



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA

MATHEUS DE OLIVEIRA DUTRA

**INFLUÊNCIA DOS RIOS ATMOSFÉRICOS NO AGRONEGÓCIO
BRASILEIRO: UMA ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA**

MANAUS-AM

2023

MATHEUS DE OLIVEIRA DUTRA

**INFLUÊNCIA DOS RIOS ATMOSFÉRICOS NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO:
UMA ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alexandre Almir Ferreira Rivas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

MANAUS-AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

D978i Dutra, Matheus de Oliveira
Influência dos rios atmosféricos no agronegócio brasileiro : uma análise de redundância / Matheus de Oliveira Dutra . 2023
54 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Alexandre Almir Ferreira Rivas
Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Rios atmosféricos. 2. Agronegócio. 3. Desflorestamento. 4. Amazônia. 5. Serviços ecossistêmicos . I. Rivas, Alexandre Almir Ferreira. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

MATHEUS DE OLIVEIRA DUTRA

**INFLUÊNCIA DOS RIOS ATMOSFÉRICOS NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO:
UMA ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Aprovado em 20 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas
Universidade Federal do Amazonas

Prof^a. Dra. Luciane Farias Ribas
Centro Universitário Fametro

Prof^a. Dra. Suelania Cristina Gonzaga de Figueiredo
Centro Universitário Fametro

AGRADECIMENTOS

A Deus, pôr na sua sabedoria infinita estabelecer todas as coisas;

A Santa Rita de Cássia, por sempre me guiar, orientar, me livrar de todo o mal e me fortalecer diante das batalhas da vida até quando essas parecem impossível;

À minha família, em especial aos meus pais, a minha irmã e a minha noiva Estefanny, por terem proporcionado com amor todas as condições para que eu chegasse até aqui;

Ao meu avô, Raimundo Rufino de Oliveira e, minha tia, Márcia Maria de Oliveira de Souza, que mesmo lá de cima continuam a guiar meus passos;

Aos meus professores, aqueles que contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica, em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Almir Alexandre Ferreira Rivas, que sempre deu oportunidades de crescimento e acreditou no meu potencial;

Aos meus amigos, que me acompanharam nesta fase da vida e assim o farão naquelas ainda por vir;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação (CAPES) e ao Instituto PIATAM pelo financiamento e apoio técnico do estudo.

RESUMO

A Amazônia, por meio da prestação de serviços ecossistêmicos, possui um papel essencial no equilíbrio ambiental do Brasil e de outros países. Os rios atmosféricos consistem em um desses serviços, atuando no transporte de umidade originalmente do Oceano Atlântico para outras regiões do país e do continente. Contudo, o avanço no desflorestamento desse bioma pode impactar diretamente nessas dinâmicas ambientais e, por consequência, influenciar em segmentos como o agronegócio. Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar a relação da precipitação decorrente da transferência de umidade da porção da Floresta Amazônica situada na região Norte, e o rendimento agrícola das culturas de milho e soja das regiões Sul e Sudeste do Brasil, assim como o efeito do desflorestamento nessa dinâmica. Para isso, empregou-se o método estatístico de Análise de Redundância, onde analisou-se dados climatológicos como a divergência do fluxo de umidade integrado na vertical, convergência do fluxo de umidade integrado na vertical, evapotranspiração e precipitação, gerados a partir de dois modelos computacionais, simulando observações diárias que foram convertidos posteriormente em anuais para realização das análises, obtidas a partir do projeto de pesquisa do Instituto PIATAM, denominado de “O Polo Industrial de Manaus e sua possível contribuição para o agronegócio brasileiro – Rios voadores: Estudo sobre dinâmicas econômicas Amazônicas e seus efeitos sobre a transferência de umidade”. Quanto aos dados de Produção de Soja, Produção de Milho e Valor Agregado Bruto da Agropecuária das regiões Sul e Sudeste do Brasil, esses foram coletados no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No que concerne aos dados de Desflorestamento do bioma amazônico, utilizou-se como fonte de dados o Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (INPE), que desde 1988 monitora o desmatamento na Amazônia Legal através do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES). A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar a existência de correlações entre as variações (aumento/redução) da dinâmica hidroclimática com a projeção de desflorestamento para a Floresta Amazônica, assim como, na influência no agronegócio das regiões Sul e Sudeste.

Palavras-chave: Rios Atmosféricos; Agronegócio; Desflorestamento; Amazônia; Serviços Ecossistêmicos.

ABSTRACT

The Amazon, through the provision of ecosystem services, plays an essential role in the environmental balance of Brazil and other countries. Atmospheric rivers consist of one of these services, they occurred in the transport of moisture originally from the Atlantic Ocean to other regions of the country and the continent. However, the advance in deforestation of this biome can directly impact these environmental dynamics and, consequently, influence segments such as agribusiness. Thus, the present study aimed to analyze the relationship between precipitation resulting from the transfer of moisture from the portion of the Amazon Forest located in the North region, and the agricultural yield of corn and soybean crops in the South and Southeast regions of Brazil, as well as the effect of deforestation in this dynamic. For this, the statistical method of Redundancy Analysis was used, where climatological data were analyzed, such as the divergence of the vertically integrated moisture flow, the convergence of the vertically integrated moisture flow, evapotranspiration and precipitation, generated from two models computational data, simulating external observations that were later transformed into planned ones for carrying out the analyses, transmitted from the research project of the PIATAM Institute, called “The Industrial Pole of Manaus and its possible contribution to Brazilian agribusiness – Flying rivers: Study on dynamics Amazonian hydration and its effects on moisture flow”. As for data on Soybean Production, Corn Production and Gross Value of Agriculture in the South and Southeast regions of Brazil, these were collected on the website of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). With regard to deforestation data in the Amazon biome, the National Institute for Special Research (INPE) was used as a data source, which since 1988 has been monitoring deforestation in the Legal Amazon through the Project for Monitoring Deforestation in the Legal Amazon by Satellite (PRODES). From the results obtained, it was possible to identify the existence of correlations between the variations (increase/reduction) of the hydroclimatic dynamics with the projection of deforestation for the Amazon Forest, as well as the influence on agribusiness in the South and Southeast regions.

Key words: Atmospheric Rivers; Agribusiness; Deforestation; Amazon; Ecosystem Services.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de falha de mercado	14
Figura 2 - Limites da Amazônia	18
Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira	19
Figura 4 – Participação do PIB do agronegócio no PIB total do Brasil	20
Figura 5 – Os Rios Voadores da Amazônia	21
Figura 6 – Evolução do desflorestamento na Amazônia Brasileira Legal no período de 1988 a 2021	23
Figura 7 – Áreas de expansão agrícola segundo as mesorregiões brasileiras, 1994-2013	24
Figura 8 – Evolução do desmatamento nos estados da Região Norte no período de 1988 a 2021	25
Figura 9 – Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária por região brasileira	31
Figura 10 – Correlações entre as variáveis do Norte com as do Sul e Sudeste	38
Figura 11 – Análise de redundância para o cenário controle	41
Figura 12 – Análise de redundância para o cenário desmatamento	43

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Características dos estudos revisados acerca dos impactos do desmatamento na Amazônia	27
Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis do Norte	37
Tabela 2 – Estatística descritiva das variáveis do Sul e Sudeste	38
Tabela 3 – Correlações entre as variáveis do Norte com as do Sul e Sudeste	39
Tabela 4 – Tabela síntese dos resultados do modelo RDA cenário controle	40
Tabela 5 – Tabela síntese dos resultados do modelo RDA cenário desmatamento	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS: A ECONOMIA DAS FALHAS DE MERCADO.....	13
2.2 O PAPEL DA AMAZÔNIA NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO	16
2.2.1 A floresta amazônica e sua influência no agronegócio brasileiro	17
2.2.2 Rios atmosféricos amazônicos: fenômeno e dinâmicas ambientais	20
2.3 DESFLORESTAMENTO DA AMAZÔNIA E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	22
2.3.1 Desflorestamento na Amazônia e mudança climática	22
2.3.2 Mudança climática e seus efeitos econômicos no agronegócio das Regiões Sul e Sudeste do Brasil	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 DADOS E FONTES DE DADOS	32
3.2 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	33
3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	34
3.4 TESTE DE PERMUTAÇÃO PARA ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA	34
3.5 ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA	35
4 RESULTADOS	36
4.1 AVALIAÇÃO DESCRITIVA	36
4.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON	38
4.3 ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA	40
4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de eventos extremos tem transformado significativamente a maneira como as sociedades se organizam. Por exemplo, a escalada no crescimento populacional observada na últimas décadas desencadeou um aumento na demanda global por alimentos, fazendo mais presente o debate sobre a incapacidade de atender às futuras demandas humanas (SAATH & FACHINELLO, 2017). Outro fato relevante, se trata da evolução das tecnologias de comunicação, que propiciou dinâmicas de trabalho distintas daquelas tradicionalmente reconhecidas. No entanto, é o advento dos efeitos das mudanças climáticas, possivelmente, a principal crise a ser superada pela humanidade.

De acordo com Carlos *et al.* (2019), as mudanças climáticas globais constituem o maior desafio a ser enfrentado por todas as sociedades no século XXI, já que seus impactos, em geral negativos, serão sentidos distintamente entre as diversas atividades econômicas e localidades ao redor do planeta. Bezerra *et al.* (2017), afirmaram que alterações ambientais afetam todos os ecossistemas terrestres ao causar danos como a elevação da temperatura global, mudanças da química atmosférica e dos ciclos biogeoquímicos, mudanças no uso e cobertura da terra, aumento da poluição química global e alterações do ciclo hidrológico.

Nas últimas décadas, o bioma amazônico tem sido objeto de inúmeros estudos, nas mais diversas áreas do conhecimento, destinados a entender a influência da Amazônia nas dinâmicas ambientais de caráter global e continental – relacionadas sobretudo com a regulação climática e disponibilidade de recursos hídricos.

Conforme Calléde *et al.* (2010, apud Zanin e Satyamurty, 2020) a Bacia Amazônica tem importante papel no equilíbrio hidrológico global e regional e é responsável por 17% do total de descarga de água no Oceano Atlântico. Por outro lado, a Bacia do Rio Prata dá o suporte para a área mais populosa da América do Sul, atividades econômicas e produção de energia hidrelétrica (Popescu *et al.*, 2012 apud Zanin e Satyamurty, 2020).

Entre essas bacias há mecanismos de transporte de umidade denominado de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Jatos de Baixo Nível (JBN) a leste da Cordilheira dos Andes. Esses dois mecanismos são os responsáveis pelas chuvas no Sudeste do Brasil, Norte da Argentina e áreas do entorno (Vera *et al.*, 2006b; Boers *et al.*, 2014 apud Zanin e Satyamurty, 2020). A evapotranspiração da porção Norte do Atlântico tropical é transportada por ventos para dentro do continente Sul americano. A maior parte dessa umidade precipita sobre a Bacia Amazônica e o restante é enriquecido com a evapotranspiração da floresta

amazônica e vai em direção à Bacia Platina (Arraut e Satyamurty, 2009 apud Zanin e Satyamurty, 2020).

Segundo Arraut *et al.* (2012 apud Zanin e Satyamurty, 2020), os JBN podem ser considerados como rios voadores levando água dos trópicos para o subtropicais da América do Sul. O conceito de “rios voadores” enfatiza a troca que ocorre entre a superfície e atmosfera ao longo de seu fluxo onde tais rios ganham água pela evaporação na superfície e perdem por meio da precipitação.

A evapotranspiração que ocorre na Bacia Amazônica constitui-se em uma importante fonte de umidade para a Bacia do Prata durante o inverno. Esse transporte é realizado pelos ventos dos JBNs vindos do Norte. Nascimento (2013) observou que durante a atuação do JBN há a formação de um intenso escoamento a leste dos Andes, o qual inicia sobre a região Amazônica e escoar em direção ao Sul, atingindo a Região Sul do Brasil, nordeste da Argentina e praticamente todo o Paraguai.

Existe uma grande preocupação por parte da comunidade científica sobre eventual desequilíbrio desse transporte de umidade em função do aumento do desflorestamento que vem ocorrendo na Amazônia. Conforme dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2021), no ano de 2021, somente nos estados que constituem a região Norte do Brasil, a taxa de desmatamento no que diz respeito ao bioma amazônico foi 21,44% superior em relação ao mesmo período do ano anterior.

Estudos realizados por Chu *et al.*, (1994), Gash e Nobre., (1997), Ferreira *et al.*, (1998), Andreae *et al.*, (2004), Artaxo *et al.*, (2005), Fearnside, (2006), Pauliquevis *et al.*, (2007), Tavares, (2008), Longo *et al.*, (2009), Rocha *et al.*, (2012), Artaxo *et al.*, (2013), Rocha *et al.*, (2015), indicam que o desflorestamento na Amazônia leva à redução nos níveis precipitação e transporte de umidade para outras regiões do Brasil e do continente Sul-americano.

Lawrence e Vandecar (2014), apontaram que à medida que o desmatamento em florestas tropicais avança a precipitação diminui. Isso ocorre em escala continental, com possibilidade de ocorrer um ponto de inflexão quando os índices de desmatamento assumem valores entre 30% e 50%. A falta de chuvas não é a única ameaça oriunda do desflorestamento das florestas, que no caso do Brasil, também ameaça a competitividade agrícola, a produção de energia, as indústrias, o abastecimento das populações e as dinâmicas sociais (NOBRE, 2014).

Sob o ponto de vista econômico, o agronegócio brasileiro representa uma parcela relevante do PIB nacional, em média, 24% quando observado os valores de 1996 a 2018 (CEPEA & CNA, 2021). Cabe destacar, que em relação ao Valor Adicionado Bruto (VAB) da Agropecuária no PIB do país, as regiões Sul e Sudeste juntas possuem uma participação superior a 50% do total (IBGE, 2021).

Com base no relatório emitido pelo IBGE (2017) acerca das contas trimestrais de outubro a dezembro de 2017, a variação positiva em volume do valor adicionado da agropecuária naquele ano decorreu especialmente do desempenho da agricultura. Ainda segundo dados divulgados pelo mesmo instituto através no Levantamento Sistemático da Produção Agrícola no mês de fevereiro de 2018, o crescimento de produção e ganho de produtividade de diversas culturas em 2017 estão associadas a condições climáticas favoráveis, com destaque para o milho e soja. Por outro lado, algumas lavouras registraram variação negativa na estimativa de produção anual, como, por exemplo, a cana de açúcar e café.

Costa *et al.* (2019) menciona que reduções na duração da estação chuvosa aumentará o risco climático para o sistema de agricultura intensiva, um setor crucial para o equilíbrio econômico do país. A título de exemplo, tem-se o estado do Rio Grande do Sul, que teve a produtividade de boa parte das culturas de verão afetadas pela estiagem prolongada no início de 2020, apresentando uma retração de 6,9% no valor de produção agrícola, caindo para a quinta posição no ranking, com participação nacional de 8,1% (IBGE, 2020).

Segundo dados do IBGE (2020), no ano de 2019 o desempenho da produção nacional poderia ter sido melhor, não fosse o registro de quedas expressivas de produtividade no Rio Grande do Sul, que por conta da ocorrência de uma estiagem prolongada durante o período crítico de desenvolvimento da cultura apresentou redução de 40,6% no rendimento médio das lavouras.

Muitos pesquisas já evidenciaram o papel efetivo da Amazônia na prestação de serviços ecossistêmicos essenciais para garantir o equilíbrio ambiental do Brasil e de outras localidades. Inclusive, há trabalhos que simularam cenários de desflorestamento e suas prováveis consequências a níveis globais. Contudo, nenhum trabalho se aprofundou nos possíveis efeitos econômicos sobre o agronegócio brasileiro que podem surgir a partir das dinâmicas hidrológicas e do desflorestamento na Amazônia.

Assim, a presente dissertação tem como objetivo geral analisar a associação de variáveis ambientais e econômicas, especificamente a quantidade de precipitação decorrente da transferência de umidade da porção da Floresta Amazônica situada na região Norte, e o rendimento agrícola das culturas de milho e soja das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Em termos específicos, têm-se como objetivos: a) Verificar a influência dos processos hidrológicos da Bacia Amazônica, em particular dos rios atmosféricos oriundos dos estados que constituem a região Norte, na dinâmica do agronegócio dos estados que constituem as regiões Sul e Sudeste do Brasil; b) Analisar possíveis implicações do desmatamento da Floresta Amazônica, situada na região Norte, no regime pluviométrico das regiões Sul e Sudeste do Brasil e, por consequência, no rendimento das culturas de soja e milho daquelas regiões.

Além disso, serão analisados os dados de desmatamento da Amazônia na região citada e suas possíveis consequências no volume de chuvas e, por consequência, no rendimento agrícola daquelas regiões. Os dados resultantes da análise poderão auxiliar no entendimento da contribuição da Amazônia para a manutenção do agronegócio no Brasil, bem como, de que maneira o desmatamento pode estar influenciando nessa atividade econômica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordados fundamentos teóricos que darão suporte ao teste da hipótese apresentada. Por se tratar de um assunto que envolve um recurso ambiental, o ciclo da água, e uma atividade econômica relevante para o país, o agronegócio, será apresentado a base teórica econômica ambiental. Em seguida, maiores informações serão disponibilizadas para que se possa melhor entender o conceito dos rios atmosféricos (ou voadores) a partir das interações existentes entre clima e floresta. Devido a essa interação com a floresta amazônica, será apresentada uma seção abordando a questão do desflorestamento que vem ocorrendo na região buscando pontuar seus aspectos mais importantes. Em seguida, será apresentado o perfil e principais características do agronegócio na Região Sul e Sudeste do Brasil, sendo essas as áreas delimitadas para o estudo.

2.1 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS: A ECONOMIA DAS FALHAS DE MERCADO

O dano ambiental pode ser definido como “toda interferência antrópica infligida ao patrimônio ambiental” que de alguma forma possa “desencadear, imediata ou potencialmente, perturbações desfavoráveis ao equilíbrio ecológico, à sadia qualidade de vida, ou quaisquer outros valores coletivos ou de pessoas” (MILARÉ, 2016). Do ponto de vista econômico, os resultados decorrentes da relação entre ser humano e meio ambiente são chamados de

externalidades, que podem ser definidas como os custos ambientais acarretados pelas atividades desenvolvidas (FERREIRA & BRASIL, 2020).

As consequências oriundas das ações antrópicas estão afetando o equilíbrio climático regional e global, sobretudo, em razão da economia que vem demandando cada vez mais o uso dos recursos naturais e afetando os recursos ambientais, tais como qualidade do ar e ciclo hidrológico. Nas Ciências da Economia Ambiental, esses problemas são denominados de falhas de mercado.

Segundo Kahn e Rivas (2014), falhas de mercado ocorrem quando os interesses públicos e privados divergem no mercado, portanto, alocando os recursos de maneira ineficiente. Quando isso ocorre, as forças que levam o mercado ao equilíbrio não potencializam os benefícios sociais líquidos igualando os benefícios marginais sociais com os custos marginais sociais. Uma falha de mercado pode criar uma divergência entre os custos privados e os custos sociais.

Por exemplo, a produção de grãos gera trabalho, terra, capital e custos tanto para o produtor de grãos como para a sociedade como um todo. Consequentemente, a terra, o trabalho, o capital e os custos materiais são componentes tanto dos custos privados (do produtor) quanto dos custos sociais. Além disso, há um conjunto de custos atribuíveis à poluição (p. ex.: defensivos agrícolas, nutrientes, perda de biodiversidade, uso da água, etc.), que é tolerado pela sociedade como um todo e não pelos produtores de grãos individuais. Tal situação cria a disparidade entre custos privados e custos sociais. A Figura 1 ilustra graficamente essa situação.

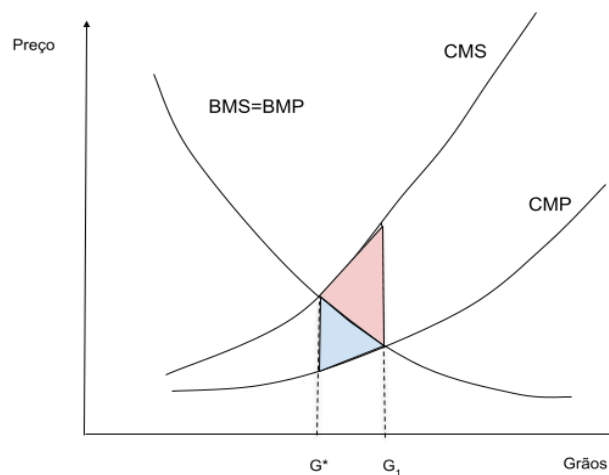


Figura 1 – Exemplo de falha de mercado

Fonte: Kahn e Rivas, 2014.

Por simplicidade, considera-se na figura que benefícios marginais sociais (BMS) e benefícios marginais privados (BMP) permanecem iguais. Observe-se no gráfico que os custos

sociais (vermelho) excedem os custos privados (azul), pois, embora ambos considerem os custos privados de produção (capital, terra, trabalho, etc.), somente os custos sociais incluem os custos adicionais contendo o prejuízo gerado pela poluição.

Os produtores de grãos agem em respostas aos custos privados e preço; os consumidores de grãos reagem aos benefícios privados (os quais nesse exemplo são iguais aos benefícios sociais). Assim, as forças de mercado gerarão um equilíbrio onde o custo marginal privado é igual ao benefício marginal a um nível de resultado igual a G_1 . Este nível é maior que o nível socialmente ótimo de produção que é igual a G^* , onde o custo marginal social é igual ao benefício marginal social. Observa-se que para o resultado entre G_1 e G^* , os benefícios dos bens são menores (azul) que os custos associados a esse mesmo bem (vermelha). Este custo excedente é a área em vermelho e representa os custos para a sociedade em ter este nível de resultado (G_1) maior que o mais favorável.

Ainda segundo Kahn e Rivas, op. cit., “a informação imperfeita significa que alguns segmentos do mercado – consumidor ou produtor ou ambos – não conhecem os verdadeiros custos ou benefícios associados ao bem ou atividade.” Quando isto ocorre, não seria de se esperar que as forças de oferta e procura se igualem aos benefícios sociais marginais e aos custos marginais sociais.

No exemplo em análise, parece ser bastante claro que os agentes econômicos não incorporam em suas decisões de produção e consumo informações relativas aos efeitos de tais decisões individuais, levando os mercados a falharem. Muito do desflorestamento que ocorre na Amazônia acontece como resultado da derrubada e queima da floresta para produção agropecuária. Métodos agrícolas pelos quais produtores (grandes ou pequenos) poderiam produzir mais alimentos e mais renda sem destruir a floresta estão disponíveis, porém, tais produtores não os empregam por desconhecê-los e/ou devido os custos envolvidos serem mais elevados que as práticas convencionais, contribuindo para a falha de mercado.

Uma outra causa de falha de mercado relevante para este estudo são os bens públicos. Esses bens são distinguidos dos bens privados por duas características primárias: a não rivalidade e a não exclusividade de consumo. Cabe ressaltar, que há uma confusão muito grande no sentido de que as pessoas consideram que bens e serviços públicos são aqueles disponibilizados pelo governo (KAHN & RIVAS, 2014). Esse é o caso de muitas áreas na floresta amazônica. Por exemplo, muitos consideram que as terras da União são terras de todos e por isso podem utilizá-la da maneira que mais lhes convém, sendo que não é essa a verdade. Invadir ou desflorestar ilegalmente uma terra pública faz com que o custo social aumente em

relação ao privado, levando a uma falha de mercado porque o nível de desflorestamento está além do socialmente desejado.

As externalidades são talvez a mais importante classe de falhas de mercado no campo da Economia Ambiental. Externalidades são falhas no sistema de mercado e ocorrem quando as atividades de produção e ou de consumo geram custos ou benefícios que não são contabilizados pelo mercado. Podem ser descritas como custos ou benefícios secundários, de consequências involuntárias ou involuntários efeitos colaterais (benéficos ou prejudiciais) associados às transações de mercado (KAHN & RIVAS, 2014). Se há uma consequência prejudicial involuntária (tal como desflorestamento) associada a um bem ou a uma atividade, então a função de custo marginal privado estará abaixo da função de custo marginal social gerando a uma falha de mercado do tipo analisado na Figura 1 acima.

Ressalta-se, que na hipótese da adequada atribuição de preço a esta externalidade se atingiria uma situação ótima, anulando-se esta falha, uma vez que não seria mais possível melhorar o bem-estar de um indivíduo sem reduzir o bem-estar de outro (DE SOUZA & DE CARVALHO PEIXOTO, 2018).

Na análise desenvolvida neste estudo, assume-se que ocorrem os três tipos de falhas de mercado de maneira simultânea, o que induz a um problema desafiador do ponto de vista ambiental e econômico. Externalidades da poluição sempre são dadas como exemplo de externalidades negativas. No entanto, uma taxa de desflorestamento na Amazônia acima do que seria socialmente ótima gera externalidades como, por exemplo, alterações do padrão de chuvas em outras regiões do país.

Uma classe especial de externalidade diz respeito ao direito de propriedade que é gerada por uma falta desse direito (ou pela incapacidade para fazer cumprir tais direitos). Denomina-se esta situação de externalidade de acesso-aberto. Uma externalidade desse tipo existe quando os direitos de propriedades são insuficientes para evitar o uso geral de um recurso e aonde seu uso descontrolado conduza à destruição ou ao prejuízo deste mesmo recurso. Nesse sentido, assume-se também que o problema aqui estudado também está associado a externalidade de recurso-aberto.

2.2 O PAPEL DA AMAZÔNIA NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

Nesta seção, será abordado acerca papel crucial da Amazônia para o desenvolvimento de atividades econômicas no país, sobretudo para o agronegócio, que é beneficiado diretamente pelo ciclo hidrológico da região. Para melhor compreensão, dividiu-se em dois subtópicos – o

primeiro, trata da associação da floresta amazônica ao desenvolvimento do agronegócio e, o segundo, acerca do conceito e das dinâmicas ambientais do fenômeno dos rios atmosféricos.

2.2.1 A floresta amazônica e sua influência no agronegócio brasileiro

Em geral, as florestas sempre foram tidas como fontes de insumos para suprir as necessidades dos seres humanos e fomentar o desenvolvimento de atividades econômicas. Esta percepção tem se intensificado na medida que a sociedade tem observado a importância dos serviços ecossistêmicos que são provenientes dessas florestas para manutenção direta e/ou indireta das condições de existência.

De acordo com Campos e Higuchi (2009), pesquisas científicas têm procurado entender a importância das florestas para as sociedades, que cada vez mais tem notado a importância dos serviços ecossistêmicos prestados por esses recursos naturais. Ainda conforme os autores, esses serviços se tratam dos benefícios prestados pelas florestas quando preservadas, como a proteção do solo contra processos erosivos, a regulação do clima a níveis locais e regionais e, regulação do ciclo de chuvas.

Rezende e Vartuli (2021) corroboram ao afirmara que em geral as florestas executam uma função indispensável na conservação do equilíbrio dos ecossistemas, inclusive com a capacidade de influenciar o clima, tanto nos espaços em que estão como externamente, absorvendo dióxido de carbono e liberando oxigênio, purificando e reciclando a água, abrigando diferentes espécies, garantindo alimentos e insumos para medicamentos por meio da biodiversidade que se inicia.

No que concerne ao Brasil, a Floresta Amazônica figura como uma das principais provedoras de serviços ecossistêmicos. Entre esses serviços estão a regulação do ciclo das chuvas do país, regulação climática em escalas locais e regionais, conservação da biodiversidade e a estocagem do carbono que evita o agravamento do efeito estufa. (FEARNSIDE, 2006, p. 396; CAMPOS & HIGUCHI, 2009, p. 9; WATSON, 2018, p. 601).

A Floresta Amazônica possui dimensão equivalente a 56% de todas as florestas tropicais existentes. com uma área total aproximada de 7 milhões de km², cortada pelo Rio Amazonas e seus afluentes, representando a maior rede fluvial do globo terrestre, com cerca de 20% de toda água doce que desaguam nos oceanos. Portanto, alterações nesse ecossistema podem resultar em efeitos negativos sobre a circulação atmosférica, no transporte de umidade e no ciclo hidrológico, inclusive de outros países (CORREIA *et al.*, 2007).



Figura 2 - Limites da Amazônia

Fonte: Adaptado de IBGE, 2014.

Cabe ressaltar, conforme Nobre (2014), que além dos serviços mencionados acima, a floresta amazônica é responsável por exportar vapor d'água para outras regiões do continente, bem como pela irrigação de outras bacias hidrográficas que não a do Amazonas via “Rios Voadores”. Os Rios Atmosféricos como são conhecidos cientificamente os “Rios Voadores” são cursos de água, formados de vapor d'água condensado que se estendem por milhares de quilômetros na atmosfera e são impulsionados pelos ventos (MOSS & MOSS, 2006).

Esses rios, apesar de invisíveis são extremamente volumosos, sendo essenciais para a manutenção das precipitações das regiões agrícolas do Brasil, sobretudo das regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Segundo Correia *et al.* (2007), a Amazônia chega a exportar anualmente uma quantidade de umidade que é de aproximadamente duas vezes o total da precipitação regional ou, ainda, quatro vezes a sua evapotranspiração. Desse total, aproximadamente metade é transportada em direção ao Sul da América do Sul e a outra metade em direção ao oceano Pacífico e Caribe.

Da mesma forma, Fearnside (2015) aponta para a região Centro-Sul do Brasil e para a região do Paraguai como sendo aquelas que mais recebem água exportada da Amazônia via essas massas de vapor d'água. O autor ainda cita um estudo elaborado pelo meteorologista da

Universidade de São Paulo, Pedro Silva Dias, que chama atenção para a estação chuvosa em São Paulo, onde até 70% da precipitação depende do vapor d'água amazônico.

Barroso e Mello (2020), também entendem que a importância da floresta amazônica está no seu papel no ciclo da água e, como consequência, no controle do regime de chuvas, com implicações ao longo em todo o continente Sul-americano, por meio da evapotranspiração e da atração e transferência de umidade dos oceanos para o interior do continente, contribuindo para irrigar outras bacias hidrográficas inclusive de outros países.

Nesse sentido, verifica-se que a chuva proveniente do ecossistema amazônico é, para algumas regiões, a maior fonte de abastecimento de água para atividades relacionadas com o agronegócio e para produção de energia elétrica (REZENDE; VARTULI, 2021). Ambas as atividades citadas pelos autores são essenciais para garantir o desenvolvimento do país, com a matriz de produção elétrica hídrica correspondendo a aproximadamente 60% do total da matriz elétrica brasileira (Figura 3) e o agronegócio, entre insumos, agropecuária, indústria e serviços, com uma participação superior a 25% do Produto Interno Bruto (PIB) total do Brasil (Figura 4) no ano de 2020, conforme dados extraídos do CEPEA e CNA (2021).

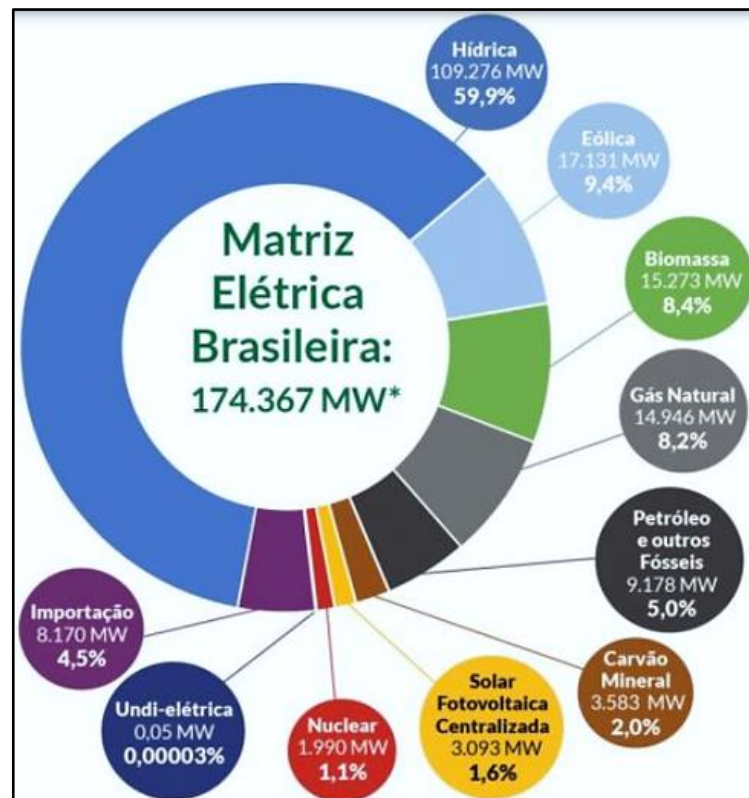


Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: ABSOLAR, 2021.

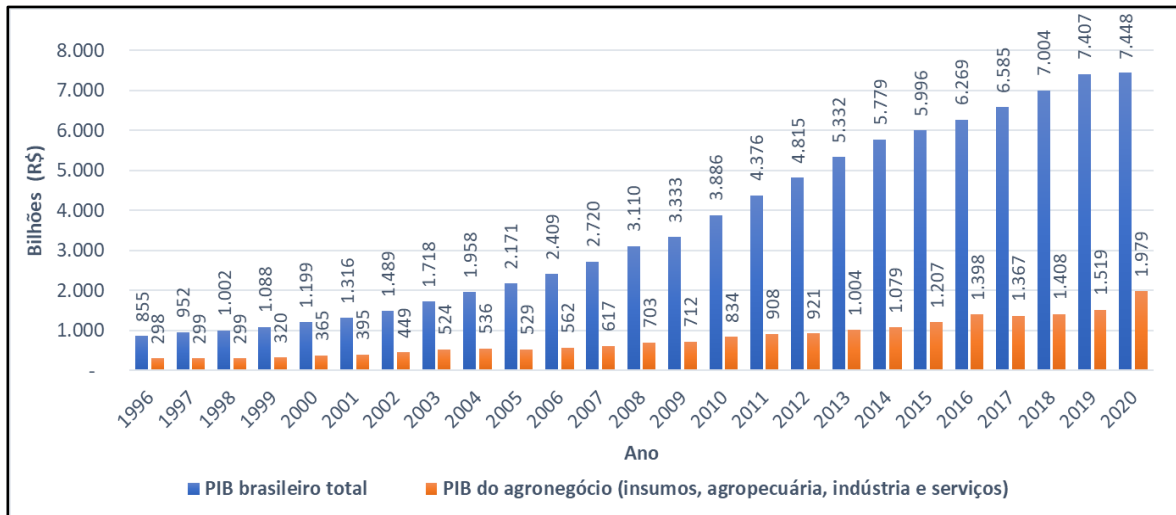


Figura 4 – Participação do PIB do agronegócio no PIB total do Brasil

Fonte: Elaboração do autor com bases nos dados do CEPEA e CNA, 2021.

2.2.2 Rios atmosféricos amazônicos: fenômeno e dinâmicas ambientais

O conceito de rios atmosféricos foi proposto inicialmente no ano de 1992, por Reginald Newell e Nicholas Newell, com o objetivo de descrever fluxos na baixa atmosfera capazes de transportar grandes volumes de água como vapor (NOBRE, 2014). Atualmente, são muitas as denominações e os conceitos utilizados para descrever esse processo, por exemplo: ciclo de umidade, rios aéreos, jatos de baixos níveis, etc.

Para Rodrigues (2021), os rios atmosféricos amazônicos, também conhecidos por rios voadores, podem ser definidos como: “cursos de água atmosféricos com massas de ar carregadas de vapor d’água, acompanhados por nuvens e impulsionados pelo vento”. Completa o autor, que essas correntes de ar são transportadas por meio da atmosfera levando umidade oriunda da bacia amazônica para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

Adicionalmente, Fearnside (2004) afirma que uma característica desse fenômeno está relacionada na incapacidade da água das chuvas em infiltrar no solo compactado das pastagens amazônicas. Logo, essa água escoar superficialmente até encontrar a rede fluvial, sendo posteriormente despejada no oceano atlântico. Contudo, na floresta, a água penetra do solo, sendo em sua maior parte absorvida pelas raízes das árvores e relançadas à atmosfera por meio da transpiração das folhas.

A Figura 5 demonstra o processo de constituição dos Rios Voadores da Amazônia, desde a transferência de umidade do Oceano Atlântico em direção a Amazônia até a sua influência nas dinâmicas ambientais de outras regiões do país e do continente.



Figura 5 - Os Rios Voadores da Amazônia

Fonte: O Globo, 2021.

Estima-se que 40% de toda precipitação sobre a terra tem origem a partir da evapotranspiração, alcançando contribuições maiores em algumas regiões, como na bacia do rio da Prata, que demanda de 70% da evaporação da Floresta Amazônica para seus recursos hídricos. A evapotranspiração da Floresta Amazônica corresponde a 8,4 trilhões de m^3 /ano, possibilitando que a precipitação na região totalize 15 milhões de m^3 /ano. Valor esse que excede 50% o total que é oriundo do oceano (SALATI, 2001 *apud* FEARNSSIDE, 2006; VAN DER ENT *et al.*, 2010).

Nesse sentido, verifica-se que a Amazônia desempenha uma função essencial no controle climático e, conseqüentemente, nas dinâmicas ambientais de diversas regiões do Brasil e de outros países. Apesar disso, é necessário chamar atenção para situação de risco em que se encontra o ecossistêmico amazônico, que tem sofrido com danos ambientais oriundos sobretudo

da exploração irregular de reservas minerais e do desmatamento de grandes áreas seja para extração de madeira, ou para prática da agropecuária.

2.3 DESFLORESTAMENTO DA AMAZÔNIA E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Neste tópico serão abordados acerca do desflorestamento na Amazônia e seus efeitos sobre o clima, e sobre a influência das mudanças climáticas no agronegócio das regiões Sul e Sudeste. Para tanto, optou-se por dividir em dois tópicos os temas supracitados, onde no primeiro serão apresentados os níveis de desmatamento e sua evolução no decorrer do tempo associadas com alterações do clima e, no segundo, o perfil e principais características do agronegócio na Região Sul e Sudeste do Brasil, sendo essas as áreas delimitadas para o estudo.

2.3.1 Desflorestamento na Amazônia e mudança climática

No Brasil, grande parte do desflorestamento concentra-se no bioma amazônico. De acordo com Costa *et al.* (2007), em agosto de 2005, o desflorestamento na Amazônia brasileira correspondia a 15% da cobertura florestal original total desse ecossistema e aumentava a uma taxa média de 19.350 km² por ano. Em 2010, conforme Homma (2010), mais de 72 milhões de hectares da Amazônia brasileira já haviam sido desflorestados, correspondendo a 17% do seu território, área duas vezes maior do que a do Japão ou da Alemanha.

As florestas tropicais detêm os maiores estoques de biodiversidade e de carbono (Strassburg *et al.*, 2010), de forma que a Amazônia brasileira é um caso de enorme relevância. Segundo Andersen *et al.* (2002), a floresta amazônica representa cerca de 40% das florestas úmidas remanescentes no planeta.

Soares-Filho *et al.* (2005), ressaltam que a Amazônia está mudando sua estrutura geográfica drasticamente devido ao grande progresso no desflorestamento, que pode ser constatado ao comparar a perda florestal na América Latina, entre os anos de 1990 a 1997, que foi estimada em 150.000 km², com a perda florestal na Amazônia brasileira no mesmo período, que conforme dados do INPE foi de aproximadamente 100.000 km².

A discussão sobre o desflorestamento da Amazônia, por muito tempo, foi vista de forma pacificada, especialmente pelos incentivos fiscais, rodovias, imigração e a especulação fundiária, os quais são temas inter-relacionados. Ao mesmo tempo, havia uma correlação positiva entre a fronteira econômica Região Norte e o crescimento econômico do país, que não tem sido observado nos últimos anos. No entanto, embora o crescimento na região tenha diminuído, o desflorestamento ainda está aumentando (RIVAS *et al.*, 2009).

O desflorestamento na Amazônia é uma pauta antiga da agenda ambiental global. No decorrer das últimas duas décadas, o ecossistema amazônico esteve exposto a cenários relativamente distintos no que diz respeito aos índices de desflorestamento (Figura 6).

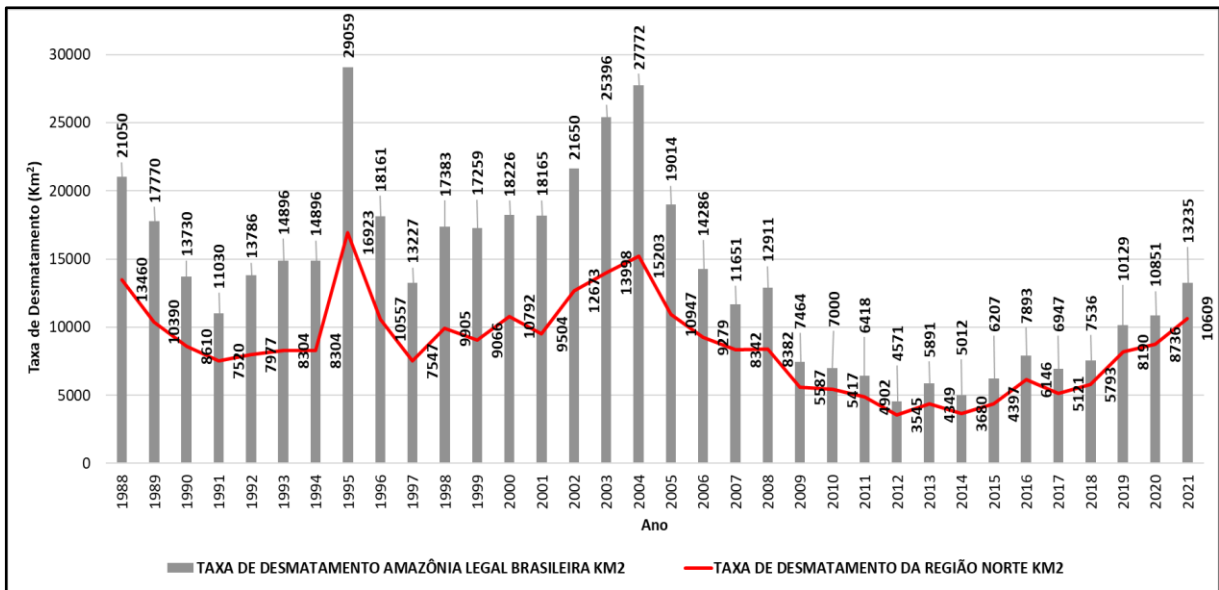


Figura 6 - Evolução do desflorestamento na Amazônia Brasileira Legal no período de 1988 a 2021

Fonte: Elaboração do autor com base em dados do INPE, 2021.

Observa-se na Figura 6, que no início da primeira década deste século até 2005 a taxa de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira apresentava uma tendência de crescimento, passando um momento de decréscimo até o ano de 2012, onde retornou a crescer. Ainda, ao comparar os valores totais de desmatamento na Amazônia com os valores de desmatamento desse bioma somente da região Norte, é possível verificar que houve um aumento expressivo da representatividade dessa região no total desmatado, sobretudo a partir de 2009, quando se têm uma participação de pelo menos 70,0% no valor total desmatado nos anos subsequentes.

Vale ressaltar que o desflorestamento na Amazônia, conforme demonstrado no gráfico acima, está relacionado à diversas causas históricas e atuais. Historicamente, associadas com fatores os quais vão desde benefícios fiscais e política colonial, situação que desencadeou uma forte migração para a Amazônia como saída para problemas sociais em outras regiões e, atuais, atribuídas principalmente às alterações realizadas no código florestal em 2012 e a expansão das áreas agrícolas.

Segundo Barroso e Mello (2020), a principal agente de desflorestamento na Floresta Amazônica é a pecuária, com a constituição de pastos em fazendas de criação de gado. Além disso, conforme Swann *et al.* (2015), espera-se que a expansão agrícola na Amazônia e nas

áreas vizinhas do Brasil continue nas próximas décadas, à medida que a demanda global por alimentos aumenta.

O processo de expansão agrícola brasileiro tem origem no Sul, em seguida adentrando áreas do Cerrado e atualmente se espalhando pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, com reflexos em ocupação de área da própria região Norte do País como os estados do Pará, Amazonas e Tocantins (GASQUES, BOTELHO e BASTOS, 2015).

Conforme Freitas *et al.* (2016), é possível verificar uma dinâmica de expansão de terras agrícolas bem definida, que se dá pela rota Centro Noroeste do País na direção dos trechos ocidentais e meridionais da região Norte. Os autores ainda citam que há um subeixo definido de novas áreas destinadas à prática agrícola, com base nas mesorregiões do nordeste mato-grossense, Norte mato-grossense, Sul do Amazonas e Vale do Juruá, conforme vislumbra-se na Figura 7.

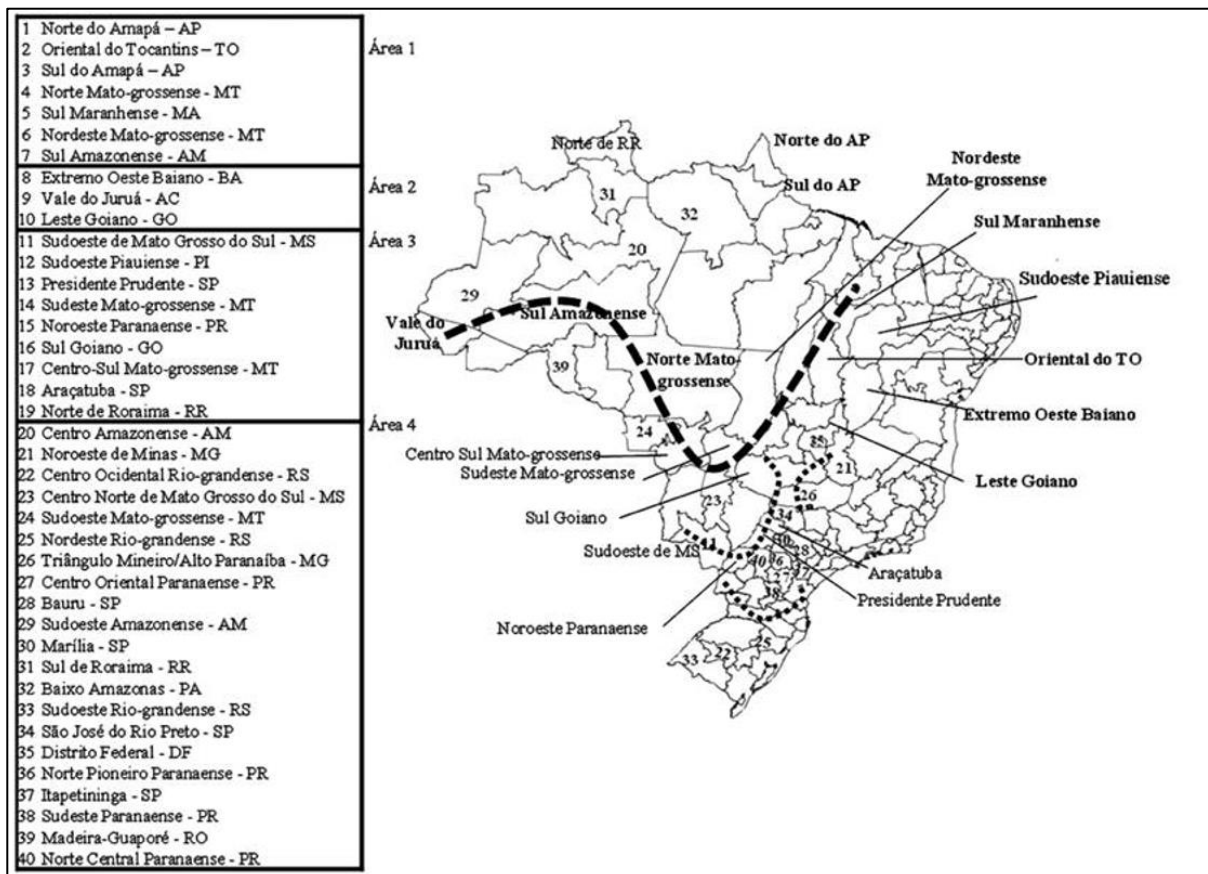


Figura 7 - Áreas de expansão agrícola segundo as mesorregiões brasileiras, 1994-2013

Fonte: Freitas *et al.*, 2016.

Nesse sentido, verifica-se nos últimos anos uma tendência na expansão de terras agrícolas associadas ao desflorestamento na Amazônia Brasileira Legal, sobretudo no Mato

Groso e nos estados da Região Norte do país, sendo possível observar graficamente a situação isolada dos estados da região Norte por meio da Figura 8.

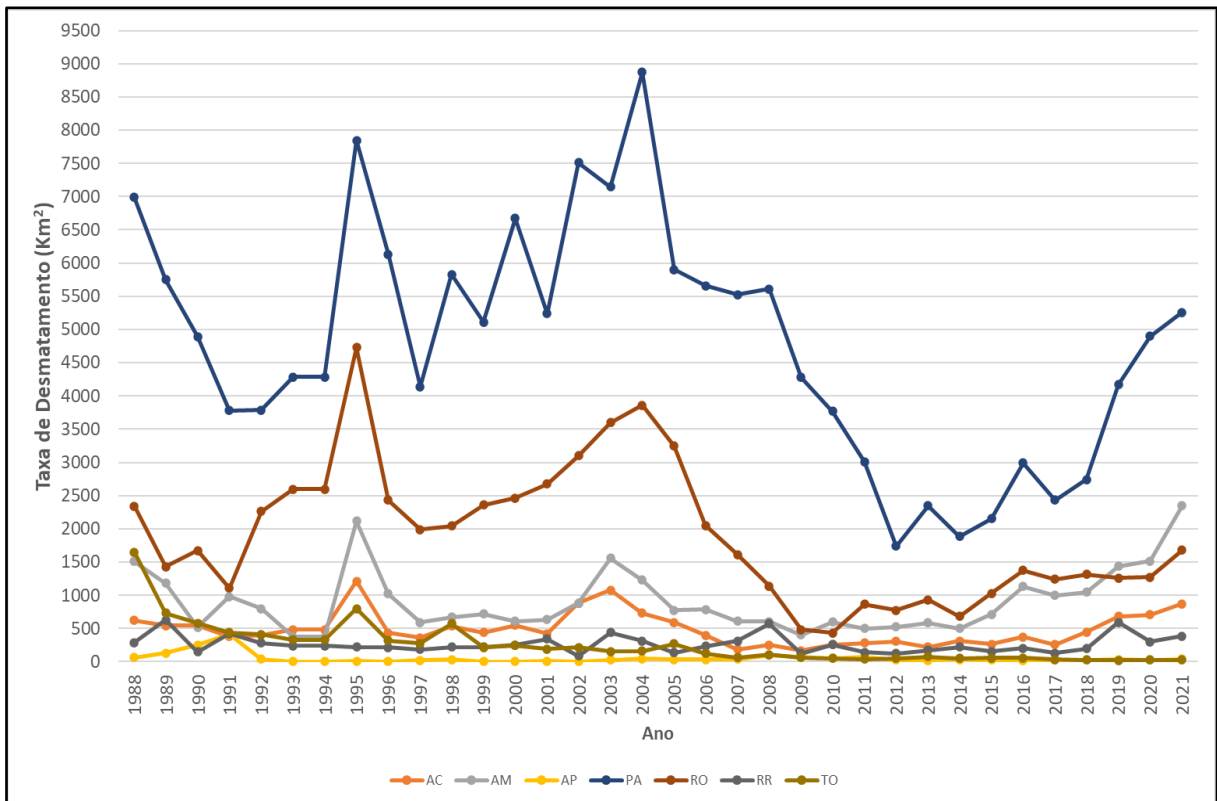


Figura 8 - Evolução do desmatamento nos estados da Região Norte no período de 1988 a 2021

Fonte: Elaboração do autor com base em dados do INPE, 2021.

Verifica-se um aumento acentuado na taxa de desflorestamento em todos os estados da região Norte a partir do ano de 2012, sobretudo, nos estados do Pará, Amazonas e Rondônia. Ainda, conforme a série histórica contida na Figura 8, os estados do Pará e Rondônia apresentam as maiores taxas históricas de desmatamento desta região.

Além da mudança do uso do solo para expansão de áreas de pastagens e plantio, a extração de madeira, a mineração e outras atividades econômicas também estão diretamente ligadas ao desflorestamento da Amazônia.

Independentemente da causa, o desflorestamento na Amazônia provoca alterações dramáticas no clima da América do Sul. Conforme Nijssen *et al.* (2001) o efeito do desflorestamento associados aos efeitos das mudanças climáticas afeta o ciclo hidrológico em escalas de tempo distintas:

Em escalas de tempo curtas, de dias a meses, mudanças nos padrões climáticos podem levar a mudanças na incidência de inundações. Em escalas de tempo mais longas, de estações a anos, as mudanças nas características da seca são a principal manifestação hidrológica das mudanças climáticas. Em escalas de tempo anuais a décadas, as teleconexões nos padrões globais de circulação atmosférica, causadas

principalmente por interações oceano-atmosfera, afetam fortemente a hidrologia de certas regiões, especialmente nos trópicos, mas também em algumas regiões extratropicais (NIJSSEN *et al.*, 2001).

Marengo *et al.* (2018), por sua vez, evidenciou cenários considerando o desflorestamento parcial e total da Amazônia, que apresentaram reduções significativas no volume de chuvas em ambas condições, afetando a hidrologia regional e com consequências às populações vizinhas. Costa *et al.* (2007) corrobora ao explicar que existem dois mecanismos que reduzem a precipitação: a supressão da precipitação devido ao resfriamento da coluna atmosférica e a redução da umidade da evapotranspiração local resultando em uma secagem da coluna.

Conforme Correia *et al.* (2007), o desflorestamento de florestas para criação de pastagens na Amazônia reduz a taxa anual de evapotranspiração, além de alterar a circulação atmosférica, com efeitos sentidos tanto localmente como em localidades mais distantes. Ainda de acordo com os autores, a mudança do uso do solo dessas florestas em pequenas porções pode até induzir um aumento na precipitação sobre a porção desflorestada, contudo, quando o desflorestamento se estende por grandes áreas, resulta em profundas alterações à circulação atmosférica com reduções e aumentos de precipitação, e até em regiões vizinhas e mais remotas.

Nobre (2014) ressalta que estudos de modelagem climática realizados há mais de 20 anos e confirmados por observações, já apontavam impactos decorrentes do desflorestamento sobre o clima. Exemplos dessas consequências são: redução na transpiração das florestas, alteração no ciclo de chuvas e estações secas prolongadas.

Além disso, após a realização de um estudo de revisão da literatura sobre os impactos do desflorestamento na Amazônia, Santos *et al.* (2017) concluem que: “a mudança no uso da terra na Amazônia, através do desflorestamento, leva a uma redução nos níveis de evapotranspiração e consequentemente na reciclagem de precipitação e transporte de umidade para outras regiões do Brasil e da América do Sul”.

Observe-se abaixo a síntese das características e os resultados dos estudos analisados por Santos *et al.* (2017):

Autor/Ano Escala geográfica de abrangência	Desenho do estudo Elementos analisados	Principais resultados
Chu <i>et al.</i> , (1994) Bacia Amazônica	Observacional Precipitação.	Aumento na ocorrência de precipitação em paralelo com o desflorestamento; Contrastes nas

		simulações numéricas; Aumento na ocorrência de precipitação relacionado ao desflorestamento em pequena escala.
Gash e Nobre., (1997) Rondônia	Observacional Temperatura; Balanço de radiação; Evaporação.	Aumento no albedo com cerca de 0.13 a 0.18, gerando aumento na temperatura da superfície; Diminuição no saldo de radiação na pastagem, 11% a menos que na floresta; Evaporação reduzida durante a estação seca; Aumento no fluxo de calor sensível na pastagem
Ferreira et al., (1998) Sudoeste da Amazônia	Observacional Precipitação.	Distribuição regular da variabilidade diária de precipitação; Chovendo 28% a mais na floresta em relação à pastagem.
Andreae et al., (2004) Amazônia	Observacional Nuvens; Precipitação.	Alta concentração de aerossóis e inibição na formação de chuvas; Modificações na microfísica das nuvens; Interferência nos processos fotossintéticos da floresta; Forte presença de pironuvens na região.
Artaxo et al., (2005) Sudoeste da Amazônia	Observacional Evapotranspiração; Precipitação; Partículas de aerossóis; Nuvens.	Diminuição da evapotranspiração durante a estação seca sobre a pastagem; Diminuição das chuvas; Maior nível de precipitação em ambientes de floresta com 20% a mais que na pastagem; Intensificação dos gradientes horizontais de temperatura.
Fearnside, (2006) Amazônia	Observacional Biodiversidade; Evapotranspiração; Emissão de gases de efeito estufa; Precipitação; Ciclo hidrológico.	Perda irreparável da biodiversidade pelo desflorestamento; Diminuição da evapotranspiração em áreas de pastagens; Diminuição na evaporação; Baixa ocorrência de chuvas; Alterações negativas no ciclo hidrológico.
Pauliquevis et al., (2007) Amazônia	Observacional Precipitação; Nuvens; Balanço de radiação; Partículas de aerossóis.	Absorção e espalhamento de radiação devido à alta concentração de partículas na atmosfera; Alteração na composição química da chuva; Ineficiência na formação de nuvens de chuvas; ocorrência de pironuvens.
Tavares, (2008) Amazônia	Revisão Precipitação; Nuvens.	Impactos negativos causados pela concentração de partículas de aerossóis na atmosfera sobre a formação de nuvens de chuvas e reciclagem de nutrientes.
Longo et al., (2009) Amazônia	Revisão Nuvens; Precipitação; Balanço de radiação.	Nuvens quentes de baixo nível durante a estação chuvosa; Atmosfera livre de poluição apresentando concentração de NCN na faixa de 200 cm ⁻³ a 1% de supersaturação; Regiões afetadas por atividades antrópicas os níveis chegam a 10.000 cm ⁻³ ; Supressão de chuvas e alteração nos mecanismos de formação de nuvens
Rocha et al., (2012) Bacia Amazônica	Modelagem Numérica Temperatura da Superfície; Balanço de Umidade.	Observou-se mudanças climáticas regionais significativas no balanço de energia, água e temperatura na estação chuvosa; Temperaturas observadas na porção central leste da bacia entre (5,0°C e 7,0°C). G.E.E identificado como principal agente modificador da temperatura na

		bacia em 3,4°C; Alteração na convergência de umidade em escala regional; Redução de 30% das chuvas sobre a bacia.
Artaxo et al., (2013) Amazônia	Observacional Partículas de aerossóis; Composição química das chuvas; Nuvens; Balanço de radiação.	Alteração no equilíbrio de absorção de carbono pela floresta; Modificação da composição química da atmosfera durante a estação seca; Supressão de precipitação; Aumento da radiação difusa; Modificação da microfísica de nuvens na região; Modificação no saldo de radiação da superfície.
Rocha et al., (2015) Amazônia	Revisão Umidade; Precipitação; Ciclo Hidrológico.	Foi identificado que 70% da chuva que cai sobre a bacia amazônica é proveniente do oceano atlântico, os outros 30% é produzido através da reciclagem de precipitação realizada pela floresta amazônica.

Quadro 1 – Características dos estudos revisados acerca dos impactos do desmatamento na Amazônia

Fonte: Adaptado de Santos *et al.*, 2017.

São muitos os efeitos que as mudanças climáticas podem causar para o planeta terra como o conhecemos hoje. Conforme os estudos acima apontam, essas alterações podem afetar diretamente o provimento dos serviços ecossistêmicos que a floresta amazônica oferece, impactando nos sistemas naturais e, por consequência, no modo que os seres humanos se organizam e se desenvolvem, por meio do aumento da temperatura média global, intensificação da ocorrência de desastres naturais e, sobretudo, a oferta de água, o que implicaria na economia de vários países.

2.3.2 Mudança climática e seus efeitos econômicos no agronegócio das Regiões Sul e Sudeste do Brasil

Segundo Marengo *et al.* (2018), as mudanças climáticas vêm ocorrendo e produzindo impactos significativos e, quanto maior for o aquecimento, maiores serão as consequências futuras e riscos que a humanidade vai enfrentar, incluindo a possibilidade de danos irreversíveis em ecossistemas, na biodiversidade, na produção agrícola e na economia e sociedade em geral.

O sistema econômico interage com o meio ambiente, extraíndo recursos naturais e devolvendo resíduos. Além disso, altera consideravelmente o espaço em que atua em função de sua expansão. Assim, pode-se dizer que o sistema econômico tem impactos sobre os ecossistemas, sendo tais impactos funções da sua escala – tamanho e dimensão (DE CASTRO & ANDRADE, 2016).

O Brasil mostra vulnerabilidades importantes nas área ambiental e climática, com aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. Esse cenário impacta diretamente a economia e o funcionamento dos ecossistemas. Conforme Artaxo (2019), os eventos climáticos extremos impactam a produção agrícola, a infraestrutura costeira, a disponibilidade de recursos hídricos, e a qualidade ambiental das cidades entre muitos outros efeitos.

Cabe ressaltar, que o setor agrícola em particular fornece insumos para muitos outros setores da economia, portanto, naturalmente os efeitos sobre esse setor decorrentes das anomalias climáticas podem vir a se espalhar por todo o sistema econômico (HADDAD *et al.*, 2013). Em 2019, a riqueza gerada no agronegócio foi de R\$1,5 trilhão o que representou 37,6% do PIB total nesse ano. A agropecuária aumentou seu desempenho, em 2000 sua participação foi de 15,23% e, em 2019 a sua participação no PIB do agronegócio foi de 22,6%, ressalta-se que, o crescimento deste setor se deve, em grande medida ao aumento da produção de grãos que advém, em grande medida do segmento da agricultura empresarial (BUSTAMANTE *et al.*, 2021).

De acordo com IBGE (2015), as atividades agrícolas são responsáveis por grande parte do volume adicionado ao PIB (Produto Interno Bruto) do país, conferindo ao Brasil destaque na produção de commodities como o milho, a soja, a laranja e a cana-de-açúcar dentre outras, auxiliando a economia graças aos recursos externos que proporcionam. Nesse sentido, as análises do impacto das mudanças climáticas na agricultura do Brasil têm aumentado nos últimos anos, e estimativas de rendimento de culturas agrícolas obtidas em diversas regiões brasileiras diante de cenários de mudança climática que foram relatadas anteriormente (FÉLIX *et al.*, 2020).

Por exemplo, Haddad *et al.* (2013) demonstram que os resultados sobre os custos econômicos das anomalias climáticas são significativamente subestimados se apenas os efeitos de equilíbrio parcial são contabilizados. Ainda segundo os autores a cada perda de R\$ 1,00 na produção agrícola, causada pelas anomalias climáticas de 2005, implicaram em perdas adicionais de R\$ 3,25 na economia como um todo. Observaram também que as ligações intersetoriais e inter-regionais, bem como os efeitos dos preços, são canais importantes para propagar os efeitos econômicos de anomalias climáticas localizadas em determinada região.

No mesmo sentido, Venâncio (2014), ao avaliar a influência do ritmo pluvial sobre o rendimento agrícola do milho, que apresenta destacada importância econômica na Mesorregião do Oeste Catarinense, principalmente como um dos insumos essenciais para toda a cadeia

econômica agroindustrial, chamou atenção para a necessidade de conhecer o calendário agrícola desta cultura em Santa Catarina. Isso porque, o autor concluiu que o rendimento agrícola do milho na safra de 2005 pode ter sido impactado, principalmente, pela falta de regularidade do ritmo pluvial na segunda e na última fase do ciclo de desenvolvimento do milho do ano de 2003/04.

Gotardo *et al.* (2018) discorrem que no Estado de Santa Catarina as oscilações no clima, observadas em períodos de estiagem e na ocorrência frequente de eventos de precipitação extrema, os quais determinam anos favoráveis ou desfavoráveis para a produção agrícola, afetam diretamente a economia estadual. De acordo com Severo *et al.* (2019), Santa Catarina tem grande parte de sua economia associada ao agronegócio e as características do clima e suas variações têm determinado anos favoráveis ou desfavoráveis para a produção agrícola e criação de animais, entre outros.

Desta maneira, a produção agropecuária tem o clima como principal fator responsável por quebras de safras e, conseqüentemente, diminuição de lucros. Sendo a precipitação pluviométrica o parâmetro climático crucial para as regiões onde a economia é fortemente baseada na atividade agropecuária, como é o caso do Sul do Brasil (SEVERO *et al.*, 2019).

Com base trabalhos citados, verifica-se que para essas regiões (Sul e Sudeste), responsáveis pela expressividade do agronegócio brasileiro e conseqüentemente por alavancar o PIB do país, os efeitos devastadores das alterações climáticas estão associados sobretudo ao déficit no balanço hídrico. A importância econômica da regularidade das precipitações nessas regiões pode ser verificada por meio dos ensaios conduzidos por Armoa-Baez (2020), onde foi observado o comportamento da cultura de soja na região Sul do país submetida a diferentes cenários de níveis de déficit hídrico, constatando-se uma redução no rendimento de grãos com o aumento do déficit hídrico em comparação ao cenário sem déficit, de 42% a 11,5% respectivamente. Tal cenário representaria desmedidos prejuízos ao país, tendo em vista que conforme Bustamante *et al.* (2021), a distribuição do valor adicionado do agronegócio nacional é relativamente concentrada nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, particularmente em São Paulo.

Na Figura 9 é evidenciado o Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária das regiões Sul e Sudeste em relação ao VAB correspondente do PIB total do Brasil.

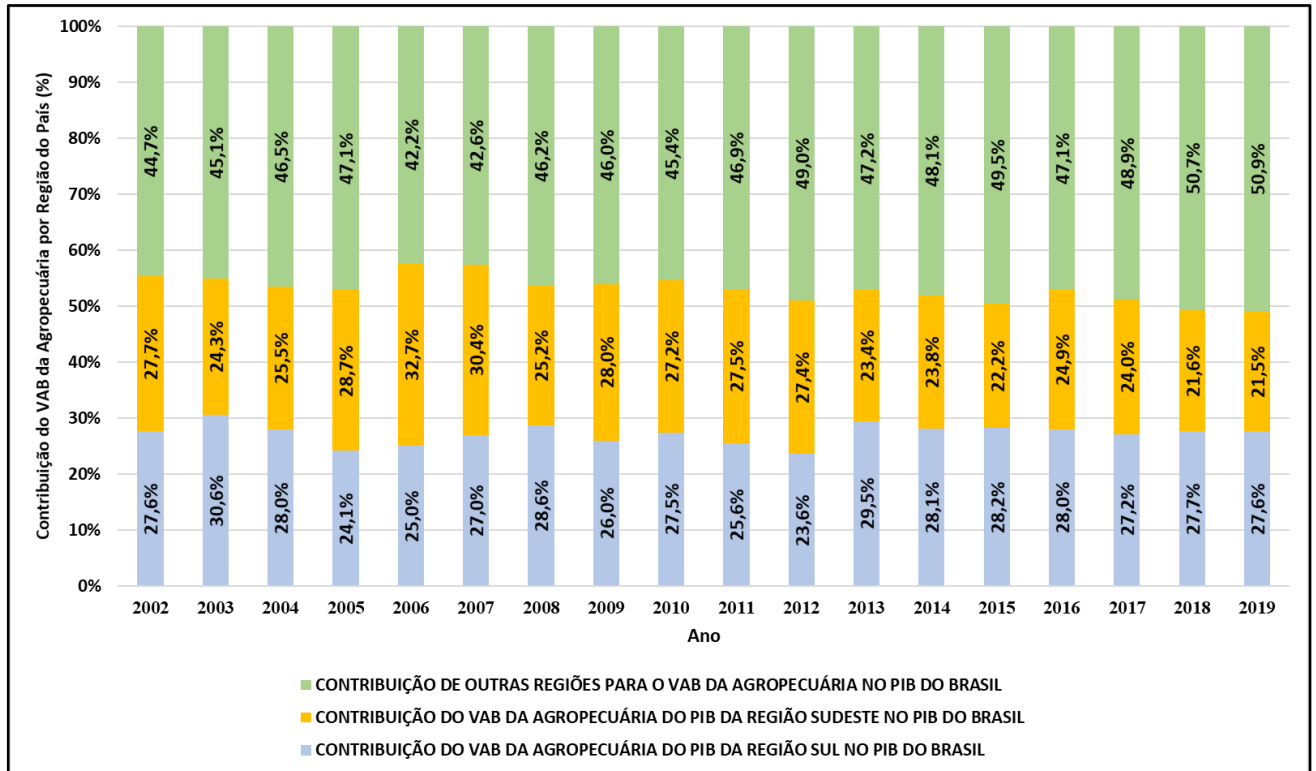


Figura 9 – Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária por região brasileira

Fonte: Elaboração do autor com base em dados do IBGE, 2021.

Observa-se na série histórica da Figura 9 que a participação das regiões Sul e Sudeste em relação ao VAB da Agropecuária no país é superior a 50%, sendo que na última década a região Sudeste vem aumentando sua contribuição em relação a região Sul.

A produção agrícola na região Sul é caracterizada pela expansão da soja voltada para a exportação e pela modernização agrícola. Nos estados de Santa Catarina, do Paraná e Rio Grande do Sul, a produção de soja é bastante expressiva. Além da cultura da soja, o cultivo da cana-de-açúcar, algodão e do milho são bastantes significativos (IBGE, 2020).

Conforme dados do IBGE (2021), a região Sudeste é a mais rica do país, ela reúne os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo. O Sudeste se destaca, no agropecuário, principalmente pela produção de cana de açúcar e de carne bovina. Cerca de 50% da cana brasileira é produzida ali.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O método de pesquisa empregado no estudo foi o indutivo, que consiste em um processo pelo qual partindo de dados ou observações particulares constatadas é possível chegar a proposições gerais (BRAUNER *et al.*, 2014). Quanto ao tipo de pesquisa, é classificada como quantitativa. Para a análise de dados, por sua vez, utilizou-se o método de Análise de

Redundância (RDA), que consiste em uma regressão linear múltipla multivariada (BORCARD *et al.*, 2011).

Cabe ressaltar, que a análise dos dados pelo método de Análise Redundância foi precedida da realização do cálculo do Coeficiente de Pearson para as variáveis selecionadas inicialmente. O teste de correlação de Pearson é usado para avaliar a associação entre duas variáveis. Em termos estatísticos, isso quer dizer que guardam semelhanças na distribuição de seus escores.

Esta seção aborda inicialmente os dados a serem utilizados e suas respectivas fontes. Em seguida, contextualiza-se os conceitos principais envolvidos na técnica de análise de redundância para uma melhor visualização dos procedimentos de análise de dados.

3.1 DADOS E FONTES DE DADOS

Os dados de Divergência do Fluxo de Umidade Integrado na Vertical (DIV), Convergência do Fluxo de Umidade Integrado na Vertical (COV), Evapotranspiração (EVAP) e Precipitação (PREC), foram obtidos a partir do projeto de pesquisa do Instituto PIATAM, denominado de “O Polo Industrial de Manaus e sua possível contribuição para o agronegócio brasileiro – Rios voadores: Estudo sobre dinâmicas econômicas Amazônicas e seus efeitos sobre a transferência de umidade”.

Cabe ressaltar que os dados climatológicos utilizados, gerados a partir de dois modelos computacionais, simulando observações diárias, foram convertidos posteriormente em anuais para realização das análises. O primeiro experimento foi denominado de cenário controle, onde foi simulada a dinâmica atmosférica sobre o Brasil, mais precisamente o transporte de umidade e a distribuição das chuvas sobre os estados das regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, no cenário de desmatamento na Amazônia para o começo deste século (ano 2000), conforme mapa de uso e cobertura da terra obtido do ProjEta/CPTEC/INPE. No segundo experimento, denominado de cenário desmatamento, foi simulada a dinâmica atmosférica sobre o mesmo recorte espacial, considerando a projeção elaborada por Soares-Filho *et al.* (2005) para o desmatamento na Amazônia no ano de 2050, conforme mapa de uso e cobertura da terra do obtido do ProjEta/CPTEC/INPE com a referida projeção de desmatamento.

Para os dados citados acima, a série histórica analisada limitou-se aos anos compreendidos entre 1999 e 2011, tendo em vista que modelos experimentados computacionalmente para produção de dados climáticos são extremamente custosos e necessitam de alta tecnologia, inviabilizando análises de intervalos extensos.

Quanto aos dados de Produção de Soja (PDSJ), Produção de Milho (PDMIL) e Valor

Agregado Bruto da Agropecuária (VAB) das regiões Sul e Sudeste do Brasil, esses foram coletados no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que dispõe de um banco de dados referente a todos os municípios brasileiros, com observações anuais, desde o ano 1996.

No que concerne aos dados de Desflorestamento (DES) do bioma amazônico, utilizou-se como fonte de dados o Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (INPE), que desde 1988 monitora o desmatamento na Amazônia Legal através do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES).

Para facilitar a compreensão do comportamento das variáveis elencadas para análise, as seções seguintes discorrem sobre as ferramentas utilizadas na análise dos dados.

3.2 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

A mensuração de coeficientes de correlação lineares nos ajudam a entender qual o tipo de relação ou não relação uma variável possui com a outra. Um dos testes de correlação mais difundido nas literaturas é o de Pearson (1901), que avalia a força e direção linear entre duas variáveis quantitativas contínuas.

Seu resultado varia entre -1 e 1, onde quando assume o valor 1, as duas variáveis analisadas possuem uma correlação positiva perfeita, ou seja, o aumento nos valores em uma das variáveis, vai acarretar o aumento nos valores da outra, quando o coeficiente de correlação assume o valor de -1, temos uma correlação negativa perfeita, em outras palavras, quando os valores de uma das variáveis aumenta, a outra tende a diminuir. Quando o coeficiente assume o valor de 0 temos a inexistência de uma relação entre as variáveis. No entanto, valores a partir de 0,5 e -0,5 já podem ser considerados como uma correlação moderada. A correlação de Pearson é determinada pela seguinte função:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

ρ é o coeficiente de correlação de Pearson, x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são as observações de ambas as variáveis, \bar{x} é a média amostral referente a variável x e \bar{y} é a média amostral referente a variável y .

3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (PCA - do inglês *Principal Component Analysis*) é uma técnica de estatística multivariada que busca a redução de variáveis, realizando combinações lineares. Ela foi criada por Pearson (1901) e tem por finalidade transformar um conjunto de variáveis observadas em um novo conjunto de variáveis que são chamados de componentes principais. Onde cada componente principal é estimado com a finalidade de assegurar o máximo de informação possível se tratando da variação dos dados originais.

Segundo Neto e Moita (1998), a PCA também pode ser usada para julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, ou seja, as variáveis originais com maior peso (*loadings*) na combinação linear dos primeiros componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico.

Considerando X_1, \dots, X_z em R^n um conjunto de variáveis aleatórias, é possível obter até z componentes (combinações lineares) dessas variáveis. Usualmente, para explicar toda a variabilidade desse conjunto é necessário utilizar quase todas ou todas as componentes obtidas, porém normalmente é possível explicar grande parte da variabilidade dos dados por meio da utilização de poucas componentes, arbitrariamente k componentes. Sendo possível assim substituir as variáveis originais pelas componentes obtidas, reduzindo o conjunto para k ($k < z$) componentes principais em substituição das variáveis originais (CRUZ, 2018).

A Análise de Componentes Principais é um procedimento importante da observação de dados por meio do método de Análise de Redundância que combina essa técnica juntamente com a de regressão, sendo descrita com mais detalhes no próximo tópico.

3.4 TESTE DE PERMUTAÇÃO PARA ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA

De acordo com Legendre (2011), dados ecológicos, em sua maioria, não seguem uma distribuição normal padrão, fazendo com que testes de significância paramétricos não sejam apropriados para realização de análises. Bocard *et al.* (2011), afirmaram que nestes casos testes de permutação se mostram mais adequados, sendo utilizados atualmente na maioria dos métodos de análise de dados ecológicos como no RDA.

A realização dos teste de permutação tem como princípio gerar uma distribuição de referência da estatística escolhida sob a hipótese nula H_0 , permutando de maneira aleatória os elementos um grande número de vezes e recalculando a estatística a cada vez. Os casos em que a hipótese nula é verdadeira, ocorre sua rejeição e, indicam que os resultados não podem ser produzidos aleatoriamente. A partir disso, compara-se o verdadeiro valor da estatística com essa distribuição de referência. O p-valor é calculado como a proporção dos valores

permutados iguais ou maiores que o valor verdadeiro (não permutado) da estatística para um teste unicaudal na cauda superior (BOCARD *et al.*, 2011). Nesse sentido, a estatística p calculada indica a probabilidade dos resultados produzidos pela RDA não serem gerados de maneira aleatória, permanecendo no intervalo de aceitação de hipótese nula, situação na qual os efeitos são considerados apenas ruídos ou erros aleatórios (considerados estatisticamente não significativo). O teste pode ser obtido através da função *anova()* no *software R*.

3.5 ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA

O método de análise de redundância foi proposto pela primeira vez por Rao (1964), tendo sido redescoberto posteriormente por Wollenberg (1977). O método de Análise de Redundância (RDA) combina regressão e análise de componentes principais (PCA). É uma extensão direta da análise de regressão para modelar dados de resposta multivariada (LEGENDRE, 1998).

A RDA consiste em uma regressão linear múltipla multivariada seguida por uma PCA da tabela de valores ajustados cuja análise é assimétrica: Y é a tabela de variáveis de resposta e X é a tabela de variáveis explicativas. Olhando para o assunto de uma perspectiva descritiva, pode-se dizer que a ordenação de Y é restringida de tal forma que os vetores de ordenação resultantes são combinações lineares das variáveis em X (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998; BOCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011).

Cada vetor de ordenação se trata de uma projeção unidimensional da distribuição dos objetos em um espaço que preserva as distâncias euclidianas entre eles. Esses vetores de ordenação diferem, é claro, dos componentes principais que poderiam ser calculados na tabela de dados Y , porque também são limitados a serem combinações lineares das variáveis em X . O emprego desse método é apropriado quando a tabela de dados de resposta Y pode ser analisada, isoladamente, por análise de componentes principais (PCA); em outras palavras, quando as variáveis y estão linearmente relacionadas entre si e a distância euclidiana é considerada adequada para descrever as relações entre objetos no espaço fatorial (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998).

Nesse estudo, em particular, a aplicação do método de análise de redundância permitiu verificar as relações entre os dados ambientais da região Norte (variáveis explicativas) e os dados ambientais e econômicos das Regiões Sul e Sudeste (variáveis resposta), por meio de distância euclidianas.

Legendre e Legendre (1998) preconizam as seguintes orientações para construção das tabelas do método:

- a) A tabela de variáveis de resposta Y é de tamanho $(n \times p)$, onde n é o número de objetos e p é o número de variáveis. As variáveis respostas devem ser centralizadas em suas médias ou padronizadas por coluna se as variáveis não se apresentarem homogêneas em termos dimensionais. A centralização nesta etapa inicial simplifica várias das equações.
- b) A Tabela X das variáveis explicativas é de tamanho $(n \times m)$ com $m \leq n$, onde n é o número de objetos e m é o número de variáveis. As variáveis são centradas em suas respectivas médias por conveniência; centralizar as variáveis em X e Y tem o efeito de eliminar os interceptos da regressão e assim simplificar a interpretação sem perda de informação pertinente. As variáveis X também podem ser padronizadas. A quantidade de variação explicada, bem como os valores ajustados da regressão, permanece inalterados pela centralização ou padronização das variáveis em X .

Na Análise de Redundância podem ser desenhados diagramas biplot contendo dois conjuntos de pontos com as variáveis resposta de Y e variáveis explicativas de X para evidenciar os resultados. A construção de biplots ajuda a interpretar a ordenação de objetos em termos de Y e X . As principais características de um biplot de distância são as seguintes: (1) Distâncias entre objetos em um biplot são aproximações de suas distâncias euclidianas. (2) Projetar um objeto em ângulo reto em uma variável de resposta y aproxima o valor do objeto ao longo dessa variável. (3) Os ângulos entre as variáveis y não têm sentido. (4) Os ângulos entre as variáveis x e y no biplot refletem suas correlações (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998).

As análises foram desenvolvidas no *software R* (*R Core Team, 2022*), utilizando-se os pacotes *GRAPHICS* e *VEGAN*.

4 RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DESCRITIVA

Foram utilizados índices pluviométricos e o desflorestamento anuais para sete estados localizados na Região Norte do país, considerando cenários de controle e de desmatamento, bem como para sete estados nas regiões Sul e Sudeste com as variáveis de agronegócio. Com base nessas variáveis, inicialmente, realizou-se a análise descritiva das variáveis ambientais da região Norte (Tabela 1) e da região Sul e Sudeste (Tabela 2).

Cenário	Desflorestamento (km ²)		Conv. do fluxo de umidade (mm/ano)		Div. No fluxo de umidade (mm/ano)		Evapotranspiração (mm/ano)		Precipitação (mm/ano)	
	Controle	Desmatamento	Controle	Desmatamento	Controle	Desmatamento	Controle	Desmatamento	Controle	Desmatamento
Mínimo	31,82	31,82	381,1	345,9	0	0	1018	923,3	1078	1067
Mediana	517,36	517,36	1008,6	1155,5	133,73	5,18	1519	1253,5	1998	1866
Média	1477,57	1477,57	1184,6	1383	363,14	283,68	1427	1260,6	1937	1918
Desvio Padrão	2207,55	2207,55	948,01	1072,52	601,65	676,56	220,68	243,94	496,53	465,70
Máximo	6137,82	6137,82	3043,7	3520,1	1697,73	1813,45	1656	1622,2	2520	2523

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis ambientais do Norte.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

A Tabela 1 apresenta apenas as variáveis do Norte em seus cenários de controle e desmatamento. Quando se observa o desflorestamento, entre os cenários não houve alteração nos seus valores, com o valor mínimo da taxa de desmatamento sendo de 31,82 e máximo de 6137,82. No que tange a convergência do fluxo de umidade, verifica-se que houve uma elevação de seu valor médio entre os cenários, saindo 1184,6 no controle para 1383 no cenário de desmatamento. A divergência no fluxo de umidade apresentou uma queda entre os cenários, com a sua mediana possuindo a queda mais acentuada, de 133,73 no cenário controle e 5,18 no cenário de desmatamento. Por fim, a evapotranspiração e a precipitação foram duas variáveis que também apresentaram uma diminuição em seus valores entre os cenários, com a média da evapotranspiração reduzindo de 220,68 para 243,94 no cenário de desmatamento e, seu valor máximo de 1656 para 1622,2, enquanto os valores mínimos e a média da precipitação reduziu de 1078 para 1067 e, de 1937 para 1918, respectivamente.

Na Tabela 2 são evidenciadas algumas observações das variáveis referentes aos estados do Sul e Sudeste para o período estudado (1999-2011). Onde se tem a precipitação variando entre 994,1 e 1704,4 com um valor médio de 1311,8. A produção de soja apresentando uma média de 2981,2 e desvio padrão de 3755,4. A produção de milho apresentando um valor médio muito próximo da mediana, sendo de 4540 e 4329, respectivamente. Por fim, o valor agregado bruto da agropecuária no Sul e Sudeste variando entre R\$998.965,00 e R\$1.450.705,00, sendo a média de R\$8.110.763,00.

	Precipitação (mm/ano)	Prod. Soja (Em mil ton.)	Prod. Milho (Em mil ton.)	Valor Agregado Bruto da Agropecuária (Em Reais)
Mínimo	994,1	0	26	R\$ 998.965,00
Mediana	1263,1	1512,2	4329	R\$ 9.792.303,00
Média	1311,8	2981,2	4540	R\$ 8.110.763,00
Desvio Padrão	247,07	3755,4	3934,2	R\$ 4.959.953,00
Máximo	1704,4	9694,6	11090	R\$ 1.450.705,00

Tabela 2 – Estatística descritiva das variáveis ambientais do Sul e Sudeste.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

4.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON

Inicialmente, verificou-se as correlações entre as variáveis do Norte e as do Sul e Sudeste. Para isso, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson para os índices pluviométricos e o desflorestamento da região Norte, assim como para as variáveis de agronegócio da região Sul e Sudeste cujos resultados constam na Figura 10 e Tabela 3.

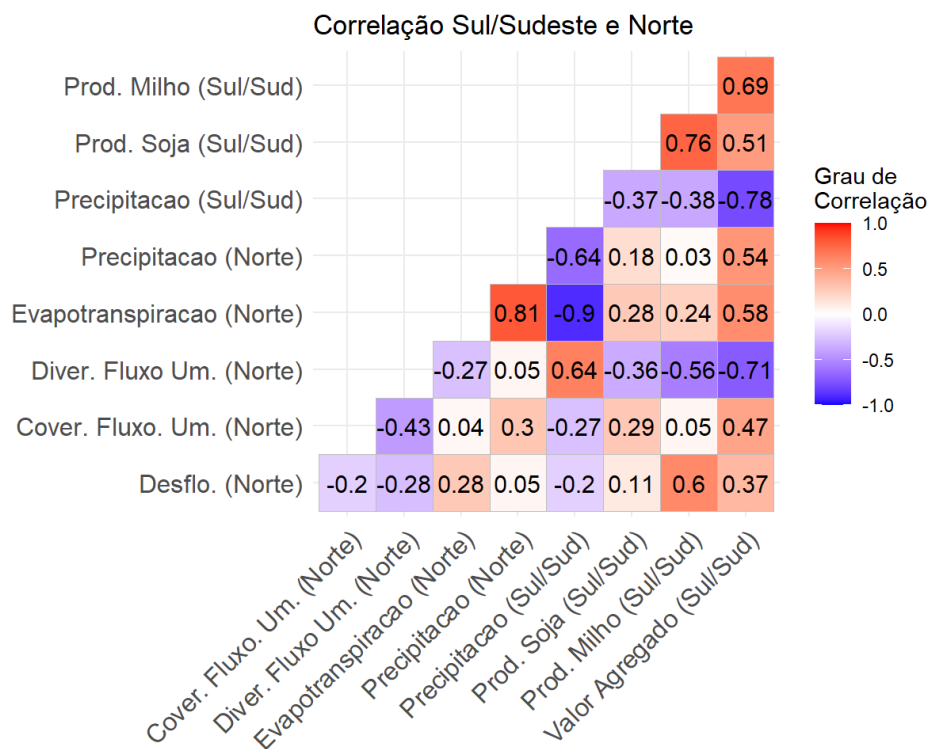


Figura 10 – Correlações entre as variáveis do Norte com as do Sul e Sudeste.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

	Desflo. (Norte)	Cover. Fluxo Um. (Norte)	Diver. Fluxo Um. (Norte)	Evapotranspiracao (Norte)	Precipitacao (Norte)	Precipitacao (Sul/Sud)	Prod. Soja (Sul/Sud)	Prod. Milho (Sul/Sud)	Valor Agregado (Sul/Sud)
Desflo. (Norte)	1,00	-0,20	-0,28	0,28	0,05	-0,20	0,11	0,60	0,37
Cover. Fluxo Um. (Norte)	-0,20	1,00	-0,43	0,04	0,30	-0,27	0,29	0,05	0,47
Diver. Fluxo Um. (Norte)	-0,28	-0,43	1,00	-0,27	0,05	0,64	-0,36	-0,56	-0,71
Evapotranspiracao (Norte)	0,28	0,04	-0,27	1,00	0,81	-0,90	0,28	0,24	0,58
Precipitacao (Norte)	0,05	0,30	0,05	0,81	1,00	-0,64	0,18	0,03	0,54
Precipitacao (Sul/Sud)	-0,20	-0,27	0,64	-0,90	-0,64	1,00	-0,37	-0,38	-0,78
Prod. Soja (Sul/Sud)	0,11	0,29	-0,36	0,28	0,18	-0,37	1,00	0,76	0,51
Prod. Milho (Sul/Sud)	0,60	0,05	-0,56	0,24	0,03	-0,38	0,76	1,00	0,69
Valor Agregado (Sul/Sud)	0,37	0,47	-0,71	0,58	0,54	-0,78	0,51	0,69	1,00

Tabela 3 – Correlações entre as variáveis do Norte com as do Sul e Sudeste.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

Para melhor compreensão, dividiu-se a análise em três cenários, sendo eles: a) análise das variáveis ambientais do Norte com as variáveis ambientais do Sul e Sudeste; b) análise das variáveis ambientais do Norte com as variáveis econômicas do Sul e Sudeste; e c) análise das variáveis econômicas com as ambientais do Sul e Sudeste.

No 1º cenário observa-se que o Desflorestamento no Norte possui uma correlação moderada (0,60) com a produção de milho no Sul e Sudeste, assim como, a divergência do fluxo de umidade no Norte (0,64) com a precipitação no Sul e Sudeste. Ambas as correlações são positivas, onde, quando se observa o aumento de uma variável correlata a outra tende a aumentar. Por exemplo, quanto maior for o a divergência no fluxo de umidade no Norte, maior tende a ser a precipitação no Sul e Sudeste.

No que corresponde ao 2º cenário, verifica-se que o valor agregado bruto da agropecuária no Sul e Sudeste apresenta correlações negativas ligeiramente forte com a divergência do fluxo de umidade no norte (-0,71), o que indica que quando o valor de uma das variáveis aumentar a outra tende a diminuir. Ainda, tem-se que o valor agregado bruto da agropecuária no Sul e Sudeste apresenta correlações com a evapotranspiração (0,58).

Ao analisar o 3º cenário, com variáveis econômicas e ambientais referentes as regiões Sul e Sudeste, é possível observar uma forte correlação negativa entre o valor agregado da agropecuária com a precipitação (-0,78), indicando que quando o valor de uma das variáveis aumenta o da outra passa a diminuir. Além disso, verifica-se uma correlação fraca da precipitação com a produção de Soja (-0,37) e com a produção de Milho (-0,38).

4.3 ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA

Os modelos obtidos pela RDA, tanto no cenário controle quanto no desmatamento, foram criados com a combinação de variáveis que apresentassem o menor *p-valor*, assim como testados através da ANOVA e utilizando-se de 500 permutações, com um nível de significância de 10%. Os p-valores obtidos foram de 0,18 (expostos na Tabela 4 e 5) para ambos os cenários, no entanto, apesar dos p valores obtidos serem maior que o nível de significância pré-estabelecido, estes modelos conseguem captar 68,10% da variação explicada no cenário de controle (Tabela 4) e, 69,64% da variação para o cenário de desmatamento (Tabela 5).

Variáveis do Norte	RDA 1	RDA 2	RDA 3
Desflorestamento	0,6759	-0,0636	-0,7734
Convergência no fluxo de umidade	0,3468	0,0306	0,9374
Divergência no fluxo de umidade	-0,9118	-0,2994	-0,2860
Autovalores dos Eixos 1 (RDA 1), 2 (RDA 2) e 3 (RDA 3)			
	RDA 1	RDA 2	RDA 3
Autovalores	64,13%	3,56%	0,41%
Proporção Acumulada	64,13%	67,69%	68,10%
p-valor	0,1881		

Tabela 4 – Tabela síntese dos resultados do modelo RDA cenário controle.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

A partir da Tabela 4, pode-se observar que as variáveis de Desflorestamento e Divergência no fluxo de Umidade mostraram-se mais relacionadas com o Eixo 1 (RDA 1), enquanto no caso do Eixo 2 (RDA 2), a maior relação é encontrada na Divergência do fluxo de umidade e por fim, o Eixo 3 (RDA 3) se mostra fortemente relacionado a Convergência no Fluxo de Umidade. Cada eixo RDA possui um autovalor, este autovalor nada mais é que a proporção da variância explicada por cada eixo. A tabela mostra que os dois primeiros eixos explicam a maior parte da variação (RDA1 com 0,6413 e RDA2 com 0,6769 de modo cumulativo), portanto, representar graficamente o modelo utilizando estes dois eixos representa bem os dados.

Com base na plotagem do modelo considerado (Figura 11) verifica-se que no cenário controle, o desflorestamento (DES), assim como a convergência do fluxo de umidade, influencia nas variáveis de produção de soja (Prod. Soja), milho (Prod. Milho) e o valor agregado bruto da agropecuária, assim como a Divergência no Fluxo de Umidade (DIV) parece influenciar na precipitação do Sul/Sudeste, mais precisamente no estado do Rio de Janeiro. Enquanto as variáveis convergência e desflorestamento parecem contribuir para o eixo 1 e a divergência parece contribuir para o eixo 2.

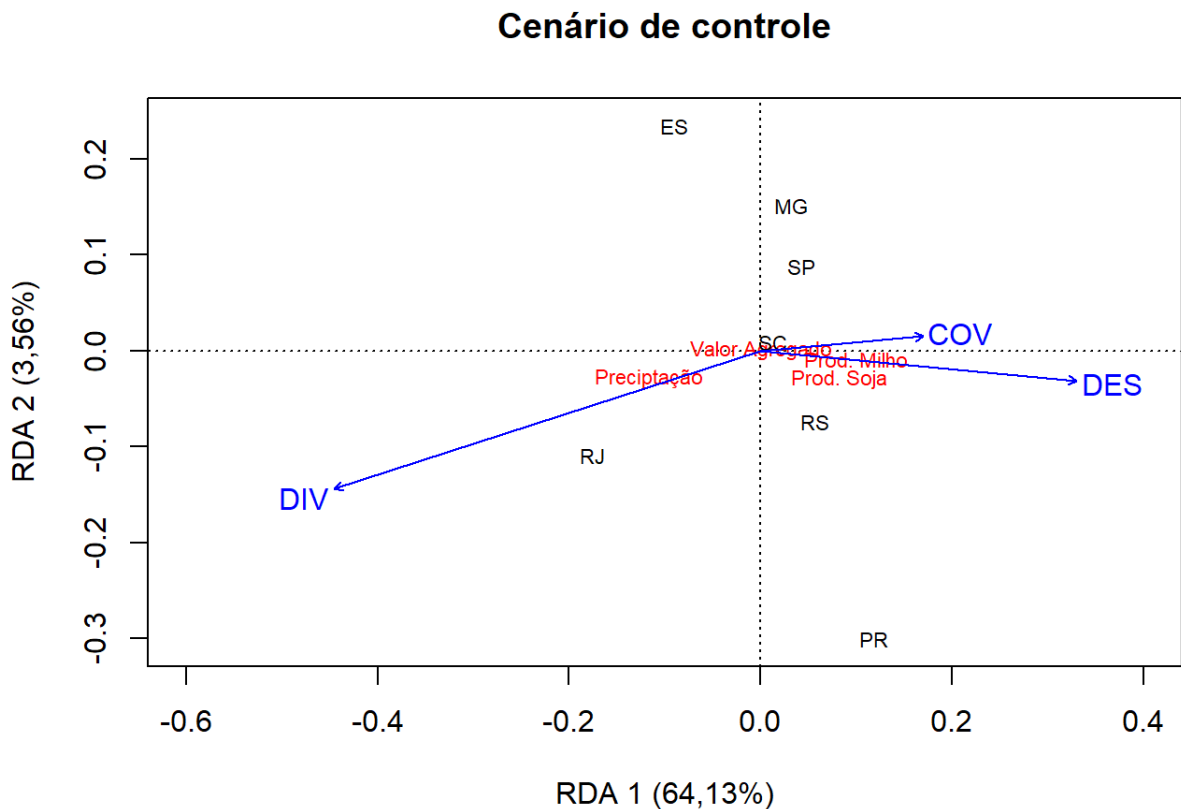


Figura 11 – Análise de redundância para o cenário controle.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

No que diz respeito ao modelo de RDA para o cenário desmatamento, elaborou-se a Tabela 5, onde é possível observar que a variável Desflorestamento tem influência positiva no Eixo 1 (RDA 1) e a Divergência no Fluxo de Umidade, no entanto, apresenta uma acentuada relação negativa com o Eixo 1. Com o Eixo 2, pode-se destacar as relações negativas do Desflorestamento e da Divergência no Fluxo de Umidade. Em relação ao eixo 3, a variável Convergência do Fluxo de Umidade é aquela que apresenta a maior correlação positiva. No que tange aos autovalores e proporção da variância explicativa acumulada, observa-se que os

Eixos 1 e 2 são capazes de explicar parte significativa da variação dos dados, cerca de 69,20% da variância explicativa, permitindo utilizá-los para a representação gráfica do modelo.

Variáveis do Norte	RDA 1	RDA 2	RDA 3
Desflorestamento	0,6594	-0,2246	-0,7175
Convergência no fluxo de umidade	0,4412	0,1573	0,8835
Divergência no fluxo de umidade	-0,9641	-0,2329	-0,1274
Autovalores dos Eixos 1 (RDA 1), 2 (RDA 2) e 3 (RDA 3)			
	RDA 1	RDA 2	RDA 3
Autovalores	64,36%	4,84%	0,44%
Proporção Acumulada	64,36%	69,20%	69,64%
p-valor		0,1881	

Tabela 5 – Tabela síntese dos resultados do modelo RDA cenário desmatamento.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

Com base na representação gráfica do modelo com o cenário de desmatamento (Figura 12), verifica-se que o desflorestamento (DES) e a Convergência do Fluxo de Umidade (COV) referente ao Norte exercendo influência no Valor Agregado Bruto da Agropecuária, na Produção de Soja (Prod. Soja) e Produção de Milho (Prod. Milho) das regiões Sul e Sudeste. No entanto, mais estados passam a sofrer esta influência, de forma mais objetiva estes estados são: Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. No que diz respeito a Divergência do Fluxo de Umidade (DIV), assim como no cenário controle, parece ter influência sobre a precipitação do sul/sudeste.

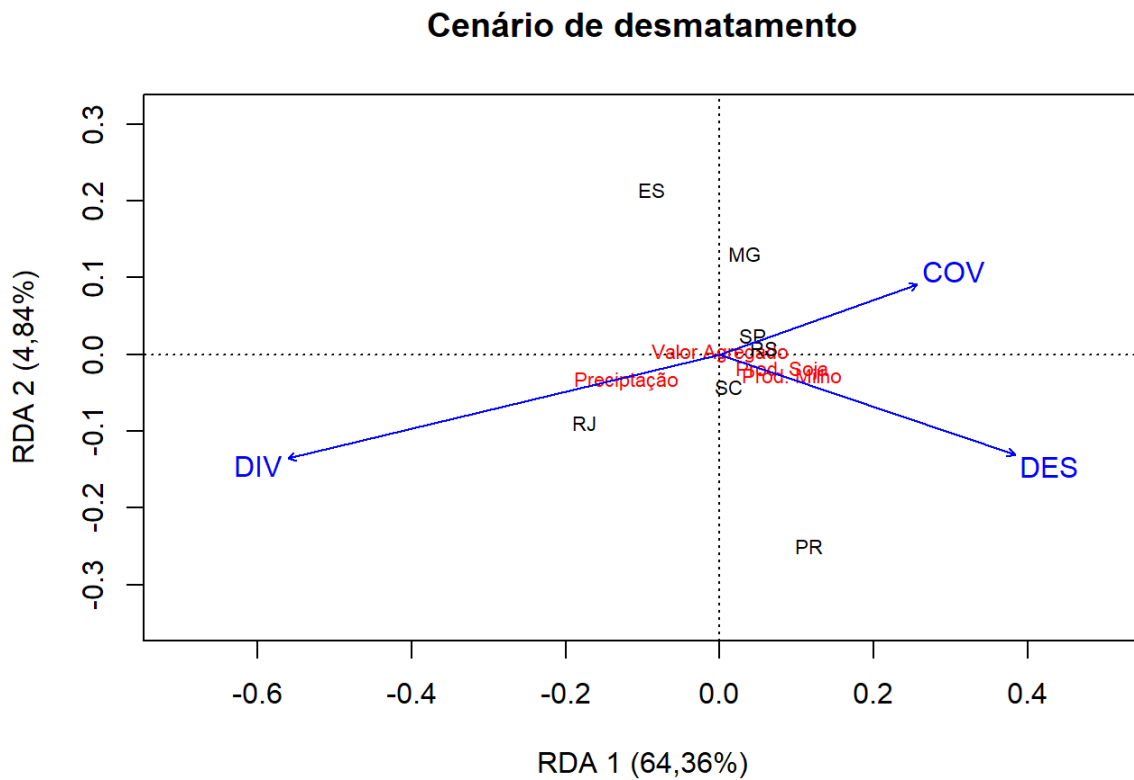


Figura 12 – Análise de redundância para o cenário desmatamento.

Fonte: Elaboração do autor, 2022.

4.4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por meio dos modelos elaborados a partir da base de dados disponibilizada pelo Instituto PIATAM para o cenário Controle e Desmatamento, INPE e IBGE, apontaram que há uma relação direta entre o comportamento do desflorestamento e do fluxo de umidade dos estados da região Norte com indicadores econômicos do agronegócio dos estados do Sul e Sudeste. O estudo constatou ainda que o fluxo de umidade oriundo dos estados do Norte tem forte correlação com a precipitação nos estados do Sul e Sudeste, conforme exposto na Figura 10 e Tabela 1, que elencam as correlações entre as variáveis analisadas do Norte com as do Sul e Sudeste.

Os coeficientes para as correlações entre as variáveis do Norte com as do Sul e Sudeste, apresentados na Figura 10, demonstram uma correlação positiva entre o desflorestamento e a produção de soja e produção de milho, assim como, com o valor agregado bruto da agropecuária. Embora a correlação entre o desflorestamento e a produção de milho se mostre mais forte em relação aos outros dois indicadores econômicos da região Sul e Sudeste, o valor

agregado bruto da agropecuária tem uma correlação moderada com a precipitação, evapotranspiração e convergência do fluxo de umidade da região Norte.

O aumento do desflorestamento na região Norte, além de influenciar diretamente em indicadores econômicos das regiões Sul e Sudeste também implica na diminuição da precipitação dessas regiões, corroborando com os estudos elaborados por Chu *et al.*, (1994), Gash e Nobre., (1997), Ferreira *et al.*, (1998), Andreae *et al.*, (2004), Artaxo *et al.*, (2005), Fearnside, (2006), Pauliquevis *et al.*, (2007), Tavares, (2008), Longo *et al.*, (2009), Rocha *et al.*, (2012), Artaxo *et al.*, (2013) e Rocha *et al.*, (2015), que indicam que o desflorestamento na Amazônia leva a uma redução nos níveis precipitação e transporte de umidade para outras regiões do Brasil e do continente Sul-Americano.

É evidenciado ainda a forte correlação da precipitação no Sul e Sudeste com a divergência do fluxo de umidade que constituem os rios atmosféricos amazônicos. Essa constatação reforça o papel da floresta amazônica na exportação de água via rios atmosféricos para outras regiões do Brasil apontado por Moss e Moss (2006), Correia *et al.* (2007), Nobre (2014), Fearnside (2015) e Barroso e Mello (2020).

A evapotranspiração da região Norte apresenta forte correlação negativa com a precipitação do Sul e Sudeste, mas por outro lado uma forte correlação positiva com a precipitação da região Norte. Isso demonstra que os as mudanças na evapotranspiração nestas regiões são devidas a maior e menor disponibilidade hídrica em superfície, devido as mudanças quantitativas na distribuição espacial das chuvas. Além disso, quando a variável evapotranspiração da região Norte tende a aumentar, a produção dos insumos milho e soja possuem a tendência a aumentar também, indicando que a produção de tais insumos agrícolas sofre impactos decorrentes da dinâmicas hídricas do Norte.

Nesse sentido, a análise da correlação de Pearson observada na Figura 10 e Tabela 3 expressa correlações estatísticas positivas e/ou negativas que variam de fracas a fortes. No que diz respeito a análise evidenciada nas Figura 11 e Figura 12, onde utilizou-se o método de análise de redundância para avaliar as variáveis para cenários de desmatamento e controle, obteve-se, em ambos os cenários, que a Convergência do fluxo de umidade e o Desflorestamento parecem estar influenciando a Produção de Milho, Produção de Soja e no Valor Agregado Bruto da Agropecuária nos estados do Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo. Assim como, a Divergência do Fluxo de Umidade parece estar mais relacionada à Precipitação no Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Cabe ressaltar, que embora o nível de significância tenha extrapolado os níveis pré-estabelecidos, a variação explicada em ambos os modelos é expressiva, equivalente a 68,10% para o cenário controle, e 69,94% para o cenário de desmatamento. Nesse sentido, o presente estudo demonstrou que o comportamento do desflorestamento associado as dinâmicas hidroclimáticas da região Norte tem influência significativa na dinâmica hídrica e econômica, em particular, do agronegócio das regiões Sul e Sudeste do Brasil, com aspectos ainda não conclusivos e que dependem de uma maior disponibilidade de dados para análise.

Os achados podem suscitar diversas indagações a respeito da importância da preservação e conservação da Floresta Amazônica frente a economia do país, visto que essa presta serviços ecossistêmicos importantes para o desenvolvimento de atividades econômicas fundamentais na construção do PIB brasileiro que mesmo em um cenário de controle do desflorestamento se mostraram afetados. Contudo, no caso deste estudo, o foco não é condicionar o melhor cenário para desenvolvimento do agronegócio em duas das regiões principais da economia brasileira com dinâmicas ambientais da região Norte, mas sim de quão se faz necessário a proteção da Floresta Amazônica para prevenir interferências em suas dinâmicas hidroclimáticas que, conforme observado a partir dos resultados obtidos, sofre influência direta do desflorestamento e, do mesmo modo, impacta em uma das principais atividades econômicas do país, o agronegócio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o exposto, conclui-se que os resultados obtidos a partir das análises estatísticas foram satisfatórios. O cruzamento de dados ambientais e econômicas das regiões Sul e Sudestes com dados ambientais da região Norte possibilitou identificar variações (aumento/redução) da dinâmica hidroclimática associada com a projeção de desflorestamento para a Floresta Amazônica, assim como, a sua influência no agronegócio das regiões Sul e Sudeste.

Entre algumas variáveis a relação foi direta e, conforme o esperado. No entanto, em outras relações o entendimento das correlações se mostrou complexo, e necessita de mais estudo e dados para uma explicação adequada. Contudo, para fins acadêmicos, a contribuição deste estudo se torna essencial para a pesquisa e o desenvolvimento de novas formas de proteção para a floresta amazônica, visto que sua preservação pode proporcionar a chave para o êxito do setor do agronegócio brasileiro, tendo em vista a forte ligação entre os seus serviços ecossistêmicos, prestados quando está se encontra preservada, e as receitas oriundas das safras de grãos de soja e milho das regiões Sul e Sudeste do país.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, L. E. **The dynamics of deforestation and economic growth in the Brazilian Amazon.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 259. 2002.

ANDREAE, M.O.; ARTAXO, P.; ROSENFELD, D.; LONGO, K.M. **Smoking rain clouds over the amazon.** Science, v. 303, p. 1337-1342, 2004.

ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.** Infográfico ABSOLAR, 27, 2021.

ARRAUT, J. M.; NOBRE, C.; BARBOSA, H. M. J.; OBREGOM, G.; MARENGO, J. **Aerial rivers and lakes: looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America.** Journal of Climate, 25, 543-556, 2012.

ARRAUT, J. M.; SATYAMURTY, P. **Precipitation and water vapor transport in the southern hemisphere with emphasis on the South American region.** Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48, 1902-1912, 2009.

ARMOA BAEZ, M. S. **Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil.** Investig. Agrar, 3-12. 2020.

ARTAXO, P. **Working together for Amazonia.** Editorial Science Magazine, v.363, Issue 6425, 2019.

ARTAXO, P.; GATTI, L.V.; CORDOVA, A.M.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; PROCOPIO, A.S.; RIZZO, L.V. **Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica.** Acta amazônica, v. 35, n. 2, p. 185- 196, 2005.

ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; BRITO, J.; BARBOSA, H.; ARANA, A.; SENA, E.; CIRINO, G.; BASTOS, W.; MARTIN, S.T.; ANDREAE, M.O. **Atmospheric aerosol in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions.** Faraday discussions, p. 203-235, 2013.

BARROSO, L. R., & MELLO, P. P. C. **Como salvar a Amazônia: Por que a floresta de pé vale mais do que derrubada.** Revista de Direito da Cidade, 12(2), 1262-1307. 2020.

BEZERRA, I. B., ALVES, C. A. B., DE ARRUDA, L. V., ANDRADE, A. M. F., SOARES, A. R., DA SILVA, D. R., & DA SILVA, M. A. P. **Percepção e vulnerabilidades e mudanças climáticas pelos pequenos agricultores da comunidade Tananduba, Guarabira (Pb) Nordeste Do Brasil.** Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 5: Congestas. 2017.

BOCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R.** 2º Ed., Springer International, 2011.

BOERS, N.; THEINWALT, A.; BOOKHAGEN, B.; BARBOSA, H. M. J.; MARWAN, N.; MARENGO, J.; KURTHS, J. **The south American rainfall dipole: a complex network analysis of extreme events.** Geophysical Research Letters, 41, 7397-7405, 2014.

BRAUNER, C. F.; CIGALES, M. R.; SOARES JÚNIOR, R. C. **Algumas considerações sobre a teoria interpretativista e o método indutivo na pesquisa social.** Querubim, 22, 36 – 42. 2014.

BUSTAMANTE, P. M. A. C., LEITE, M. E., & DE FÁTIMA BARBOSA, F. **A Importância Da Agricultura Familiar No Âmbito Do Agronegócio Brasileiro.** Confluências| Revista Interdisciplinar de Sociologia e Direito, 23(3), 113-139. 2021.

CALLÉDE, J.; COCHONNEAU, G.; VIEIRA ALVES, F.; GUYOT, J. L.; SANTOS GUIMARAES, V.; DE OLIVEIRA, E. **Les apports en eau de l'Amazone à Océan Atlantique.** Revue des sciences del'eau, 23: 247-273, 2010.

CAMPOS, M. T.; HIGUCHI, F. G. **A floresta amazônica e seu papel nas mudanças climáticas.** Série técnica meio ambiente e desenvolvimento sustentável – Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Amazonas, 2009.

CARLOS, S. D. M., CUNHA, D. A. D., & PIRES, M. V. **Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro.** Revista de Economia e Sociologia Rural, 57, 455-471. 2019.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA); CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (CNA). **PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2020.** 2021. Disponível em:

< <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> >. Acesso em: 15 de jan. 2022.

CHU, P.S.; HASTENRATH, S. **Detecting climate change concurrent with deforestation in the amazon basin: which way has it gone?** Bulletin of the American meteorological society, v. 30, n. 4, p. 579-583, 1994.

CORREIA, F. W. S., MANZI, A. O., CÂNDIDO, L. A., SANTOS, R. M. N. D., & PAULIQUEVIS, T. **Balço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal.** Ciência e Cultura, 59(3), 39-43. 2007.

COSTA, M. H.; FLECK, L. C.; COHN, A. S.; ABRAHÃO, G. M.; BRANDO, P. M.; COE, M. T.; FU, R.; LAWRENCE, D.; PIRES, G. F.; POUSA, R.; SOARES-FILHO, B. S.; **Climate risks to Amazon agriculture suggest a rationale to conserve local ecosystems.** Frontiers in Ecology and the Environment, v. 17, n. 10, p. 584-590, 2019.

COSTA, M. H., YANAGI, S. N., SOUZA, P. J., RIBEIRO, A., & ROCHA, E. J. **Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion.** Geophysical Research Letters, 34(7). 2007.

CRUZ, A. C. **Análise de componentes principais na avaliação da motilidade gástrica por cintilografia.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

DE CASTRO, A. S., & ANDRADE, D. C. **O custo econômico do desmatamento da Floresta Amazônica brasileira (1988-2014).** Perspectiva Econômica, 12(1), 1-15. 2016.

DE SOUZA, P. R. P., & DE CARVALHO PEIXOTO, L. **A responsabilidade dos diretores em relação às externalidades ambientais.** Revista Argumentum-Argumentum Journal of Law, 19(3), 691-709. 2018.

FEARNSIDE, P.M. **A água de São Paulo e a floresta Amazônica.** Ciência Hoje, São Paulo, abril 2004, p. 63-65. 2004.

FEARNSIDE, P. M. **Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle.** Acta amazônica, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FEARNSIDE, P. M. **Rios Voadores e a água de São Paulo.** Amazônia Real, 2015.

FÉLIX, A. D. S., DO NASCIMENTO, J. W. B., DE MELO, D. F., FURTADO, D. A., & DOS SANTOS, A. M. **Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 13(1), 397-409. 2020.

FERREIRA DA COSTA, R.; FEITOSA, J.R.P.; FISCH, G.; SOUZA, S.S.; NOBRE, C.A. **Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia.** Acta amazônica, v. 28, n. 4, p. 395-408, 1998.

FERREIRA, R. C. V., & BRASIL, D. R. **Dano ambiental: externalidade negativa decorrente da relação entre meio ambiente e sociedade de risco.** Revista Húmus, 10(30). 2020.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. **Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos.** Revista de Economia e Sociologia Rural, 2016.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A. **Climatic effects of Amazonian deforestation: some reSults from abracos.** Bulletin of the American meteorological society, v. 78, n. 5, p. 823-829, 1997.

GASQUES, J. G.; BOTELHO, F.; BASTOS, E. T. **Preço de terras e sua valorização.** Brasília: Mapa/AGE, versão preliminar, 2015.

GOTARDO, R., PIAZZA, G. A., TORRES, E., SEVERO, D. L., & KAUFMAN, V. **Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina.** GeoSul, 33(67), 253-276. 2018.

HADDAD, E. A., PORSSE, A. A., & PEREDA, P. C. **Regional economic impacts of climate anomalies in Brazil.** Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 7(2), 19-33. 2013.

HOMMA, A. **Política agrícola ou política ambiental para resolver os problemas da Amazônia?** Revista de Política Agrícola, v. 19, n. 1, p. 99-105, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass e Sistemas Costeiros do Brasil.** 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Produção e área colhida, Brasil e unidades da Federação, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas Nacionais Trimestrais**. Indicadores IBGE, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Produção e área colhida, Brasil e unidades da Federação, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA: Produção Agrícola Municipal 2020**, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Séries Históricas – Produto Interno Bruto dos Municípios**: valor adicionado bruto a preços correntes da agropecuária, 2021.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Programa de Monitoramento da Amazônia e demais Biomas**. Desmatamento – Amazônia Legal, 2021. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 15 dez. 2021.

KAHN, J. R.; RIVAS, A. **A economia e a falha dos mercados**. Economia e valoração de serviços ambientais utilizando técnicas de preferências declaradas – EDUA, 2014.

KLUGER, E. **Análise de correspondência múltiplas: fundamentos, elaboração e interpretação**. BIB, n.86, 68-97. São Paulo, 2018.

PEARSON, K. **Principal components analysis**. The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal 6(2):566, 1901.

LAWRENCE, D.; VANDECAR, K. **Effects of tropical deforestation on climate and agriculture**. Nature Climate Change, 2014.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. 2º Ed., Elsevier, Amsterdam, 1998.

LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; ANDREAE, M.O.; YOKELSON, R.; ARTAXO, P. **Queima de biomassa na Amazônia: emissões, transporte de fumaça em longa distância e seus impactos regionais e remotos**. Amazonia and global change, Geophysical monograph series 186, p. 207-232, 2009.

MARENGO, J. A; SOUZA-JR., C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo, 2018.

MILARÉ, E. **Reação jurídica à danosidade ambiental: contribuição para o delineamento de um microsistema de responsabilidade.** 2016.

MOSS, G.; MOSS, M. **Projeto Rios Voadores.** Expedição Rios Voadores, 2006. Disponível em: em Português. Acesso em: 19 nov. 21.

NASCIMENTO, M. G. **O balanço de umidade na América do Sul: Consequências das modificações de uso e cobertura do solo sobre o Brasil.** Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013.

NETO, J. M. M., MOITA, G.C., 1998. **Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados.** Química Nova, v. 21, n. 4, pp. 467- 469.

NEWELL, R. E.; NEWELL, N. E.; ZHU, Y.; SCOTT, C. **Tropospheric rivers? A pilot study.** Geophysical Research Letters, 19, 2401-2404, 1992.

NIJSSEN, B., O'DONNELL, G.M., HAMLET, A.F. **Hydrologic Sensitivity of Global Rivers to Climate Change.** Climatic Change 50, 143–175. 2001.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica.** 1. ed. Amazônia: Articulação Regional Amazônica, v.1, 42p., 2014.

NOBRE, C. A; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. **Mudanças climáticas e Amazônia.** Ciência Cultura, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

O GLOBO. **Entenda por que a redução dos “rios voadores” da Amazônia aumenta desafio de evitar apagão.** Economia, 2021. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/entenda-por-que-reducao-dos-rios-voadores-da-amazonia-aumenta-desafio-de-evitar-apagao-25048893>. Acesso em: 22 dez. 2021.

PAULIQUEVIS, T. M.; ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.; PAIXÃO, M. A. **O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico.** Mudanças Climáticas, 48-50, 2007.

POPESCU, I.; BRANDIMARTE, L.; PERERA, M. S. U.; PEVIANI, M. **Assessing residual hydropower potential of the La Plata Basin accounting for future user demands.** Hydrology and Earth System Science, 16: 2813-2823, 2012.

REZENDE, É. N., & VARTULI, V. C. **Dano extrapatrimonial coletivo e difuso decorrente da deterioração ambiental.** Revista IBERC, 4(2), 112-130. 2021.

RIVAS, A., & MOTA, J. A. **Instrumentos econômicos para a proteção da Amazônia: a experiência do Polo Industrial de Manaus.** Editora CRV. 2009.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.; FIALHO, E.S. **A Amazônia frente às mudanças no uso da terra e do global e a importância das áreas protegidas na mitigação dos impactos: um estudo de modelagem numérica da atmosfera.** Acta geográfica, p. 31-48, 2012.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.; FONSECA, P. **Reciclagem de precipitação na Amazônia: um estudo de revisão.** Revista brasileira de meteorologia, v. 30, n. 1, p. 59-70, 2015.

RODRIGUES, J. S. **A lenda dos Rios Voadores.** Editora Chiado, 1º ed., 2021.

R-TEAM, C. R: **A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, 2022. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 12 de fev. 2023.

SAATH, K.C.O; FACHINELLO, A. L. **Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil.** Revista de Economia e Sociologia Rural, vol. 56, no. 2, 1, pp. 195–212, 2018.

SALATI, E. **Mudanças climáticas e o ciclo hidrológico na Amazônia.** pp. 153-172 In: V. Fleischesser (ed.), Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 436 p. 2001.

SALATI, E.; NOBRE, C. A. **Possible climatic impact of tropical deforestation.** Climatic change, 19, 177-196, 1991.

SANTOS, T. O. **Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão.** Revista Geográfica Acadêmica, 11(2), 157-181. 2017.

SEVERO, D. L., DOS SANTOS SILVA, H., & TACHINI, M. **Flutuações climáticas da precipitação no Vale do Itajaí (SC).** Revista de Estudos Ambientais, 20(2), 37-48. 2019.

SOARES FILHO, B. S. **Cenários de desmatamento para a Amazônia.** Estudos avançados, v. 19, n. 54, 2005.

SWANN, A. L., LONGO, M., KNOX, R. G., LEE, E., & MOORCROFT, P. R. **Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 12-24. 2015.

TAVARES, J.P.N. **Interação entre a vegetação e a atmosfera para formação de nuvens e chuva na Amazônia: uma revisão.** *Revista estudos avançados da Universidade de São Paulo*, p. 2-12, 2008.

SILVA, D.; LOPES, E. L.; BRAGA JUNIOR, S. S. **Pesquisa quantitativa: elementos, paradigmas e definições.** *Gestão e Secretariado*, v.5, n.1, 01-18. São Paulo, 2014.

STRASSBURG, B.; KELLY, A.; BALMFORD, A.; DAVIES, R.; GIBBS H.; LOVETT, A.; MILES, L.; ORME, D.; PRICE, J.; TURNER, K. **Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems.** *Conservation Letters*, 3(2):98-105. 2010.

VAN DER ENT, R. J.; SAVENIJE, H. H. G.; SCHAEFLI, B.; STEELE-DUNNE, S. C. **Origin and fate of atmospheric moisture over continents.** *Water Resource Research*, v.46, 1-12, 2010.

VENÂNCIO, D. S. **Variabilidade da precipitação pluvial no rendimento agrícola do milho na microrregião de Chapecó–1999 a 2011.** *Ciência e Natura*, 36 (II), 530-536. 2014.

VERA, C. S.; HIGGINS, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. **Toward a unified view of the American monsoon systems.** *Journal of Climate*, 19, 4977-5000, 2006b.

WATSON, J. E. M., EVANS, T., VENTER, O., WILLIAMS, B., TULLOCH, A., STEWART, C. **The exceptional value of intact forest ecosystems.** *Nat. Ecol. Evolut.* 2, 599–610. 2018.

ZANIN, P. R.; SATUAMURTY, P.; **Hydrological process interconnecting the two largest watersheds of South America from seasonal to intra-monthly time scales: A critical review.** *International Journal of Climatology*, 40: 3971-4005, 2020.

ZSCHEISCHLER, J., WESTRA, S., VAN DEN HURK, B. J., SENEVIRATNE, S. I., WARD, P. J., PITMAN, A., & ZHANG, X. **Future climate risk from compound events.** *Nature Climate Change*, 8(6), 469-477. 2018.