamento sofreu uma alta bastante relevante, no mesmo momento em que a economia do Brasil se recuperava por meio do Plano Real, que motivou uma maior disponibilidade de capital e por consequência um aumento de crédito agrícola. Em 1996 e 1997, o Plano Real reduziu a taxa de inflação de forma drástica, o que ocasionou uma queda de 50% no valor da terra, em relação a 1995, tornando o mercado imobiliário menos promissor por quatro anos (FEARNSIDE, 2005).

Em todo o período anterior à 2004 as áreas desmatadas na região totalizavam cerca de 680.000 km² (19% da área original da floresta) (DE SOUZA; MIZIARA; DE MARCO JUNIOR, 2013). Entre 2001 a 2003 houve uma perda de florestas de, em média, 21.737 km² por ano. No ano de 2004, as terras privadas cobriam 24% da Amazônia Legal, as de propriedade federal 47% e 29% eram de áreas protegidas e territórios indígenas. Até este período, quase 95% de todo o desmatamento ocorreu dentro de um raio de 5,5 km de estradas e 82% foi concentrado em três estados: Mato Grosso (37%), Pará (31%) e Rondônia (14%) (WEST; FEARNISIDE, 2021).

O governo, nesta época apontou que a falta de colaboração entre os órgãos ambientais federais, estaduais e municipais e de detecção oportuna do

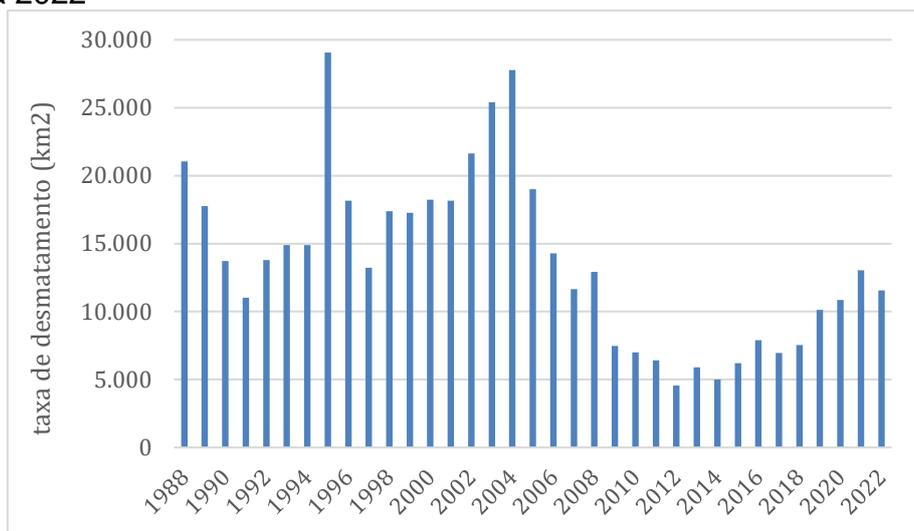
desmatamento era fatores relevantes que ocasionaram a apropriação indevida de terras e o desmatamento. Diante desse cenário, em 2004 o governo criou o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), que na década de 2020 encontra-se em sua quarta fase. Este programa busca promover a redução da taxa de desmatamento envolvendo órgãos federais, estaduais e municipais, além do setor privado e da sociedade através de ações em conjunto com o INPE, por meio do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), com detecção do desmatamento quase em tempo real pelas imagens de satélite pelo monitoramento do Espectro Radiômetro de Imagem de Resolução Moderada MODIS (resolução de 6,25 ha) e aplicação da lei no local em áreas prioritárias (WEST; FEARNSIDE, 2021).

Conforme Figura 3, de 2004 para 2008 houve uma queda na taxa de desmatamento de 27.772 km² para 12.911 km² (-53%), de acordo com os dados do programa PRODES. No entanto, foi identificado um aumento de 11% na perda florestal entre 2007 e 2008 (de 11.633 km² para 12.911 km²), impulsionada principalmente por grandes e médias fazendas de bovinocultura. Em resposta a esta perda florestal o governo, por meio da Lei de Crimes Ambientais, a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998), estabeleceu fundamentos para aplicar infrações ambientais e sanções administrativas correlatas, enquanto a Resolução nº 3.545 de 28 de fevereiro de 2008 do Banco Central do Brasil e do Conselho Monetário Nacional (BRASIL, 2008a) restringiu o acesso ao crédito de bancos públicos para proprietários de terras em desacordo com as regulamentações ambientais, com a condição de não possuir multas pendentes por desflorestamento ilegal, obtendo um efeito significativo na redução do desmatamento nos próximos anos (FEARNSIDE, 2022; WEST; FEARNSIDE, 2021).

Também no ano de 2008 foi criado o Fundo Amazônia, por meio do Decreto Federal nº 6.527 de 1 de agosto de 2008 (BRASIL, 2008b), com o objetivo de captar recursos para investimentos não reembolsáveis em ações de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento e de promoção da conservação e do uso sustentável da Amazônia Legal (Fundo Amazônia, 2023). Inicialmente o fundo começou com uma grande oferta do governo norueguês, sendo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) o responsável por arrecadar os recursos, que são recompensados com certificados de redução de emissão de

carbono, definidos anualmente pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Nos anos iniciais, de 2009 a 2011, o fundo recebeu doações da Noruega (R\$ 86 milhões), Alemanha (R\$ 6,6 milhões) e da Petrobrás, empresa brasileira de petróleo de economia mista (R\$ 7,3 milhões) (FEARNSIDE, 2022).

Figura 3 - Taxa de desmatamento ao ano (KM²) para a Amazônia Legal no período de 1988 a 2022



Fonte: Elaboração própria com base em dados do desmatamento disponibilizados pelo INPE (2022)

Outros dois acontecimentos contribuíram com a redução do desmatamento no ano de 2007. O primeiro foi o cenário econômico originado pelas forças de mercado principalmente pela queda nos preços dos principais produtos de exportação da região, a soja e a carne bovina. Neste período houve aumento de 80% no valor da moeda brasileira em comparação com o dólar norte-americano, o que tornou as exportações menos rentáveis para a agropecuária, que tinha suas despesas pagas em reais e recebiam seus lucros sobre as exportações em dólares (FEARNSIDE, 2022). O segundo acontecimento está relacionado a iniciativas da agroindústria, que realizou duas ações para diminuir a taxa de desmatamento, em complemento as medidas já realizadas pelo governo e impulsionada pela pressão de organizações ambientais internacionais e de consumidores ambientalmente engajados. A primeira ação foi a “moratória da soja”, em 2006, que excluía de compra pelas indústrias toda a soja plantada em área desmatada após esta data. Esta primeira ação serviu de modelo para uma segunda ação moratória do setor de carne bovina e do couro, que ficou conhecida como a “moratória da carne” de 2009, realizada pelos quatro maiores frigoríficos da época (MACEDO *et al.*, 2012).

Estudos feitos com estimativas por meio da combinação de informações do satélite pelo monitoramento do MODIS, de estatísticas agrícolas do IBGE e de dados do desmatamento disponibilizadas pelo INPE, indicaram que houve um aumento constante na área cumulativa plantada após 2005, diminuindo o desmatamento de novas terras, de forma que a expansão da soja ocorreu em terras previamente desmatadas durante esse período (MACEDO *et al.*, 2012).

Diante dessas ações realizadas pelo governo, pelo Banco do Brasil, pela agroindústria e pelo cenário econômico que pressionava as *commodities* de 2008 a 2012, a taxa de desmatamento continuou diminuindo e alcançou seu menor valor, analisado pela série PRODES, em 2012 (4.571 km²). No entanto, nesse mesmo ano o preço da soja voltou a subir, alcançando o nível de 2004 e houve uma importante mudança política por meio da Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), o Código Florestal Brasileiro, que permitiu remover restrições e perdoar as derrubadas ilegais realizadas até 2008, tornando mais fácil a obtenção da permissão oficial para desmatar legalmente e da expectativa, por meio dos empresários, fazendeiros e grileiros de futuras absolvições (WEST; FEARNESIDE, 2021). Esses fatores, em conjunto com uma série de decisões políticas, ocasionaram novamente o aumento do desmatamento nos anos subsequentes.

Entre os anos de 2012 e 2015 o desmatamento aumentou de 4.571 km² para 6.207 km², assim como o crédito rural que nesse mesmo período passou de R\$ 14,7 bilhões para R\$ 22,4 bilhões (WEST; FEARNESIDE, 2021). Em 2016 o senado aprovou a PEC-65 (BRASIL, 2016a) que permitiu realizar projetos sem a necessidade de licença ambiental e reduziu o poder do Ministério Público (MP) de fiscalizar construtoras, que promovem a construção de estradas, de forma que ao invés de fiscalizar o MP podia apenas aplicar medidas punitivas administrativas e extrajudiciais, o que aumentou o potencial para estimular a construção de rodovias e barragens na região amazônica, liberando os projetos de desenvolvimento das restrições ambientais, o que provavelmente poderia aumentar o desmatamento (PEREIRA *et al.*, 2019; WEST; FEARNESIDE, 2021). No final deste mesmo ano foi aprovada a emenda constitucional da PEC-241 (BRASIL, 2016b), que estabeleceu um teto para o crescimento dos gastos públicos em um período de 20 anos, prejudicando os ministérios que tiveram seus orçamentos congelados, entre eles o MMA que mantém fiscalizações e institutos nacionais que promovem projetos e

ações contra o aumento do desmatamento, como IBAMA (PEREIRA *et al*, 2019).

Essas decisões tomadas pelos governos levaram a redução da ajuda financeira que o Brasil recebe de outros países com a condição de manter à redução do desmatamento na Amazônia Legal. Como a redução do desmatamento não ocorreu, em 2015 e 2016, o governo norueguês decidiu cortar pela metade o financiamento do Fundo Amazônia em 2017. Até 2016, o fundo desempenhou um papel central na promoção de projetos de conservação, reflorestamento, monitoramento e prevenção do desmatamento e uso sustentável dos recursos florestais na Amazônia Legal, arrecadando um total de R\$ 1,2 bilhão em 2016. Contudo, conforme já mencionado, com o aumento do desmatamento o valor doado pela Noruega em 2017 caiu pela metade. Neste ano foi arrecadado R\$ 742 milhões da Noruega, R\$ 132 milhões da Alemanha e R\$ 4 milhões da Petrobras em doações (PEREIRA *et al*, 2020; WEST; FEARNSSIDE, 2021).

Em 2019, houve corte de orçamento no MMA e um corte de 95% do orçamento da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), 26% do orçamento destinado a gestão e implementação da conservação, 24% a fiscalização e controle do IBAMA e 20% a fiscalização ambiental (PEREIRA *et al*, 2020). Com a fiscalização da Amazônia Legal sendo enfraquecida, o aumento do desmatamento voltou a ser mais intenso no período de 2019 a 2022. O sistema PRODES registrou um desmatamento de 7.536 Km² em 2018 e de 11.568 Km² em 2022, um aumento de 54% (INPE, 2022).

2.2 Intensificação da produção agropecuária na Amazônia Legal

Como detalhado na Seção 2.1, um dos acontecimentos que contribuiu para a redução do desmatamento na segunda metade da década de 2000 foi a moratória da soja e a moratória da carne (MACEDO *et al.*, 2012). Diante da moratória da soja, diversos produtores usaram como estratégia desmatar a terra e ocupá-la com pecuária, transformando essas áreas em áreas de pastagens, para em seguida converter as áreas de pastagens em áreas de plantação de soja. Outro motivo apontado é o fato de ser menos custoso converter a área desmatada inicialmente em pastagem do que diretamente em plantação de soja (ALLEN; BARNES, 1985; ANGELSEN; KAIMOWITZ, 1999; BRANDÃO *et al.*, 2006; FARIA; ALMEIDA, 2016;

FEARNSIDE, 2001, 2005, 2017; MARGULIS, 1990; WEST; FEARNSIDE, 2021).

Embora a conversão de áreas desmatadas em pastagens seja o cenário mais comum, o desmatamento para a conversão direta da área para produção de soja também é relevante. Neste sentido, entre 2009 e 2016, 54 municípios do estado do Mato Grosso descumpriram a moratória da soja, levando a um desmatamento de cerca de 59.972 hectares (BARONA *et al.*, 2010).

A lavoura temporária, de produtos como arroz, milho, feijão, soja, cana de açúcar, mandioca e outros, é cultivada, em grande parte, por agricultores de pequenas propriedades, que na maior parte das vezes queimam a floresta para iniciarem o preparo do solo para o cultivo e o utilizam por cerca de três anos, esgotando os nutrientes. Já as lavouras permanentes, como é o caso de produtos como o cacau, café, banana, laranja e outros, apesar de serem mais adaptáveis e menos suscetíveis a doenças, precisam de um investimento dez vezes maior do que as lavouras temporárias (ANDERSEN *et al.*, 2002; ARIMA *et al.*, 2011; WEST; FEARNSIDE, 2021).

Desta forma, as atividades pecuárias se tornaram mais relevantes no desmatamento da Amazônia Legal na década de 1990. Sendo a pecuária em larga escala frequentemente apontada como o principal fator para o desmatamento (ANDERSEN *et al.*, 2002; FEARNSIDE, 2001, 2005; MARGULIS, 1990; SERRA, M. A.; FERNANDEZ, 2004; WEST; FEARNSIDE, 2021).

Isso proporcionou um maior crescimento da pecuária na Amazônia Legal em relação ao restante do país. Outros motivos apontados para este crescimento são devido aos preços da terra serem mais baixos e às pastagens serem mais produtivas do que em outras regiões pecuaristas do país. Também apontam-se como fatores relevantes os subsídios concedidos e os empréstimos realizados para essa região (FEARNSIDE, 2005; MARGULIS, 1990).

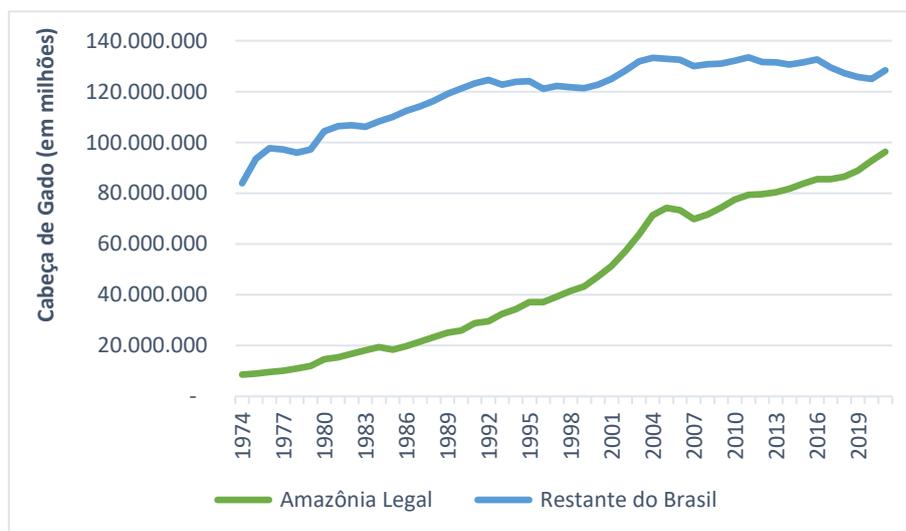
Entre os anos de 1989 e 2002, o banco da Amazônia concedeu empréstimos da ordem de U\$5,8 bilhões para a região, com exceção do Mato Grosso e Maranhão, sendo que cerca de 40% desse valor foram destinados à pecuária. A ocupação e compra de terras para a realização inicial de atividades pecuárias com posterior revenda, também tem sido utilizada na região como uma forma de negócio. Este processo especulativo tem sido realizado com objetivo de comprar terras por um preço mais acessível e vender por um preço mais elevado (ARIMA; BARRETO;

BRITO, 2005).

Apesar da redução nas taxas de desmatamento entre 2005 e 2012, o desmatamento voltou a aumentar nos anos seguintes. No final dos anos 1990, esperava-se que a redução dos incentivos fiscais e o monitoramento por meio de satélites resultasse em uma diminuição no ritmo de desmatamento, porém, outros fatores tornaram-se decisivos nas décadas seguintes, como a pecuária extensiva.

Com base nos dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), divulgada pelo IBGE, entre 1974 e 2021 o rebanho bovino na região cresceu de 8,6 milhões de cabeças para cerca de 96,3 milhões, com uma taxa média de crescimento anual de 5%, enquanto no restante do Brasil, o rebanho passou de 83,9 milhões para 128,3 milhões, com uma taxa média de crescimento anual de 0,92%. Estes dados mostram a relevância da pecuária na Amazônia Legal brasileira, conforme pode ser observado na Figura 4 (IBGE, 2021b).

Figura 4 - Número efetivo de cabeças de gado (milhões) para a Amazônia Legal e demais estados brasileiros para o período de 1974 a 2021



Fonte: Elaboração própria com base nos dados disponibilizados pelo IBGE (2021).

A intensificação do uso do solo é essencial para aumentar a produtividade agrícola e, conseqüentemente, reduzir o desmatamento em novas áreas, bem como, limitar as emissões de GEEs (GARNETT *et al.*, 2013; GARRETT *et al.*, 2018; MORTON *et al.*, 2006; SPERA, 2017; TATEISHI; BRAGAGNOLO; ALMEIDA, 2021).

Nesse sentido, argumenta-se que políticas públicas nacionais e locais promovem a conservação de áreas com mata nativa, pois o monitoramento dessas

áreas e as penalidades decorrentes do desflorestamento influenciam para que haja uma intensificação na produção agropecuária, evitando o desmatamento. Já a ausência de políticas públicas e de aplicação de multas foi identificada como um fator que contribui para a conversão de áreas cobertas com matas nativas em áreas para a produção agropecuária (GARNETT *et al.*, 2013; GARRETT *et al.*, 2018; MORTON *et al.*, 2006; SPERA, 2017; TATEISHI; BRAGAGNOLO; ALMEIDA, 2021).

Morton *et al.* (2006) estudaram o destino das áreas desmatadas no estado do Mato Grosso, no Brasil, com foco em grandes clareiras. Foi constatado que mais de 540.000 hectares foram convertidos diretamente de floresta para terras agrícolas durante o período entre 2001 e 2004, representando 23% do desmatamento anual de 2003. Nesse estudo, os autores também constataram que a pastagem continuou tendo o uso dominante na terra após o desmatamento, sendo que a conversão ocorreu rapidamente, com mais de 90% das áreas de cultivo sendo plantadas no primeiro ano após o desmatamento (MORTON *et al.*, 2006).

Garrett *et al.* (2018), por meio de análise econométrica de dados de sensoriamento remoto e de pesquisa agrícola, analisaram os padrões temporais e espaciais da intensificação de cultivos e pastagens nas fronteiras agroflorestais do estado do Mato Grosso, no contexto de mudanças nas políticas de conservação e desenvolvimento rural. Os autores escolheram esse estado por abranger os biomas Cerrado e Amazônia, além de sua característica em ser o maior estado produtor de soja e pecuária de corte do Brasil e por apresentar um dos mais altos níveis de desmatamento para expansão agrícola globalmente.

Nos resultados, Garrett *et al.* (2018) identificaram que as políticas de conservação florestal influenciaram os padrões de intensificação agrícola. Para regiões com políticas mais rígidas houve maior cultivo duplo nas áreas e maior taxas de lotação de animais por área de pastagem, mas isso foi reduzido onde havia muitas florestas disponíveis. Melhorias na governança, como penalidades e monitoramento, tiveram efeitos positivos na intensificação da cultura e resultados mistos nas taxas de lotação. A intensificação agrícola foi mais rápida em regiões próximas às instalações de processamento de soja, e a demanda por ração influenciou o cultivo duplo e as taxas de lotação. No entanto, Garrett *et al.* (2018) observaram que não houve evidências de que a intensificação de cultivos promova a intensificação de pastagens no mesmo município ou em municípios vizinhos.

Spera (2017) correlacionou dados do IBGE e análises socioeconômicas de alguns estudos para Goiás e Mato Grosso. Para Goiás, os resultados mostraram que houve um aumento significativo na área plantada de cana-de-açúcar, de cultivos duplos de soja e milho, e nas taxas de lotação bovina entre 2003 e 2016. No entanto, o desmatamento total do Cerrado nesse período foi inferior a 10% do total, indicando que os agricultores têm convertido pastagens degradadas em áreas de cultivo e intensificado a agricultura existente para aumentar a produção. Da mesma forma, no Mato Grosso, as rotações intensivas de cultivo duplo de soja e milho aumentaram significativamente entre 2001 e 2016. Além disso, as taxas de desmatamento na Amazônia e no Cerrado diminuíram nesse estado entre 2006 e 2015. Spera (2017) avalia que esses resultados indicam que, nessas condições específicas, a intensificação da agricultura tem sido uma estratégia eficaz para aumentar a produção agrícola sem a necessidade de desmatar novas áreas. Em sua análise feita para o Matopiba, região que abrange os estados do Maranhão, de Tocantins, do Piauí e da Bahia, Spera (2017) aponta que em 2015, 15% da agricultura de grande escala no Matopiba era de cultivo duplo, o que poderia proporcionar grandes ganhos na produção agrícola e melhorar as pastagens degradadas e aumentar a produtividade em 20%, o que permitiria ao Brasil atender à demanda futura de alimentos (SPERA, 2017).

Tateishi *et al.* (2021) analisaram a interdependência entre a conversão de terras florestais e o uso econômico da terra na Amazônia Legal brasileira, de 2006 a 2017. Os autores avaliaram os ganhos econômicos incrementais da conversão florestal na perspectiva da eficiência ambiental e as causas e implicações da interdependência com base em uma estrutura de transição florestal. Para essa análise Tateishi *et al.* (2021) utilizaram uma Análise de Fronteira Estocástica (SFA) e uma análise espacial estatística. Os resultados apontaram que houve um desmatamento incremental leve, porém persistente, na Amazônia Legal, apesar de a conversão de terras em atividades econômicas ter sido menos rentável. Já no nordeste do Pará, próximo à divisa com o Maranhão, foi encontrada uma região onde o valor da floresta pode estar compensando a conversão da terra. Em algumas regiões, como ao sul de Rondônia e noroeste de Mato Grosso, houve estabilidade no uso de insumos e desmatamento ao longo do período analisado. Também foram identificados sinais instáveis no nordeste do Mato Grosso, sudeste do Pará e oeste do Tocantins, que podem retornar à área de fronteira florestal, com a conversão de

terras se espalhando novamente sobre o Mato Grosso e o Pará a partir do Tocantins. Nas regiões que incluem o lado leste do Amazonas passando para o Pará e Acre, é provável que ocorra um desmatamento extensivo, bem como, no nordeste do Pará, próximo ao estado do Amapá, onde há pressões tanto do sul quanto do norte do Pará (TATEISHI *et al.* 2021).

Por fim, de maneira geral, pode-se observar que os estudos de Garnett *et al.* (2013), Garrett *et al.* (2018), Morton *et al.* (2006), Spera (2017) e Tateishi *et al.* (2021), abordaram a importância em conciliar a intensificação agrícola com a preservação das florestas tropicais na região da Amazônia Legal.

2.3 Produtividade Total dos Fatores na agricultura brasileira

Para Barros (1999) o conceito de PTF é relativamente simples e representa a variação na parte do crescimento do produto que não é explicada pela variação na quantidade dos insumos, de forma que alterações no produto de uma economia podem ser atribuídas a duas fontes principais: variações nas quantidades dos fatores ou nas mudanças da PTF.

Embora seja um conceito simples, a mensuração da PTF exige cuidado e atenção para relacionar a teoria econômica junto ao processo de alocação mais eficiente dos recursos e ao avanço tecnológico na produção agropecuária. Segundo Griliches (1963), para mensurar a produtividade agrícola é importante reconhecer as mudanças que aperfeiçoaram os insumos ao longo dos anos, como o avanço na tecnologia de tratores, a aprimoração dos fertilizantes e o aumento no nível de educação dos trabalhadores agrícolas.

No Brasil alguns autores têm realizado estudos para mensurar a PTF na produção agropecuária, por meio de diversos métodos, bases de dados e períodos. Machado *et al.* (2020) e Bragagnolo *et al.* (2021) sintetizaram alguns estudos sobre a PTF na agropecuária brasileira. No Quadro 1 é apresentada a síntese dos trabalhos citados nestes estudos.

Machado *et al.* (2020) realizaram uma revisão sistemática dos estudos que calcularam a PTF da agropecuária brasileira. Os autores se propuseram a discutir a evolução da produtividade da agricultura, especialmente para o Brasil, por diferentes óticas. Como resultado, a pesquisa confirma a tendência de crescimento da PTF da

agricultura brasileira, embora diagnosticando a divergência em valores absolutos desse crescimento de acordo com o período analisado, método empregado e dados utilizados.

O estudo de Bragagnolo *et al* (2021) além de estimar a produtividade total dos fatores (PTF) para a agricultura (lavouras permanentes e temporárias) brasileira por meio de uma função de produção translog com dados em painel para o período 1995 a 2017, sintetiza os resultados obtidos por estudos que calcularam o crescimento da PTF para a agropecuária brasileira, cujos períodos de análise, bases de dados e metodologias utilizadas diferem.

Quadro 1 - Trabalhos selecionados que incluem estimativas da PTF agrícola para regiões selecionadas do Brasil

(continua)

Autores	Local	Método	Período	Crescimento anual da PTF %	Fontes dos dados
Bonelli & Fonseca (1998)	Brasil	Contabilidade do Crescimento	1975–1996	0,85	para os setores econômicos brasileiros de 1985 a 1996
Fulginiti & Perrin (1998)	Painel de países	Função Paramétrica e índice Malmquist	1961–1985	-0,03	18 países em desenvolvimento em 1961–1985
Pereira <i>et al.</i> (2002)	Brasil e UFs	Índice de Malmquist	1970–1980 1970–1996	3,22 1,90	Censo Agropecuário para 1970–1996
Nin <i>et al.</i> (2003)	Brasil	Índice de Malmquist	1961–1985	-0,18	FAO Stat
Vicente (2004)	Brasil e UFs	Índice de Malmquist	1970–1995	1,62	Censo Agropecuário e preços da FGV e IEA
Bravo-Ortega & Lederman (2004)	Painel de países	Fronteira Estocástica com Função Translog	1960–2000	1,93	painel de países para 1960–2000
Fuglie (2008)	Painel de países	Função de Produção Cobb-Douglas estimada para Dados em Painel	1970–1979 1980–1989 1990–1999 2000–2006	-0,54 3,13 - 3,13 3,00 3,66	para diversos países em 1970–2006

(continua)

Gasques <i>et al.</i> (2009)	Brasil e UFs	Índice Tornqvist	1975–2008 2000–2008	3,66 4,98	Índice Tornqvist para as UFs brasileiras 1975–2008
Mendes <i>et al.</i> (2009)	Painel de países	Dados em Painel com Efeitos Fixos e uma Função de Produção Cobb-Douglas com Retornos Constantes de Escala	1985–1994 1995–2004 1985–2004	1 1,06 1,03	Anuários Estatísticos, Ipea, Embrapa e Censo para as Ufs brasileiras em 1985–2004
Rada <i>et al.</i> (2009)	Brasil	Fronteira Estocástica	1995–2006	0,35	Censo Agropecuário
Avila & Evenson (2010)	Painel de países	Contabilidade do Crescimento	1961–1980 1981–2001 1961–2001	0,49 3,22 1,86	FAO Stat para países selecionados em 1961–2001
Ávila <i>et al.</i> (2010)	Brasil	Resíduo	1970–1995	3,54	Censo agropecuário
Bragagnolo <i>et al.</i> (2010)	Brasil, UFs e municípios	Fronteira Estocástica com Função Translog	1975–1985 1985–1995 1995–2006 1975–2006	1,6 2,2 5,8 3,2	Censo agropecuário
Ludena (2010)	Painel de países	Índice de Malmquist	1961–1970 1971–1980 1981–1990 1991–2000 2001–2007 1961–2007	-0,6 1,5 3,4 2,4 2,8 1,8	FAO para 1961–2007
Brigatte & Teixeira (2011)	Brasil	Resíduo	1977–2005	0,47	Ipea Data, FGV, IBGE, Anfavea
Gasques <i>et al.</i> (2012)	Brasil e UFs	Índice Tornqvist	1970–2006	3,44	Censo agropecuário
Rada & Buccola (2012)	Brasil e microrregiões do IBGE	Fronteira de Distância de Insumos Agrícolas com Função Cobb-Douglas Generalizada	1985–2006	2,62	para 558 microrregiões brasileiras em 1985–2006

(conclusão)

Gasques <i>et al.</i> (2014, 2016)	Brasil e UFs	Índice Tornqvist	1975–1979 1980–1979 1990–1999 2000–2009 2010–2014 1975–2014	3,18 2,28 2,98 3,96 4,03 3,53	PAM e Censo agropecuário (IBGE) para as UFs brasileiras
Helfand <i>et al.</i> (2015)	Painel de países	Fronteira Estocástica com Função de Produção	1985–2006	1,74	Censo agropecuário; FGV para o Brasil em 1985–2006, calculado de acordo com a escala de área
Ferreira <i>et al.</i> (2016)	Painel de países	Fronteira Estocástica	1961–2010	0,08	Dados da Penn World Table para países da América latina em 1961–2010
IFRI (2018)	Painel de países em desenvolvimento	Índice Tornqvist para um Painel	1991–2000 2001–2010 2011–2014	1,4 3,1 0,6	países em desenvolvimento para 1991–2014
Santos & Spolador (2018)	Brasil	Resíduo de Solow	1981–2013	2,1	Ministério de Minas e Energia e da Pnad para 1981–2013
Lázari & Magalhães (2019)	Região Sudeste	Fronteira Estocástica com Função Translog	1985–2006	3,12	para o Sudeste em 1985–2006, calculado de acordo com a escala de área
Bragagnolo <i>et al.</i> (2021)	Regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste	Fronteira Estocástica com Função Translog	1995-2006 2006-2017 1995-2017	2,33 3,73 3,03	Censo agropecuário

Fonte: elaboração própria com base nos dados do estudo realizado por Machado, Bacha e Johnston (2020) e Bragagnolo *et al.* (2021).

2.4 Produtividade Total do Fatores e subprodutos indesejáveis

No estudo realizado por Bragagnolo e Tateishi (2021) o objetivo foi estimar a PTF e a sua relação com as emissões de dióxido de carbono na agricultura brasileira, por meio do método de Malmquist. Como resultado o estudo apontou que o crescimento da produtividade, da eficiência técnica e da mudança tecnológica contabilizados por meio dos índices que levam em consideração a existência de emissões de dióxido de carbono no setor são sensivelmente inferiores aos valores

dos índices que não levam em consideração a existência destes subprodutos.

Vários estudos de PTF têm levado em consideração a existência de subprodutos indesejáveis, insumos indesejáveis ou o setor de energia nas medidas apresentadas com abordagens que variam bastante (EMROUZNEJAD; YANG, 2018; LI *et al.*, 2017; SHEN; BOUSSEMART; LELEU, 2017; SHI; LI, 2019; SONG *et al.*, 2012; SUEYOSHI; YUAN; GOTO, 2017; ZHOU; ANG; POH, 2008).

No Quadro 2, sintetiza-se o setor, o local, o período, o método e o resultado encontrado nos estudos dos autores Chung *et al* (1997), Hailu e Veeman (2001), Kumar (2006), Mahlberg *et al.* (2011), Chen e Golley (2014), Li e Lin (2015), Li *et al.* (2017), Yang *et al.* (2017), Zhang *et al.* (2011), Li e Lin (2016), Song *et al.* (2018), Wang e Feng (2015), Tian e Lin (2017), Liu e Feng (2019), Bragagnolo e Tateishi (2021), Myeki *et al* (2023) e Sidhoum (2023).

O estudo de Chung *et al* (1997) e Hailu e Veeman (2001) levam em consideração insumos de energia e vários poluentes ambientais para estimar uma PTF que leva em consideração subprodutos indesejáveis para os setores industriais sueco e canadense, respectivamente.

Kumar (2006) estima a PTF de países em desenvolvimento e desenvolvidos, por meio do índice de Malmquist (M) e de Malmquist-Luenberger (ML), incorporando insumos de energia e emissões de CO₂. Os resultados demonstraram um crescimento de 0,9998% para o índice de Malmquist (M) e de 1,0002% para o índice de Malmquist-Luenberger (ML). Na análise analítica feita pelo autor (Kumar (2006), o mesmo notou em seu estudo a constatação de Kopp (1998), na qual os países desenvolvidos experimentaram progredir de uma forma que mitigue emissões CO₂, mas que os países em desenvolvimento.

Mahlberg *et al.* (2011) examinam as forças motrizes das mudanças “verdes” da PTF levando em consideração os gases de efeito estufa.

Chen e Golley (2014) e Li e Lin (2015) medem a PTF levando em consideração subprodutos indesejáveis para setores industriais da China.

Tian e Lin (2017) fazem um cálculo de PTF que leva em consideração os subprodutos indesejáveis para as exportações industriais da China. Liu e Feng (2019) realizaram uma medida da PTF que leva em consideração os subprodutos indesejáveis para o setor agrícola chinês.

Bragagnolo e Tateishi (2021), Myeki *et al* (2023) e Ait (2023) estimaram a

PTF por meio do índice de Malmquist, comparando a PTF tradicional com a que leva em consideração os subprodutos. Bragagnolo e Tateishi (2021) estimam a PTF municipal descontada das emissões de gases de efeito estufa para a agricultura brasileira. Myeki *et al* (2023) realizaramo estudo para 49 países africanos e Ait (2023) para Catalunha - região nordeste da Espanha.

Quadro 2 - Trabalhos selecionados que incluem a geração de subprodutos indesejáveis no cálculo da PTF

(continua)

Autores	Setor	Local	Período	Método	Crescimento em %
Chung <i>et al.</i> (1997)	Industrial - papel e celulose	Suécia	1986-1990	Malmquist (M) Malmquist-Luenberger (ML)	0,997% 1,039%
Hailu e Veeman (2001)	Industrial - papel e celulose	Canadá	1959 - 1994	DEA com saídas indesejáveis	3,9% 2,1%
Kumar (2006)	Toda economia	41 países em desenvolvimento e desenvolvidos	1971 - 1992	Malmquist (M) Malmquist-Luenberger (ML)	0,9998% 1,0002%
Mahlberg <i>et al.</i> (2011)	Toda economia	14 países da União Europeia	1995 - 2004	DEA com saídas indesejáveis	1,2% 1,23%
Zhang <i>et al.</i> (2011)	Industrial	China		Malmquist (M) Malmquist-Luenberger (ML)	1,0484% 1,0246%
Chen e Golley (2014)	Industrial	China	1980-2010	Função de Distância Direcional (DDF) Malmquist-Luenberger (ML)	2,4% 2,5%
Li e Lin (2015)	Industrial	China	1998 - 2011	Malmquist (M) Malmquist-Luenberger (ML)	10,03% 2,66% - 3,18%
Tian e Lin (2017)	Exportações industriais	China	1997 - 2002 2002 - 2007 2007 - 2012	Malmquist-Luenberger (ML)	1,169% 1,123% 1,089%
Liu e Feng (2019)	Agrícola	China	2005 - 2010 2011 - 2016	DEA global	0,5785% 0,4486%
Bragagnolo e Tateishi (2021)	Agrícola	Municípios brasileiros	2006 - 2017	Malmquist (M) Malmquist global (GM) Malmquist-Luenberger (ML) Global Malmquist-Luenberger (GML)	5,13% 5,10% 0,63% 0,40%

(conclusão)

Myeki <i>et al</i> (2023)	Agrícola	49 países africanos	2000 - 2019	Malmquist global (GM) Malmquist-Luenberger (GML)	0,9% 0,6%
Ait (2023)	Agrícola	Catalunha - região nordeste da Espanha	2011 - 2015	Malmquist (M) Malmquist-Luenberger (ML)	0,998% 0,027%

Fonte: Elaboração própria com base em Bragagnolo e Tateishi (2021) e demais estudos.

3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

3.1 Metodologia

O Índice de Malmquist, proposto por Malmquist (1953), concebido para avaliar a variação da produtividade ao longo do tempo, ganhou destaque por meio das pesquisas de Caves *et al.* (1982a, 1982b). Em trabalhos subsequentes, notadamente de acordo com as análises de Coelli *et al.* (1998), o índice passou a ser aplicado no cálculo da Produtividade Total de Fatores (PTF), utilizando o conceito de função distância. Nessa abordagem, são comparadas medidas em dois períodos distintos, o período inicial (t) e o período final ($t+1$). A eficiência é então calculada com base em uma determinada tecnologia, podendo ser orientada pelo insumo ou pelo produto.

Coelli *et al.* (1998) esclarecem que a orientação pelo produto mensura o quanto o produto pode ser proporcionalmente aumentado ao manter constante a quantidade de insumos utilizados. Em contrapartida, a orientação pelo insumo indica o quanto os insumos podem ser proporcionalmente reduzidos sem que haja uma diminuição correspondente na produção.

Segundo Chung *et al.* (1997), o índice de Malmquist é um índice de PTF que requer apenas informações sobre quantidades de fatores de produção e produtos, em contraste com os índices de Fisher e Tornqvist que, além dos dados de quantidade, requerem informações sobre preços de fatores de produção e produtos. Isto torna estes índices inadequados para medir a produtividade na presença de bens não comercializáveis, como é o caso dos produtos indesejáveis aqui considerados.

Conforme Färe *et al.* (1994b; 1994a), as funções de distância podem ser definidas como interpretações de funções de tecnologia de múltiplos produtos e/ou múltiplos insumos. Desta forma, o índice de Malmquist pode ser calculado através de um modelo de programação linear do tipo Análise Envoltória de Dados, cujo acrônimo em inglês é DEA – *Data Envelopment Analysis*, sendo desta forma conhecido como índice de Malmquist-DEA. Por meio deste modelo é possível realizar a construção da fronteira de produção num dado período de tempo e/ou para períodos distintos de tempo.

Desta forma, originalmente o índice de Malmquist se baseia nas funções de distância de produto de Shephard (1970), dada a combinação produtos e fatores (x , y), conforme expressão (1).

$$D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = \inf \{ \theta : (x^{t+1}, y^{t+1} / \theta) \in S^t \} \quad (1)$$

O índice de Malmquist tradicional (M) é orientado para o produto, baseia-se no cálculo da razão entre as distâncias à fronteira construída dos dois pontos de produção para uma mesma unidade analisada, assim a função distância mede a mudança proporcional máxima do produto, que é necessária para tornar o par ordenado de produtos e fatores de produção viável em relação à tecnologia disponível. A função é definida de acordo com a expressão (2).

$$M^{t,t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \right) \right] \left[\left(\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$M^{t,t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = EC_M^{t,t+1} \times TC_M^{t,t+1}$$

$$EC_M^{t,t+1} = \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \quad (2)$$

$$TC_M^{t,t+1} = \left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \right] \left[\left(\frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Na qual $M^{t,t+1}$ representa o índice de produtividade de Malmquist para o crescimento no período t para $t+1$, a equação $EC_M^{t,t+1}$ é a mudança na eficiência técnica do período t para $t+1$ e a equação $TC_M^{t,t+1}$ é a mudança tecnológica para o índice de Malmquist do período t para $t+1$.

O índice de Malmquist Global (GM) foi desenvolvido por Pastor e Lovell (2005b) e é baseado em uma tecnologia de produção global e não na tecnologia contemporânea, diferenciando-se desta forma do índice de Malmquist tradicional.

Ambos os índices comparam x^{t+1}, y^{t+1} a x^t, y^t , mas usam referências diferentes. Para a tecnologia de referência global, Pastor e Lovell (2005b) a definiram como $T_C^G = \text{conv}\{T_C^1 \cup \dots \cup T_C^T\}$. E a tecnologia de referência contemporânea, com retornos constantes de escala (c), como $T_C^t = \{(X^t, Y^t) | X^t\}$. Os autores definem a função de distância com retornos constantes à escala (CRS) é definida de acordo com a expressão (3).

$$D^G(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \min\{\emptyset > 0 \mid (x, y) / \emptyset \in T_C^G\} \quad (3)$$

Seguindo a proposta de Pastor e Lovell, (2005b), o índice de Malmquist Global $GM^{t,t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1})$ para um produto com a tecnologia T_C^G do período t para $t+1$ pode ser representado de acordo com as duas primeiras equações na expressão (4). As duas equações seguintes correspondem à mudança na eficiência ($EC_{GM}^{t,t+1}$) do período t para $t+1$ e à mudança tecnológica ($BPC_{GM}^{t,t+1}$) do período t para $t+1$, respectivamente.

$$GM^{t,t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D^G(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^G(x^t, y^t)}$$

$$GM^{t,t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = EC_{GM}^{t,t+1} \times \frac{BPC_{t+1}^{t,t+1}}{BPC_t^{t,t+1}} = EC_{GM}^{t,t+1} \times TC_{GM}^{t,t+1}$$

$$EC_{GM}^{t,t+1} = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \quad (4)$$

$$BPC_{GM}^{t,t+1} = \left(\frac{D^G(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \left(\frac{D^t(x^t, y^t)}{D^G(x^t, y^t)} \right)$$

O índice de produtividade de Malmquist-Luenberger (ML), que foi desenvolvido por Chung *et al* (1997), inclui no cálculo da produtividade os subprodutos indesejáveis gerados nos processos produtivos. Já que a função de distância de produção de Shephard utilizada por Malmquist (1953), aumenta simultaneamente os produtos desejáveis (x) e os subprodutos indesejáveis (y). Assim, por meio de uma função de distância direcional, conforme a expressão (5), os autores buscam aumentar os produtos desejáveis ao mesmo tempo que diminuem os subprodutos indesejáveis, sendo (g) o vetor de direções nas quais os resultados são baseados.

$$\vec{D}_0(x, y, b; g) = \sup\{\beta: (y, b) + \beta g \in P(x)\} \quad (5)$$

As expressões (6) e (7) apresentam o índice de Malmquist-Luenberger (ML). A expressão $ML^{t,t+1}$ representa a variação no índice de produtividade Malmquist-Luenberger do período t para $t+1$.

$$\begin{aligned}
ML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) &= \left[\left(\frac{1 + \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, -b^{t+1})} \right) \right. \\
&\quad \left. \times \left(\frac{1 + \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, -b^{t+1})} \right) \right]^{1/2} \\
&= ML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) = EC_{ML}^{t,t+1} \times TC_{ML}^{t,t+1} \quad (6)
\end{aligned}$$

$$EC_{ML}^{t,t+1} = \frac{1 + \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, -b^{t+1})}$$

$$TC_{ML}^{t,t+1} = \left[\left(\frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t, -b^t)}{1 + \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t, -b^t)} \right) \left(\frac{1 + \vec{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, -b^{t+1})}{1 + \vec{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, -b^{t+1})} \right) \right]^{1/2} \quad (7)$$

Oh (2010b) propôs uma alteração nos modelos apresentados anteriormente, o modelo conhecido como índice de produtividade Global Malmquist-Luenberger (GML), que também busca identificar os subprodutos indesejáveis, mas agora no contexto de uma tecnologia de produção global. Assim como no índice GM, para definir o índice GML, consideram-se duas tecnologias de referência: a tecnologia de referência contemporânea e a tecnologia de referência global. Na tecnologia de referência contemporânea o conjunto de produção é construído exclusivamente em um único período t . A tecnologia de referência global, por sua vez, incorpora informações para todos os períodos ($t=1, \dots, T$) disponíveis na amostra de dados em painel para o problema em questão. Neste modelo o índice GML incorpora as heterogeneidades *ex-ante* entre os grupos no cálculo do crescimento da produtividade do índice. De acordo com Oh (2010a, 2010b), se uma atividade de produção gera mais (ou menos) produtos desejáveis e menos (ou mais) subprodutos indesejáveis, o resultado poderá ser o valor maior (ou menor) do que 1, mostrando ganho (ou perda) de produtividade. A expressão (8) apresenta o cálculo do modelo GML.

$$\begin{aligned}
GML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) &= \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \\
GML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) &= \frac{TE^{t+1}}{TE^t} \times \frac{BPG_{t+1}^{t,t+1}}{BPG_t^{t,t+1}} = EC_{GML}^{t,t+1} \times TC_{GML}^{t,t+1} \quad (8) \\
EC_{GML}^{t,t+1} &= \frac{1 + D^t(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}
\end{aligned}$$

$$BPC_{GML}^{t,t+1} == \frac{(1 + D^G(x^t, y^t, b^t))/(1 + D^t(x^t, y^t, b^t))}{(1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}))/(1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}))}$$

Na qual TE^{t+1} é a eficiência técnica e $EC_{GML}^{t,t+1}$ é a mudança de eficiência. A expressão $BPG^{t,t+1}$ é o intervalo para a melhor prática entre uma fronteira de tecnologia contemporânea e uma fronteira de tecnologia global ao longo do tempo na direção (y_s, b_s) . Portanto, $BPC_{GML}^{t,t+1}$, é o intervalo com relação à melhor prática entre os dois períodos, ou seja, a mudança tecnológica entre os dois períodos.

Oh (2010a, 2010b) propôs ainda uma classificação usando código de cores de acordo com os índices de produtividade, em que: i) se um local apresenta índices de crescimento da produtividade ambientalmente sensíveis (GML ou ML) maiores do que os índices de crescimento da produtividade típicos (GM ou M), o crescimento econômico ocorre simultaneamente à diminuição das emissões e a localidade é classificada como “verde”; ii) se, por outro lado, o índice de crescimento da produtividade ambientalmente sensível for menor do que o índice de crescimento da produtividade típico, existe ênfase no crescimento econômico em detrimento das questões ambientais e a localidade é classificada como “amarela”.

A partir dos índices propostos pretende-se medir e avaliar o crescimento da PTF na agricultura da Amazônia Legal, entre 2006 e 2017 e calcular as medidas de produtividade ambientalmente sensíveis, ou seja, aquelas que consideram a geração de gases de efeito estufa no processo de produção na região da Amazônia Legal, aplicando, após cálculo e análise, a lógica de classificação por cores descrita por Oh (2010a, 2010b) classificando os municípios como “verdes” ou “amarelos”.

3.2 Bases de dados

Os dados utilizados nesta pesquisa abrangem o Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário estadual a preços de 2010, divulgado pelo IBGE e disponível no IPEADATA (2020), os Censos Agropecuários do IBGE de 2006 e 2017 e os dados da Produção Agrícola - PAM, todos divulgados pelo IBGE (IBGE, 2009, 2019, 2022). Complementando a base, foram incluídos dados do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (SEEG, 2022) para os

mesmos anos, expressas em dióxido de carbono equivalente² (CO₂e) e calculados pela métrica de Potencial de Aquecimento Global (GWP)³.

Como *proxy* para o produto agropecuário optou-se por utilizar o Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário de cada município analisado nos anos de 2005 e 2017. Destaca-se que em 2006 ocorreu uma significativa quebra na safra agropecuária, resultando em uma acentuada redução no PIB agropecuário, especialmente no estado do Mato Grosso, que teve seu PIB agropecuário reduzido pela metade. Para mitigar o impacto desse ano excepcional e prevenir possíveis distorções na estimativa, foram empregados os dados do PIB agropecuário referentes ao ano de 2005. Quanto à variável que representa o trabalho na função de produção, adotou-se como *proxy* a variável pessoal ocupado com e sem laço de parentesco com o produtor divulgado no censo agropecuário. No que tange à variável de capital, as *proxies* utilizadas foram o número de tratores para a agricultura e o número de cabeças de gado para a pecuária, ambos determinados com base nos dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Para a variável terra, empregou-se como *proxy* a área plantada em hectares para lavoura temporária e permanente, extraídas da PAM/IBGE nos anos de 2006 e 2017. Já para a pecuária, a *proxy* adotada foi a área de pastagem em hectares, utilizando dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017.

Para a variável de subproduto ou produto indesejável gerado no processo de produção agrícola na Amazônia Legal, neste caso os GEE de CO₂e, foram utilizados dados municipais do SEEG, para os mesmos anos das demais variáveis, ou seja, 2006 e 2017.

Com o objetivo de captar de forma mais abrangente e precisa a variabilidade tecnológica na produção agropecuária da Amazônia Legal, optou-se por empregar dados a nível municipal em vez de dados estaduais agregados. No processo de construção da base de dados, alguns dos 772 municípios que compõem a

² O dióxido de carbono equivalente CO₂e é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de diversos GEE pelo seu potencial de aquecimento global (GWP), proporcionando comparar as emissões desses diversos GEE (SEEG, 2023).

³ Duas métricas são usualmente mais utilizadas para determinar o impacto dos GEE na atmosfera: o GWP (*Global Warming Potential*) e o GTP (*Global Temperature Change Potential*). O primeiro considera a influência desses gases na alteração do balanço energético da Terra e, o segundo, sua influência no aumento de temperatura. Ambos são medidos para um prazo de cem anos e expressam seus resultados em uma unidade comum, o equivalente de CO₂ (CO₂e); entretanto, o GWP é a abordagem mais utilizada e a considerada pelo SEEG na estimação do CO₂e utilizada nesse estudo (SEEG, 2022).

Amazônia Legal foram excluídos da base devido à indisponibilidade de pelo menos uma das informações necessárias para o cálculo do modelo proposto em um dos anos. Dessa forma, a amostra final utilizada abrange dados de 647 municípios da região para os anos de 2006 e 2017, resultando em um painel composto por 1.294 observações que foram analisadas no software Rstúdio na versão 4.2.1, que permitiu estimar os resultados deste estudo.

4 RESULTADOS

4.1 Estatísticas descritivas

Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis em análise. Essas estatísticas fornecem uma visão abrangente da distribuição dos dados, permitindo entender melhor sua tendência central e dispersão. Destaca-se que as médias das variáveis foram superiores às medianas. Essa diferença sugere que a distribuição dos valores está inclinada para o lado superior, indicando uma assimetria à direita e, portanto, uma presença de *outliers* na porção direita da distribuição.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis de insumos e produtos dos municípios utilizados neste estudo

	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
PIB agro (milhares de reais)	47.993	82.847	23.034	881.385	559
Emissões (toneladas de CO2 eq.)	272.452	345.684	155.819	4.485.537	1.437
Trabalho (unidade)	3.790	3.955	2.653	48.246	95
Capital (núm. de tratores)	219.8	371.445	88.0	4.380	3
Capital (núm. de cabeça de gado)	180.183	620.901	76.724	11.986.664	309
Terra agricultura (hectares)	24.914	78.107	4.532	1.205.669	7
Terra pecuária (hectares)	83.478	115.650	49.990	1.400.233	7

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Tabela 2 são apresentados os valores das variáveis que foram calculadas para cada município que compõe a amostra somadas para cada estado para o ano de 2006 e a taxa de crescimento por estado referente as mesmas variáveis para os anos de 2006 e 2017.

Para o ano inicial, o PIB agropecuário apresentou um valor total de 26,3 bilhões e em 2017 de 35,8 bilhões, com um crescimento de 36,1% para o período. O Amapá foi o estado com maior crescimento, sendo 4,4%, seguido pelos estados

de Tocantins com 2,2% e Roraima com 2,1%.

Ao observar os dados municipais, seis municípios do estado do Mato Grosso apresentaram os maiores PIBs agropecuários em 2017. São eles: os municípios de Sapezal com R\$ 769,61 milhões, Sorriso com R\$ 744,89 milhões, Campo Novo do Parecis com R\$ 672,88 milhões, Campo Verde com R\$ 612,65 milhões; Diamantino com R\$ 597,99 milhões e Nova Monte Verde com R\$ 462,003 milhões; com todos valores medidos em reais de 2010.

Em relação às variáveis para o capital na agricultura e na pecuária (representada pelas *proxies* número de tratores para a agricultura e número de cabeças de gado para a pecuária), o estado que apresentou maior crescimento, de 2006 para 2017, para a variável tratores foi o estado do Amapá com 35,5%, seguido de Roraima com um crescimento de 4,7% e Maranhão com 4,6%. Estes estados também apresentaram o maior crescimento para o número de cabeças de gado, com 69,3% para o estado do Amapá, 5,1% para o Maranhão e 4,4% para Roraima.

Para a variável trabalho, o estado do Amapá apresentou o maior percentual de crescimento, com 6%. Já os estados do Acre, Maranhão e Rondônia apresentaram decréscimo.

Com relação à variável terra, o estado do Amapá apresentou o maior crescimento na área plantada, com 35,7% para terra utilizada na lavoura, de 2006 para 2017, seguido do estado do Pará com um crescimento de 2,1%. Para a terra utilizada na pecuária, novamente, o estado do Amapá apresentou o maior crescimento com 11,8%, seguido do estado do Amazonas com 0,9%. No que tange a quantidade de hectares de pastagem e de terra para lavoura absoluta, o estado do Mato Grosso desponta de forma considerável em relação aos demais estados para ambas as atividades.

Nos anos analisados, 2006 e 2017, considerando a variável para as emissões (CO₂e), o estado com maior crescimento nas emissões de GEEs foi o Amapá com um crescimento de 16,4% ao ano entre 2006 e 2017. Com relação aos municípios que figuram entre os dez que mais emitiram GEEs no ano de 2006, seis municípios pertencem ao estado do Mato Grosso, três pertencem ao estado do Pará e um ao estado de Rondônia. Já no ano de 2017, dos dez municípios que mais emitiram GEEs, cinco pertencem ao Mato Grosso, quatro pertencem ao Pará e um pertence à Rondônia.

Tabela 2 - Valor total para o ano inicial de 2006 e taxas de crescimento dos produtos e insumos nos estados da Amazônia Legal para o ano de 2017

UF	PIB agro (R\$ milhões)		Emissões (mil ton. CO2 eq.)		Trabalho (mil pesso- as)		Capital (mil Trato- res)		Capital (mil Cabeça de Gado)		Terra Lavoura (mil hectares)		Terra Pastagem (mil hectares)	
	valor	cresc. %	valor	cresc. %	valor	cresc. %	valor	cresc. %	valor	cresc. %	valor	cresc. %	valor	cresc. %
AC	505	-0,04	4.815	-0,39	67	-0,09	1	3,22	1.589	1,05	103	0,20	965	0,11
AM	1.041	0,06	2.506	1,66	130	-0,01	1	2,83	1.006	3,80	122	-0,36	737	0,90
AP	116	4,38	224	16,40	6	5,95	0	35,49	25	69,34	6	35,75	72	11,83
MA	3.450	0,55	13.428	1,85	614	-0,24	5	4,59	5.144	5,13	1.194	1,39	5.112	0,65
MT	11.756	0,01	59.440	-0,32	356	0,38	42	0,99	20.655	2,22	7.751	0,35	22.053	-0,18
PA	6.157	0,39	37.450	0,06	732	-0,05	9	3,04	13.600	0,81	1.209	2,14	10.625	-0,06
RO	1.931	0,72	23.995	-0,43	278	-0,11	6	2,43	8.543	1,59	604	1,34	4.845	0,17
RR	142	2,11	1.303	1,48	29	0,82	0	4,70	525	4,40	62	0,30	717	0,12
TO	1.235	2,23	17.023	1,58	174	0,94	10	1,94	6.518	1,78	600	1,62	8.027	0,06
Total	26.333	0,36	160.184	0,20	2.385	0,06	74	1,84	57.605	2,05	11.651	0,77	53.153	0,03

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.2 Cálculos dos índices

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados para as taxas de crescimento dos índices da produtividade, de mudança na eficiência técnica (EC) e de mudança tecnológica (TC e BPC) para a agropecuária na Amazônia Legal, apresentando, respectivamente, a média ponderada pelo PIB agropecuário e a média simples para os estados analisados.

Conforme descrito no capítulo de metodologia e bases de dados, para os índices GM e M os cálculos foram realizados com base na variável PIB agropecuário, para o produto e trabalho, capital (considerando às *proxies* tratores e cabeças de gado) e terra (considerando as *proxies* lavoura e pastagem) para os insumos. Para os índices GML e ML, além das variáveis usadas os cálculos dos índices GM e M, incorpora-se também a variável emissões como subproduto.

A partir da análise dos resultados dos índices pode-se concluir que houve crescimento positivo para a produtividade na Amazônia Legal, isto é, o valor calculado por meio dos índices de produtividade para todos os modelos é maior do que um, tanto pelo cálculo da média ponderada quanto pelo cálculo da média simples. Ao examinar os índices em nível de agregação estadual, constata-se que

alguns estados foram exceção ao crescimento positivo. Pela média ponderada e simples o estado do Acre, do Amapá, do Maranhão e de Roraima apresentaram crescimento negativo para os índices GML e ML, para os índices GM e M apenas o estado do Acre apresentou crescimento negativo.

Percebe-se também que os índices que levam em consideração as emissões (índices GML e ML) apresentaram crescimento inferiores aos índices que não consideram as emissões, indicando que o crescimento estimado é menor quando se considera os GEEs no cálculo. O estado com o maior ganho de produtividade nos anos analisados foi o Amazonas, para os quatro índices calculados.

Em relação à mudança na eficiência técnica (EC), os índices que levam em consideração as emissões (ML e GML), novamente, apresentaram menor ganho de eficiência em relação aos que não consideram (M e GM) para a Amazônia Legal, sendo que os estados do Acre, Amapá, Maranhão, Rondônia e Roraima tiveram crescimento negativo para os índices ML e GML e apenas o estado do Acre obteve crescimento negativo para os índices M e GM. Ainda para a mudança na eficiência técnica (EC), o estado do Amazonas apresentou o maior ganho de eficiência para ambos os índices, com uma diferença considerável em relação ao estado de Rondônia que apresentou a segunda maior eficiência para ambos os índices.

Com relação aos resultados para a mudança tecnológica (TC e BPC), observa-se crescimento positivo para todos os índices calculados. Com relação a mudança tecnológica (BPC) para os índices que consideram as emissões de GEEs (ML e GML), o estado do Mato Grosso apresentou crescimento negativo para o índice ML e crescimento positivo para o índice GML. Os demais estados apresentaram crescimento positivo para a mudança tecnológica (BPC) para ambos os índices (ML e GML). Com relação a mudança tecnológica (TC) para os índices que não consideram os GEEs (M e GM), apenas o estado do Mato Grosso teve crescimento negativo para o índice GM, e os estados do Mato Grosso e do Pará para o índice M.

De forma geral, observa-se que a PTF medida pelos índices propostos apresentou crescimento positivo para a Amazônia Legal no período analisado, de 2006 para 2017. O crescimento positivo ocorreu principalmente devido a mudanças na eficiência técnica ao invés de mudanças tecnológicas. Entretanto, há resultados heterogêneos para os estados, alguns apresentaram mudanças maiores na

eficiência técnica do que na mudança tecnológica, como é o caso dos estados do Mato Grosso e do Pará.

Tabela 3 - Índice de crescimento da produtividade, mudança na eficiência técnica e mudança tecnológica para a agropecuária na Amazônia Legal calculadas pelas médias ponderadas pelo produto para os índices GML, ML, GM e M para o ano de 2006 e de 2017

UF	GML			ML			GM			M		
	Prod.	EC	BPC	Prod.	EC	BPC	Prod.	EC	TC	Prod.	EC	TC
AC	0,9968	0,9764	1,0222	0,9942	0,9764	1,0188	0,9460	0,8056	1,2067	0,8965	0,8056	1,1386
AM	1,2699	1,2440	1,0317	1,3332	1,2440	1,0647	2,9247	2,9386	1,0178	3,0500	2,9386	1,0291
AP	0,8916	0,8839	1,0076	0,9080	0,8839	1,0296	1,2702	1,1601	1,0522	1,3210	1,1601	1,1074
MA	0,9888	0,9791	1,0137	0,9829	0,9791	1,0024	1,1756	1,1165	1,0561	1,1642	1,1165	1,0170
MT	1,0297	1,0266	1,0051	1,0182	1,0266	0,9918	1,2832	1,3208	0,9957	1,3230	1,3208	0,9926
PA	1,0246	1,0110	1,0255	1,0460	1,0110	1,0269	1,6714	1,6033	1,0427	1,6281	1,6033	0,9849
RO	1,0069	0,9977	1,0096	1,0062	0,9977	1,0081	1,9676	1,7316	1,1423	1,9465	1,7316	1,1175
RR	0,9946	0,9783	1,0188	0,9886	0,9783	1,0071	1,2975	1,1769	1,0821	1,2660	1,1769	1,0600
TO	1,0088	1,0034	1,0082	1,0065	1,0034	1,0006	1,7495	1,7019	1,0339	1,7463	1,7019	1,0129
Total	1,0235	1,0112	1,0158	1,0315	1,0112	1,0167	1,5873	1,5061	1,0700	1,5935	1,5061	1,0511

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 4 - Índice de crescimento da produtividade, mudança na eficiência técnica e mudança tecnológica para a agropecuária na Amazônia Legal calculadas pelas média simples pelo produto para os índices GML, ML, GM e M para o ano de 2006 e de 2017

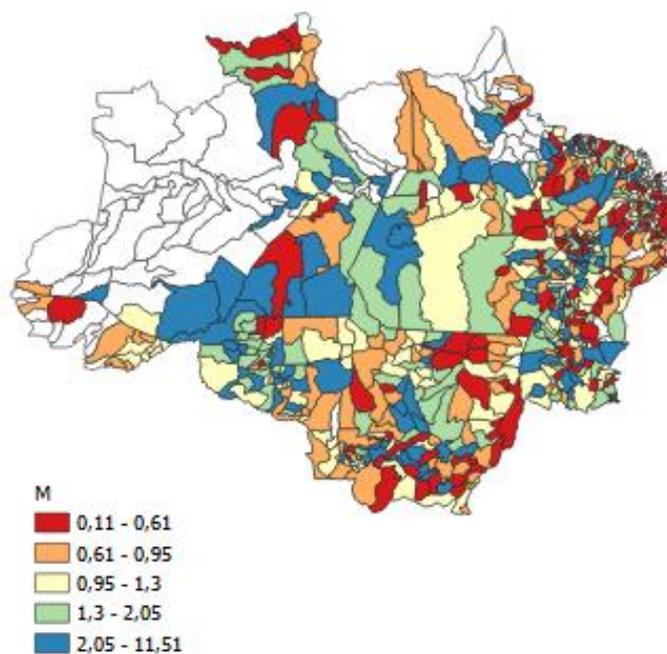
UF	GML			ML			GM			M		
	Prod.	EC	BPC	Prod.	EC	BPC	Prod.	EC	TC	Prod.	EC	TC
AC	0,9965	0,9754	1,0230	0,9936	0,9754	1,0192	0,9409	0,7979	1,2136	0,8902	0,7979	1,1431
AM	1,2507	1,2303	1,0289	1,3156	1,2303	1,0627	2,9267	2,9493	1,0154	3,0783	2,9493	1,0352
AP	0,9454	0,9366	1,0087	0,9607	0,9366	1,0271	1,3642	1,2482	1,0415	1,4093	1,2482	1,0808
MA	0,9887	0,9791	1,0136	0,9828	0,9791	1,0023	1,1789	1,1199	1,0557	1,1674	1,1199	1,0164
MT	1,0299	1,0268	1,0051	1,0183	1,0268	0,9917	1,2836	1,3218	0,9952	1,3234	1,3218	0,9920
PA	1,0250	1,0117	1,0254	1,0470	1,0117	1,0271	1,6800	1,6113	1,0432	1,6388	1,6113	0,9888
RO	1,0069	0,9977	1,0096	1,0061	0,9977	1,0080	1,9729	1,7359	1,1428	1,9514	1,7359	1,1175
RR	0,9936	0,9766	1,0196	0,9867	0,9766	1,0066	1,2697	1,1486	1,0828	1,2371	1,1486	1,0599
TO	1,0089	1,0034	1,0082	1,0064	1,0034	1,0006	1,7527	1,7057	1,0334	1,7496	1,7057	1,0123
Total	1,0203	1,0115	1,0134	1,0226	1,0115	1,0079	1,5456	1,4936	1,0447	1,5465	1,4936	1,0182

Fonte: Resultados da pesquisa.

As Figuras 5 e 6 apresentam a distribuição espacial do crescimento da produtividade nos municípios que compõem a amostra avaliada para os índices M e ML, respectivamente, para os anos de 2006 e 2017. As faixas de valores para a

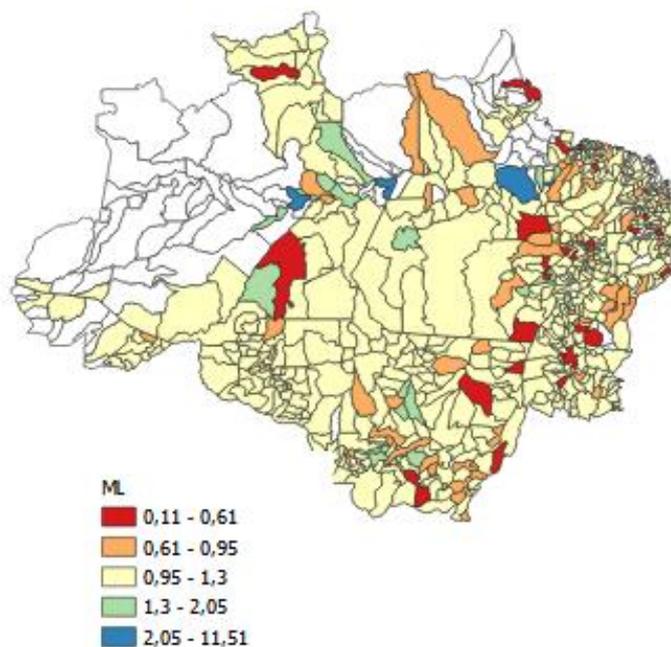
estratificação apresentada foram definidas a partir dos quintis dos resultados do crescimento anual da produtividade.

Figura 5 – Crescimento anual da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist tradicional (M) que não considera as emissões de CO2 equivalente



Fonte: Resultados da pesquisa.

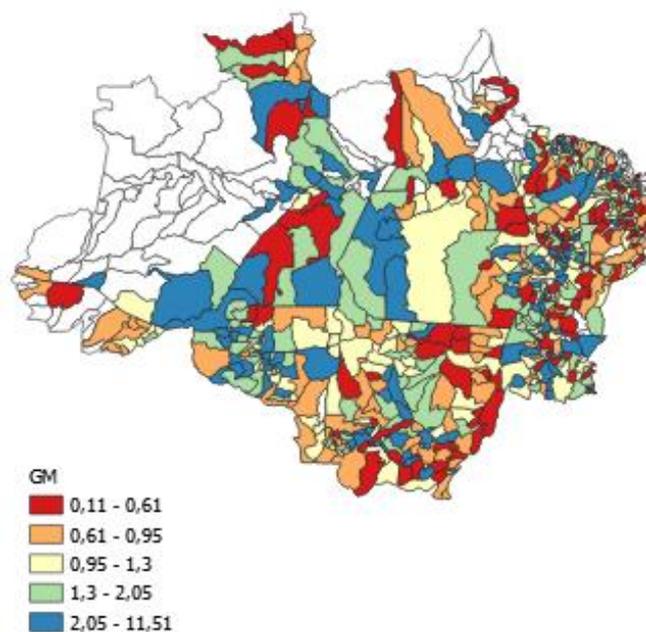
Figura 6 – Crescimento anual da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist-Lundemberg (ML) que considera as emissões de CO2 equivalente



Fonte: Resultados da pesquisa.

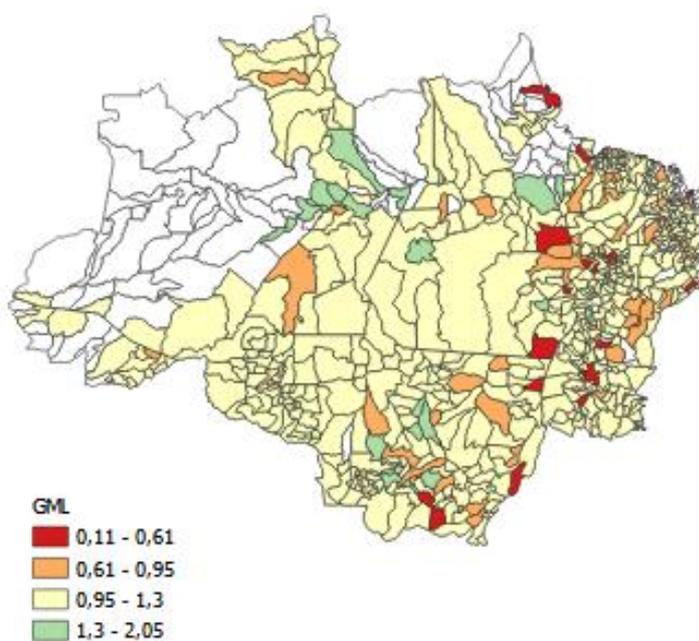
As Figuras 7 e 8 apresentam a distribuição espacial do crescimento da PTF nos municípios que compõem a amostra avaliada para os índices GM e GML entre o ano de 2006 e 2017. Assim como as Figuras 5 e 6, as faixas de valores para a estratificação também foram definidas a partir dos quintis dos resultados obtidos para o crescimento anual da produtividade.

Figura 7 - Crescimento da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist Generalizado (GM) que não considera as emissões de CO2 equivalente



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 8 - Crescimento da PTF nos municípios da Amazônia Legal entre o ano de 2006 e 2017 - índice de Malmquist-Luendemberg Generalizado (GML) que considera as emissões de CO2 equivalente



Fonte: Resultados da pesquisa.

A Tabela 5 apresenta o número de municípios e o percentual de municípios “verdes” para cada estado da Amazônia Brasileira, em relação aos resultados das produtividades para os índices propostos. Conforme discutido anteriormente, se os resultados da produtividade para o índice GML ou ML forem maiores que os resultados dos índices GM ou M há crescimento da PTF com diminuição das emissões, portanto, o município é “verde”. Alternativamente, se os índices GML ou ML apresentarem valores menores do que os índices GM ou M, há ênfase no crescimento econômico em detrimento das questões ambientais e, portanto, o município é classificado como “amarelo”.

Tabela 5 - Número de municípios “verdes” e percentual de municípios “verdes” para os estados da Amazônia Legal comparando-se os resultados das produtividades para do índices ML com o índice M e do índice GML com o índice GM

UF	Quantidade de Municípios	Quantidades de municípios “verdes” GML vs. GM	Percentual de municípios “verdes” GML vs. GM	Quantidades de municípios “verdes” ML vs. M	Percentual de municípios “verdes” ML vs. M
AC	13	8	62%	9	69%
AM	26	4	15%	4	15%
AP	7	3	43%	3	43%
MA	142	78	55%	75	53%
MT	140	72	51%	73	52%
PA	121	57	47%	62	51%
RO	52	10	19%	11	21%
RR	14	9	64%	9	64%
TO	132	45	34%	47	36%
Total	647	286	44%	293	45%

Fonte: Resultados da pesquisa.

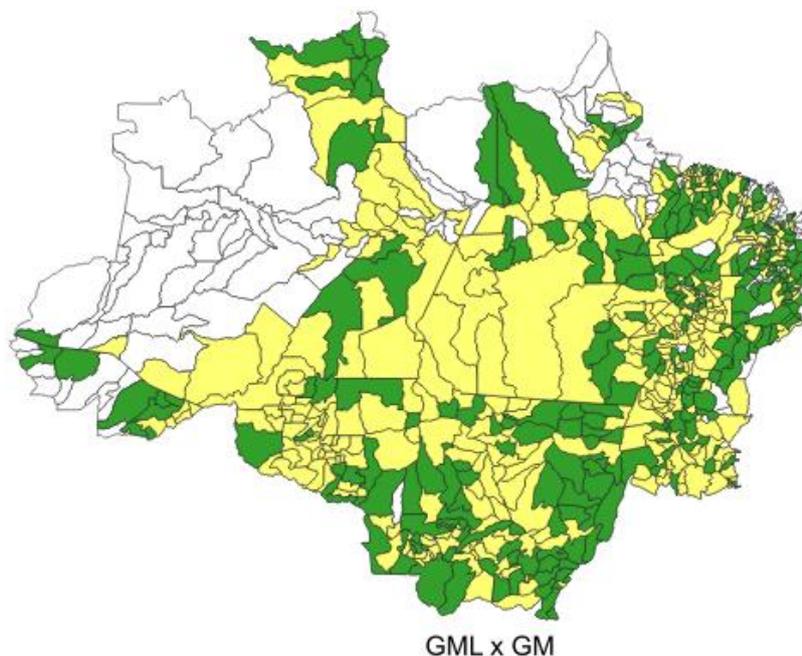
Os resultados indicam que Roraima tem o maior percentual de municípios “verdes”, com 64% para o resultado dos índices GML e GM. Dos 14 municípios analisados para o estado 9 possuem classificação “verde”. Para a comparação dos índices ML e M, o estado do Acre obteve o maior percentual de municípios “verdes”, com um percentual de 69%. Dos 13 municípios analisados, 9 foram considerados “verdes”.

Para a Amazônia Legal como um todo, na comparação dos índices GML e GM, a participação dos municípios “verdes” foi de 44%, com um total de 286 municípios dos 647 analisados considerados “verdes”. Na comparação dos índices

ML e M, também na Amazônia Legal com o um todo, o percentual de municípios “verdes” foi de 45%, com um total de 293 municípios classificados como “verdes” dos 647 municípios analisados

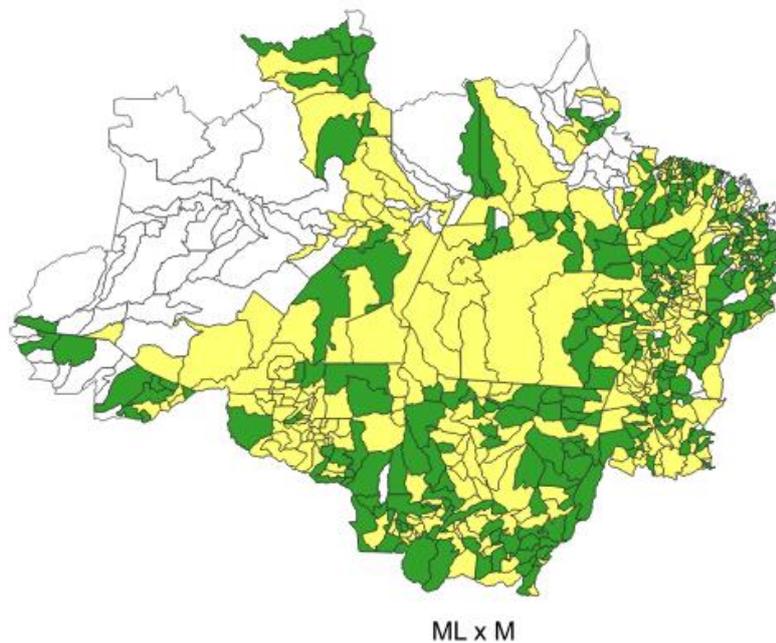
As Figuras 9 e 10 apresentam a distribuição geográfica da comparação dos resultados entre os índices GML e GM, bem como ML e M, por meio da classificação usando código de cores. O município é considerado “verde”, caso os índices de crescimento da produtividade que consideram as emissões de GEEs (GML ou ML) forem superiores aos índices de crescimento da produtividade típicos (GM ou M). Neste caso considera-se que o crescimento econômico ocorre simultaneamente à diminuição das emissões. Caso, os índices de crescimento da produtividade que consideram os GEEs (GML ou ML) forem inferiores aos índices de crescimento da produtividade típicos (GM ou M), existe uma ênfase no crescimento/desenvolvimento econômico em detrimento das questões ambientais e o município é classificado como “amarelo”.

Figura 9 - Resultados das relações entre as produtividades calculadas por meio dos índices GML e GM para os municípios da Amazônia Legal entre 2006 e 2017



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 10 - Resultados das relações entre as produtividades calculadas por meio dos índices ML e M para os municípios da Amazônia Legal no ano entre 2006 e 2017



Fonte: Resultados da pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desmatamento na região da Amazônia Legal é considerado um importante contribuinte para as emissões de gases de efeito estufa brasileiras. A minimização dessas emissões pode ser alcançada por meio de um uso mais eficiente das áreas destinadas à agropecuária na região. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento da Produtividade Total dos Fatores (PTF) na região da Amazonia Legal utilizando métodos de medida da PTF que contemplam a geração da emissão de gases de efeito estufa na produção (Malmquist-Luenberger – ML e Malmquist-Luenberger generalizado – GML) comprando-os com métodos que não contemplam (Malmquist – M e Malmquist generalizado – GM).

Os resultados apontaram para um crescimento da produção agropecuária, entre os anos de 2006 e 2017, para todas as variáveis, sendo que as variáveis para o capital na agricultura e na pecuária, medidas por meio das *proxies* tratores e cabeça de gado respectivamente, apresentaram os crescimentos mais relevantes. As medidas de PTF por meio dos índices GML e ML, que levam em consideração a emissão de GEES, comparadas com as medidas de PTF que não consideram a presença de subproduto, calculadas pelos índices GM e M, indicam que os primeiros retratam um crescimento da produtividade, da eficiência técnica e da mudança tecnológica inferiores aos índices tradicionais GM e M, indicando que o crescimento destas variáveis é inferior quando no cálculo são consideradas as emissões de GEEs.

Os resultados também demonstraram que pela comparação dos métodos GML e ML para os 647 municípios, 286 podem ser considerados “verdes”, o que equivale a cerca de 44% do total, sendo os demais considerados “amarelos”. Já pela comparação dos métodos GM e M, 293 municípios ou cerca de 45% do total podem ser considerados “verdes” e os demais “amarelos”. Assim, para a Amazônia Legal no período entre 2005 e 2017, para pouco menos da metade dos municípios, os considerados “verdes”, o crescimento econômico da agropecuária ocorreu simultaneamente à diminuição das emissões de GEEs e, portanto, para a maioria dos municípios, os considerados “amarelos”, houve ênfase no crescimento econômico em detrimento da conservação ambiental.

Os resultados evidenciam que a priorização de políticas públicas que

viabilizem uma vigilância e monitoramento mais robustos, especialmente através de satélites na região, tem o potencial de impulsionar uma atividade agropecuária capaz de promover crescimento econômico concomitantemente à redução das emissões de gases de efeito estufa, que pode ser alcançada por meio de um uso mais eficiente das áreas destinadas à agropecuária na região, contribuindo assim para a preservação ambiental na Amazônia Legal.

Por fim, a implementação de políticas públicas abrangentes e integradas é crucial para combater o desmatamento na Amazônia Legal e reduzir as emissões de GEEs na região. O fortalecimento da fiscalização e monitoramento, a regularização fundiária sustentável, o estímulo a práticas agropecuárias sustentáveis e o desenvolvimento de cadeias produtivas responsáveis são fundamentais. A educação ambiental e o engajamento comunitário, aliados a restrições ao uso de recursos naturais, contribuem para uma abordagem mais abrangente para o problema. Incentivos à recuperação de áreas degradadas, cooperação internacional, o fomento de alternativas econômicas sustentáveis e a criação e reforço de unidades de conservação compõem um conjunto de medidas essenciais para preservar a rica biodiversidade amazônica e assegurar o almejado equilíbrio entre o desenvolvimento de atividades econômicas e a conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- AIT SIDHOUM, A. Measuring farm productivity under production uncertainty. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 67, n. 4, p. 672–687, 2023.
- ANDERSEN, L. E.; GRANGER, C. W. J.; REIS, E. J.; WEINHOLD, D.; WUNDER, S. **The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon**. [s.l.] Cambridge University Press, 2002. 257 p.
- ANDERSEN, L. E.; REIS, E. J. DEFORESTATION, DEVELOPMENT, AND GOVERNMENT POLICY IN THE BRAZILIAN AMAZON: AN ECONOMETRIC ANALYSIS. **IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 1997.
- ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M. **Pecuária na amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental**. [s.l.] Imazon, 2005. 71 p.
- ARIMA, E. Y.; RICHARDS, P.; WALKER, R.; CALDAS, M. M. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 2, 2011.
- BARONA, E.; RAMANKUTTY, N.; HYMAN, G.; COOMES, O. T. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 2, 2010.
- BARROS, A. L. M. de. Capital, produtividade e crescimento da agricultura: o Brasil de 1970 a 1995. p. 1–149, 1999.
- BRAGAGNOLO, C.; SPOLADOR, H. F. S.; BARROS, G. S. C. Produtividade total dos fatores na agricultura brasileira: resultados atualizados a partir do censo 2017. **Revista de Política Agrícola**, v. v. 30, n., 2021.
- BRAGAGNOLO, C.; TATEISHI, H. R. Produtividade Total dos Fatores e Emissões de Dióxido de Carbono na Agricultura Brasileira: Uma Medida de PTF Ambientalmente Sensível. **ANPEC**, 2021.
- BRASIL. **Projeto de Lei Nº 5087-A de 2009** Câmara dos Deputados, 2008a.
- BRASIL. **Decreto nº 6.527, de 1º de agosto de 2008**. Câmara dos Deputados, Brasil. 2008b. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2008/decreto-6527-1-agosto-2008-578808-publicacaooriginal-101679-pe.html>>.
- BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 196. Câmara dos Deputados, Brasil. 2012. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-normaatualizada-pl.pdf>>.
- BRASIL. **Nota Técnica - A PEC 65/2012 e as cláusulas pétreas**. Ministério Público Federal, Brasil. 2016a. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/pgr/documentos/%0Anota-tecnica-pec-65-2012/>>.
- BRASIL. **PEC-241. PROPOSTA DE EMENDA À CONSTITUIÇÃO Nº 241-A, DE 2016**. Câmara dos Deputados, Brasil. 2016b. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1495741&filename=Tramitacao-PEC+241/2016>.
- BYERLEE, D.; STEVENSON, J.; VILLORIA, N. **Does intensification slow crop**

- land expansion or encourage deforestation? **Global Food Security** Elsevier, 2014.
- CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. **The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity**. [s.l.: s.n.].
- CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. **Multilateral Comparisons of Output, Input, and Productivity Using Superlative Index Numbers** *Journal*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2232257>>.
- CEPEA. **Setor agropecuário aumenta participação no PIB brasileiro**. Disponível em: <www.faespsenar.com.br>.
- CHEN, S.; GOLLEY, J. "Green" productivity growth in China's industrial economy. **Energy Economics**, v. 44, p. 89–98, 2014.
- CHUNG, Y. H.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. **Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach** *Journal of Environmental Management*. [s.l.: s.n.].
- CNA. **balança comercial do agronegócio brasileiro**. 2021.
- COELLI, T.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. [s.l.] Springer US, 1998.
- DE SOUZA, R. A.; MIZIARA, F.; DE MARCO JUNIOR, P. Spatial variation of deforestation rates in the Brazilian Amazon: A complex theater for agrarian technology, agrarian structure and governance by surveillance. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 915–924, jan. 2013.
- EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. liang. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 61, p. 4–8, 1 mar. 2018.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. **Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries**. [s.l.: s.n.].
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. **American Economic Association Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries** *Source: The American Economic Review*. [s.l.: s.n.].
- FEARNSIDE, P. M. **Land-Tenure Issues as Factors in Environmental Destruction in Brazilian Amazonia: The Case of Southern Par a**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/worlddev>.
- FEARNSIDE, P. M. **Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>.
- FEARNSIDE, P. M. **Destruicao e Conservação da Floresta Amazônica**. [s.l.: s.n.]
- GARNETT, T.; APPLEBY, M. C.; BALMFORD, A.; BATEMAN, I. J.; BENTON, T. G.; BLOOMER, P.; BURLINGAME, B.; DAWKINS, M.; DOLAN, L.; FRASER, D.; HERRERO, M.; HOFFMANN, I.; SMITH, P.; THORNTON, P. K.; TOULMIN, C.; VERMEULEN, S. J.; GODFRAY, H. C. J. Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. **Science**, v. 341, n. 6141, p. 33–34, 2013.
- GARRETT, R. D.; KOH, I.; LAMBIN, E. F.; LE POLAIN DE WAROUX, Y.; KASTENS, J. H.; BROWN, J. C. Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, n. October 2017, p. 233–243, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011>>.

GRILICHES, Z. As Fontes de Crescimento da Produtividade Medida: Agricultura dos Estados Unidos, 1940-60. **Journal of Political Economy**, v. 81 n., p. 331–346, 1963. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/pdf/1828822.pdf>>.

HAILU, A.; VEEMAN, T. S. Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: An application to the Canadian pulp and paper industry. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 83, n. 3, p. 605–616, 2001.

HALL, A. Amazônia - desenvolvimento para quem? Desmatamento e conflito social no Programa Grande Carajás (PGC). 1991.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. [s.l: s.n.]

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. **Rio de Janeiro: IBGE**, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=destaques>>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazônia Legal**. Disponível em: <https://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/amazonia_legal/2021/Mapa_da_Amazonia_Legal_2021.pdf>.

INFOAMAZÔNIA. **Crescimento explosivo da boiada na Amazônia desafia corte nas emissões de metano pelo Brasil**. Disponível em: <<https://infoamazonia.org/2021/11/09/crescimento-explosivo-pecuaria-amazonia-corte-metano-cop26/>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

INPE. PRODES - Amazônia: Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. **Coordenação-Geral de Observação da Terra** -, p. 4–7, 2022. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>.

IPEADATA. **Ipeadata**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 1 ago. 2022.

KUMAR, S. Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index. **Ecological Economics**, v. 56, n. 2, p. 280–293, 15 fev. 2006.

LI, K.; LIN, B. Measuring green productivity growth of Chinese industrial sectors during 1998-2011. **China Economic Review**, v. 36, p. 279–295, 1 dez. 2015.

LI, K.; LIN, B. Impact of energy conservation policies on the green productivity in China's manufacturing sector: Evidence from a three-stage DEA model. **Applied Energy**, v. 168, p. 351–363, 15 abr. 2016.

LI, L. bing; LIU, B. lian; LIU, W. lin; CHIU, Y. H. Efficiency evaluation of the regional high-tech industry in China: A new framework based on meta-frontier dynamic DEA analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 60, p. 24–33, 1 dez. 2017.

LIU, Y.; FENG, C. What drives the fluctuations of “green” productivity in China's agricultural sector? A weighted Russell directional distance approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 147, p. 201–213, 1 ago. 2019.

MACEDO, M. N.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GALFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of**

Sciences of the United States of America, v. 109, n. 4, p. 1341–1346, 2012.

MACHADO, G. C.; BACHA, C. J. C.; JOHNSTON, F. L. Revisão sistemática dos trabalhos que calculam a PTF da agropecuária brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 82–93, 2020. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1488>>.

MAHLBERG, B.; LUPTACIK, M.; SAHOO, B. K. Examining the drivers of total factor productivity change with an illustrative example of 14 EU countries. **Ecological Economics**, v. 72, p. 60–69, 15 dez. 2011.

MALMQUIST, S. Index number and indifference surfaces. **Trabajos de Estadística**, v. 4, p. 209–242, 1953.

MARGULIS, S. O desempenho do governo brasileiro e do Banco Mundial em relação à questão ambiental do Projeto de Ferro Carajás. **IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 1990.

MARGULIS, S. **Causas econômicas do desmatamento da Amazônia**. [s.l.: s.n.].v. 1100 p.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; DEL BON ESPIRITO-SANTO, F.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 39, p. 14637–14641, 2006.

MYEKI, L. W.; MATTHEWS, N.; BAHTA, Y. T. Decomposition of Green Agriculture Productivity for Policy in Africa: An Application of Global Malmquist–Luenberger Index. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 2, p. 1–17, 2023.

NASCIMENTO, N.; WEST, T. A. P.; BÖRNER, J.; OMETTO, J. What drives intensification of land use at agricultural frontiers in the Brazilian amazon? Evidence from a decision game. **Forests**, v. 10, n. 6, 1 jun. 2019.

NOBRE, C. A. **Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://cetesbhomolog2.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/impactos_ecossistemas_cnobre.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2022.

OH, D. hyun. A metafrontier approach for measuring an environmentally sensitive productivity growth index. **Energy Economics**, v. 32, n. 1, p. 146–157, jan. 2010a.

OH, D. hyun. A global Malmquist-Luenberger productivity index. **Journal of Productivity Analysis**, v. 34, n. 3, p. 183–197, dez. 2010b.

PAM. **Produção Agrícola Municipal**.

PASTOR, J. T.; LOVELL, C. A. K. A global Malmquist productivity index. **Economics Letters**, v. 88, n. 2, p. 266–271, ago. 2005.

PEREIRA, EDER JOHNSON DE AREA LEÃO; FERREIRA, LUIZ CARLOS DE SANTANA; CARVALHO, FREITAS, L. F. da S. H. B. de B. Brazilian policy and agribusiness damage the Amazon rainforest. **Land Use Policy**, v. 92, n. January, p. 104491, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104491>>.

PEREIRA, EDER JOHNSON DE AREA LEÃO; FERREIRA, PAULO JORGE SILVEIRA, RIBEIRO, LUIZ CARLOS DE SANTANA; CARVALHO, TERCIANE SABADINI, PEREIRA, H. B. de B. Policy in Brazil (2016–2019) threaten conservation of the Amazon rainforest. **Environmental Science and Policy**, v. 100, n. April, p. 8–12, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.001>>.

- SEEG. **Emissões por setor - agropecuária**. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria>>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- SEEG. Gases de efeito estufa. **Observatório do clima**, 2023.
- SERRA, M. A.; FERNANDEZ, R. G. Perspectivas de desenvolvimento da Amazônia: motivos para o otimismo e para o pessimismo. **Economia e Sociedade**, v. 2, n. 2, p. 107–131, 2004.
- SHEN, Z.; BOUSSEMART, J. P.; LELEU, H. Aggregate green productivity growth in OECD's countries. **International Journal of Production Economics**, v. 189, p. 30–39, 1 jul. 2017.
- SHEPHARD, R. W. **Theory of Cost and Production Function**. Princeton: Princeton University Press, 1970. 307 p.
- SHI, X.; LI, L. Green total factor productivity and its decomposition of Chinese manufacturing based on the MML index:2003–2015. **Journal of Cleaner Production**, v. 222, p. 998–1008, 10 jun. 2019.
- SONG, M.; AN, Q.; ZHANG, W.; WANG, Z.; WU, J. **Environmental efficiency evaluation based on data envelopment analysis: A review** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* set. 2012.
- SONG, M.; PENG, J.; WANG, J.; ZHAO, J. Environmental efficiency and economic growth of China: A Ray slack-based model analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 269, n. 1, p. 51–63, 16 ago. 2018.
- SPERA, S. Agricultural Intensification Can Preserve the Brazilian Cerrado: Applying Lessons From Mato Grosso and Goiás to Brazil's Last Agricultural Frontier. **Tropical Conservation Science**, v. 10, 2017.
- SUEYOSHI, T.; YUAN, Y.; GOTO, M. A literature study for DEA applied to energy and environment. **Energy Economics**, v. 62, p. 104–124, 1 fev. 2017.
- TATEISHI, H. R.; BRAGAGNOLO, C.; ALMEIDA, A. N. de. Forest, agriculture and land conversion: Environmental efficiency in Brazilian Amazon rainforest. **Forest Policy and Economics**, v. 133, n. June, 2021.
- TIAN, P.; LIN, B. Promoting green productivity growth for China's industrial exports: Evidence from a hybrid input-output model. **Energy Policy**, v. 111, p. 394–402, 1 dez. 2017.
- WANG, Z.; FENG, C. Sources of production inefficiency and productivity growth in China: A global data envelopment analysis. **Energy Economics**, v. 49, p. 380–389, 1 maio 2015.
- WEST, T. A. P.; FEARNSIDE, P. M. Brazil's conservation reform and the reduction of deforestation in Amazonia. **Land Use Policy**, v. 100, 1 jan. 2021.
- YANG, Z.; FAN, M.; SHAO, S.; YANG, L. Does carbon intensity constraint policy improve industrial green production performance in China? A quasi-DID analysis. **Energy Economics**, v. 68, p. 271–282, 1 out. 2017.
- ZHANG, C.; LIU, H.; BRESSERS, H. T. A.; BUCHANAN, K. S. Productivity growth and environmental regulations - accounting for undesirable outputs: Analysis of China's thirty provincial regions using the Malmquist-Luenberger index. **Ecological Economics**, v. 70, n. 12, p. 2369–2379, 15 out. 2011.
- ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. **A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies** *European Journal of Operational Research* 16 ago. 2008.