

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**KALÉO DIAS PEREIRA**

**ECONOMIA DE RECURSOS FLORESTAIS: PROJEÇÕES, COMPORTAMENTO  
DE MERCADO E CONSERVAÇÃO**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**KALÉO DIAS PEREIRA**

**ECONOMIA DE RECURSOS FLORESTAIS: PROJEÇÕES, COMPORTAMENTO  
DE MERCADO E CONSERVAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa como requisito para conclusão do curso de doutorado e obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Lopes da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P436e  
2023  
Pereira, Kaléo Dias, 1993-  
Economia de recursos florestais: projeções, comportamento  
de mercado e conservação / Kaléo Dias Pereira. – Viçosa, MG,  
2023.

1 tese eletrônica (89 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Márcio Lopes da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Florestal, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.725>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Economia florestal. 2. Florestas - Conservação.  
3. Mercado de capitais. 4. Análise de séries temporais. I. Silva,  
Márcio Lopes da, 1964-. II. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.962

KALÉO DIAS PEREIRA

**ECONOMIA DE RECURSOS FLORESTAIS: PROJEÇÕES, COMPORTAMENTO  
DE MERCADO E CONSERVAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa como requisito para conclusão do curso de doutorado e obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada em: 17 de Outubro de 2023

Assentimento:



Documento assinado digitalmente  
**KALEO DIAS PEREIRA**  
Data: 28/12/2023 16:08:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Kaléo Dias Pereira  
(Autor)



Documento assinado digitalmente  
**MARCIO LOPES DA SILVA**  
Data: 28/12/2023 14:37:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Márcio Lopes da Silva  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Dourival e Sulamita, pela dedicação de uma vida inteira em cuidados, ensinamentos e apoio em todos os momentos da minha vida pessoal e profissional.

Aos meus irmãos, Aline e Gabriel, pela torcida e companheirismo constantes.

À minha namorada e companheira, Alessandra, por sempre acreditar no meu potencial e por ser um dos meus pilares de sustentação nos momentos mais desafiadores.

À todos os meus familiares pelo apoio familiar de sempre.

Ao meu melhor amigo, Yweenns, pelos mais de 15 anos de amizade e irmandade que sempre foram fonte de força, inspiração e perseverança.

Ao meu orientador Márcio e demais professores que compartilharam rico conhecimento durante o período do doutorado.

À Universidade Federal de Viçosa e todos os seus colaboradores pela honra de ser diplomado por uma das instituições de educação e pesquisa mais renomadas do país.

## RESUMO

PEREIRA, Kaléo Dias, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2023. **Economia de recursos florestais: projeções, comportamento de mercado e conservação.** Orientador: Márcio Lopes da Silva.

Os empreendimentos florestais são considerados de elevado risco e de difícil gestão, ao passo que os investidores e empresas do setor precisam lidar não apenas com as flutuações do mercado, mas também com as possibilidades de sinistros ambientais que podem comprometer a produção da floresta. Considerando os desafios relacionados à gestão de negócios e recursos florestais, o objetivo da presente pesquisa foi analisar séries históricas e explorar métodos de análise de séries temporais para avaliar as perspectivas do mercado florestal e da conservação dos recursos florestais no Brasil. Para tanto, o trabalho foi desenvolvido em três capítulos definidos por metodologias e objetivos distintos: 1<sup>a</sup> – utilizar o modelo ARIMA com intervenção para analisar as alterações na série histórica do desmatamento da Amazônia Legal frente a acontecimentos que são diretamente ligados à conservação da vegetação nativa; 2<sup>a</sup> – avaliar o impacto das flutuações cambiais sobre as empresas brasileiras de papel e celulose de capital aberto utilizando a análise de cointegração e 3<sup>a</sup> – comparar o método ARIMA com redes neurais em análises de séries temporais de produtos florestais brasileiros.

Palavras-chave: conservação de recursos florestais; mercado de capitais; negócios florestais; séries temporais.

## ABSTRACT

PEREIRA, Kaléo Dias, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, october, 2023. **Forestry resources economy: forecasts, market behavior and conservation**. Adviser: Márcio Lopes da Silva.

Forestry business are considered high risk and difficult to manage, while investors and companies in the sector need to deal not only with market fluctuations, but also with the possibilities of environmental accidents that could compromise forest production. Considering the challenges related to business and forest resource management, the objective of this research was to analyze historical series and explore time series analysis methods to evaluate the perspectives of the forest market and the conservation of forest resources in Brazil. To this end, the work was developed in three chapters defined by different methodologies and objectives: 1st – use the ARIMA model with intervention to analyze the changes in the historical series of deforestation in the Brazilian; 2nd – evaluate the impact of exchange rate fluctuations on stock value of brazilian cellulose and paper companies using cointegration analysis and 3rd – compare the ARIMA method with neural networks in time series analysis of brazilian forest products.

Keywords: forest resources conservation; stock market; forest businesses; time series.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Participação percentual do extrativismo vegetal e da silvicultura na produção primária florestal no período de 1997 a 2019.....	14
<b>Figura 2</b> – Destino da madeira produzida pela silvicultura em termos percentuais do valor da produção total no ano de 2019.....	15
<b>Figura 3</b> – Participação percentual das regiões brasileiras no valor da produção da silvicultura no ano de 2019.....	16
<b>Figura 4</b> – Histórico da participação do setor de florestas plantadas para a balança comercial brasileira no período de 2010 a 2019.....	16
<b>Figura 5</b> – Série decomposta em tendência, sazonalidade e aleatório.....	17
<b>Figura 6</b> – Exemplo fictício de série estacionária à esquerda e não estacionária à direita.....	19
<b>Figura 7</b> – Rede neural multicamada com uma primeira camada de entrada ( $k = 0$ ), duas camadas ocultas ( $k = 1, k = 2$ ) e uma camada de saída ( $k = 3$ ).....	22
<b>Figura 1</b> – Séries históricas de produção de carvão vegetal, celulose e painéis durante o período de 1961-2019 no Brasil.....	33
<b>Figura 2</b> – Projeções para dez anos dos modelos ARIMA e RNA representadas pela linha sem pontos. A região acinzentada indica os intervalos de confiança a 95%.....	40
<b>Figura 3</b> – Tendências das séries históricas de produção de carvão vegetal, celulose e painéis no período de 1961-2019 extraídas pelo filtro de Hodrick e Prescott.....	40
<b>Figura 1</b> – Séries históricas semanais da cotação do euro e do dólar em relação ao real brasileiro no período de 2018 a 2022.....	53
<b>Figura 2</b> – Séries históricas semanais da cotação das ações SUZB3, KLBN3 e RANI3 entre 2018 e 2022.....	54
<b>Figura 3</b> – Decomposição das séries históricas semanais originais de cotação do dólar-real (A), euro-real (B), SUZB3 (C), KLBN3 (D) e RANI3 (E) em componente de tendência, sazonalidade e estocástico.....	57
<b>Figura 1</b> – Desmatamento anual da Amazônia Legal no período de 1988 a 2021.....	68
<b>Figura 2</b> – Desmatamento anual da Amazônia no Estado do Pará no período de 1988 a 2021..	72
<b>Figura 3</b> – Desmatamento mensal da Amazônia no Estado do Pará no período de agosto de 2015 a abril de 2022 considerando as áreas de desmatamento com corte raso, desmatamento com vegetação e desmatamento para mineração.....	73

**Figura 4** – Padrão e médias mensais do desmatamento no Estado do Pará no período de agosto de 2015 a abril de 2022 considerando as áreas de desmatamento com corte raso, desmatamento com vegetação e desmatamento para mineração.....73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Principais tipos de projetos de infraestrutura do programa “Avança Brasil” na Amazônia Legal.....	27
<b>Tabela 1</b> – Resumo da análise descritiva e estacionaridade das séries avaliadas no período de 1961-2019.....	34
<b>Tabela 2</b> – Valores de AIC, BIC e p-valores dos testes Ljung-Box (LB), multiplicador de Lagrange (L) e Jarque-Bera (JB) sobre o conjunto de dados de treino.....	36
<b>Tabela 3</b> – Raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e erro médio absoluto (MAE) dos modelos para o conjunto de treino e de teste.....	37
<b>Tabela 4</b> – Raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e erro médio absoluto (MAE) dos modelos selecionado para analisar o período de 1961-2019.....	39
<b>Tabela 1</b> – Resultados das estatísticas do teste ADF com as séries sem diferenciação – I(0) e com uma diferença – I(1).....	55
<b>Tabela 2</b> – Coeficientes ajustados dos modelos lineares com o preço das ações de empresas brasileiras de papel e celulose e a cotação do dólar e euro, bem como os resultados do teste ADF para os erros dos modelos.....	58
<b>Tabela 3</b> – Valores de variação de curto e longo prazo gerados a partir dos modelos de correção do erro.....	58
<b>Tabela 1</b> – Fatos históricos da análise de intervenção.....	67
<b>Tabela 2</b> – Modelos ajustados na análise de intervenção – Amazônia Legal.....	70
<b>Tabela 3</b> – Modelos ajustados na análise de intervenção – Estado do Pará.....	74

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	14
LISTA DE TABELAS .....	16
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral: .....	13
2.2 Objetivos específicos: .....	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1 Histórico do setor florestal brasileiro .....	14
3.2 Series temporais.....	17
3.3 Método Box – Jenkins .....	18
3.4 Aplicação do método Box-Jenkins no setor florestal .....	20
3.5 Redes neurais artificiais (RNA).....	21
3.6 Análise de séries temporais do setor florestal com RNA .....	23
3.7 Análise de cointegração.....	24
3.8 Dilemas econômicos em torno do desmatamento da Amazônia .....	25
CAPÍTULO 1 .....	28
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DO SETOR FLORESTAL BRASILEIRO: MODELO ARIMA VS REDES NEURAIIS .....	28
1 INTRODUÇÃO.....	29
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
2.1 Base de dados .....	30
2.2 Seleção e avaliação dos modelos ARIMA .....	30
2.3 Treinamento das redes neurais artificiais (RNA) .....	31
2.4 Comparação ARIMA vs RNA.....	32
2.5 Projeção .....	32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
3.1 Breve análise de mercado .....	33
3.2 Seleção e comparação dos modelos ARIMA .....	35
3.3 Comparação ARIMA vs RNA.....	37
3.4 Previsão .....	38
4 CONCLUSÕES .....	42
REFERÊNCIAS .....	42
CAPÍTULO 2 .....	48
IMPACTO DO CÂMBIO SOBRE EMPRESAS BRASILEIRAS DE PAPEL E CELULOSE DE CAPITAL ABERTO: EFEITO PANDEMIA .....	48
1 INTRODUÇÃO.....	49

2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
2.1 Modelo teórico.....	50
2.2 Modelo Analítico.....	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
4 CONCLUSÕES .....	59
REFERÊNCIAS .....	59
CAPÍTULO 3 .....	63
MARCOS DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL: UMA APLICAÇÃO DE MODELOS ARIMA COM INTERVENÇÃO .....	63
1 INTRODUÇÃO.....	64
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
2.1 Fonte de dados .....	65
2.2 Análise de intervenção .....	66
2.3 Modelagem .....	67
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	68
3.1 Desmatamento na Amazônia Legal.....	68
3.1.1 Análise de intervenção .....	69
3.2 Desmatamento da Amazônia no Estado do Pará.....	72
3.2.1 Análise de intervenção .....	74
4 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS .....	75
CONCLUSÃO GERAL .....	81
REFERÊNCIAS .....	81

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Os empreendimentos florestais são considerados de elevado risco e de difícil gestão, visto que envolvem plantios de ciclo longo e alto investimento de capital, ao passo que a geração de retorno econômico ocorre apenas a longo prazo (SIMIONI e HOEFLICH, 2006; NOGUEIRA FILHO et al., 2017). Os investidores e empresas do setor florestal precisam lidar não apenas com as flutuações do mercado, mas também com as possibilidades de sinistros ambientais que podem comprometer a produção da floresta.

Não obstante aos desafios inerentes ao setor florestal, Valverde et al. (2012) afirmam que o Brasil tem se destacado como potência no mercado de produtos madeireiros e não madeireiros, além da prestação de serviços ambientais. Os autores atribuem o sucesso às vantagens ambientais do país, o avanço tecnológico e aprimoramento dos profissionais da Engenharia Florestal. Adicionalmente, Andrejow et al. (2018) enfatizam a relevância da cadeia produtiva brasileira de florestas equiâneas pela capacidade de geração de renda e empregos, além do potencial de expansão.

Apesar do potencial do setor florestal brasileiro, há debates entre os profissionais da área sobre a possibilidade do que é conhecido como “apagão florestal”, que atingiria principalmente as indústrias das regiões Sul e Sudeste do país, as quais tiveram a cobertura vegetal nativa reduzida a fragmentos (JUVENAL e MATTOS, 2002). O Instituto Brasileiro de Florestas (2023) monitora os indícios de um “apagão florestal” e destaca que até 2030 deve haver déficit de 16 milhões de m<sup>3</sup> entre demanda e oferta de madeira extraída da Amazônia brasileira. Segundo Zanetti (2021), em países em desenvolvimento, há contradição entre o arcabouço de silvicultura avançada e extensas florestas nativas e a baixa contribuição econômica dos produtos das florestas nativas, fenômeno este relacionado aos elevados custos e complexidade dos processos produtivos e regulatórios.

A importância em estudar as flutuações e tendências do mercado florestal brasileiro parte da relevância do setor para a economia nacional. Em 2019, a produção florestal primária movimentou R\$ 20 bilhões, atingindo R\$ 97,4 bilhões e uma participação de 1,2% no PIB nacional ao considerar toda a cadeia produtiva dos produtos da silvicultura (IBÁ, 2020; IBGE, 2020). Lopes (2021) aponta que o mercado da silvicultura no Brasil também se mostra robusto às crises econômicas, visto que entre 2015 e 2016 houve retração de 3,3% no PIB do setor em resposta à fragilidade da economia, enquanto ocorreram reduções na ordem de 3,6% a 6,6% no PIB nacional, da indústria geral e da agropecuária. No período pós pandemia, o setor florestal

reafirmou a sua importância econômica, atingindo receita bruta recorde de R\$ 244,6 bilhões e crescendo acima do PIB nacional em 2021 (IBÁ, 2022).

Em contexto mais abrangente, o setor florestal desempenha papel fundamental na sustentação da economia brasileira em relação a outros setores, assim mostram análises de matriz insumo-produto. Sousa et al. (2010) demonstraram que o aumento de uma unidade na demanda por produtos florestais tem o potencial de aumentar em duas unidades a produção florestal e a arrecadação de impostos, havendo impacto ainda maior sobre a geração de renda e emprego. Em estudo para a região da Bahia, Andrade (2021) corroborou a eficiência do setor de produtos florestais para a geração de emprego, renda e arrecadação de impostos. No Estado do Paraná, a análise de matriz insumo-produto realizada por Martins, Kureski e Kalluf (2015) revelou que o setor florestal se destaca como comprador e vendedor de insumos em relação a outros setores.

Conforme supracitado, as empresas e investidores do setor florestal brasileiro precisam lidar com margens de planejamento a longo prazo, visto que a base fornecedora de madeira para uso industrial são as florestas equiâneas. Nesse sentido, é imprescindível analisar o histórico dos principais produtos de origem florestal para buscar prever a direção dos diferentes mercados. De forma análoga, análises de séries temporais de recursos florestais podem apoiar a gestão pública na elaboração de planos a longo prazo para a economia nacional e na definição de políticas públicas para uso sustentável

As análises de mercado com o objetivo de prever as variações de preço e demanda são frequentemente necessárias, especialmente em grandes companhias. Como exemplo prático, em 2020 a Suzano estabeleceu como estratégia a redução de seus estoques de celulose, gerando expectativa no mercado de inflexão e elevação de preços (REUTERS, 2021). Em 2021 a Suzano anunciou investimento na ordem de 14,7 bilhões na construção de nova fábrica de celulose em Mato Grosso do Sul para a produção anual de 2,3 milhões de toneladas de celulose (SUZANO, 2021). Dada a dinâmica do mercado e as inúmeras possibilidades, é possível que empresas dimensionem seus investimentos em expansão de produção sem projeções factíveis?

É evidente que o planejamento estratégico das empresas é complexo e envolve aspectos muitas vezes subjetivos. Porém, o desenvolvimento de técnicas para a projeção de séries temporais relacionadas ao mercado florestal podem ser úteis para o planejamento de curto e médio prazo das empresas, servindo de base para a elaboração do cronograma de plantio e de corte de árvores, conforme explicam Coelho, Silva e Prottil (2007). Nesse sentido, a utilização

de análise de séries temporais na economia não é algo novo, embora esteja sendo aplicada com maior frequência nas últimas duas décadas em pesquisas para a economia de base florestal.

O campo do estudo de séries temporais apresenta hoje uma gama de técnicas e procedimentos que permitem análises complexas e eficientes sobre o padrão de comportamento e das expectativas futuras para os mercados diversos. Tradicionalmente, a avaliação e projeção de séries históricas é realizada pelo bem conhecido método de Box – Jenkins (BOX e JENKINS, 1976) e diversos tipos de modelos.

Mais recentemente, com o avanço e maior acessibilidade aos recursos computacionais, poderosos algoritmos de aprendizagem de máquina também vêm sendo empregados em análises de séries temporais, destaque para o uso de redes neurais artificiais que já são amplamente utilizadas em pesquisas sobre o mercado de base florestal (ANANDHI, CHEZIAN e PARTHIBAN, 2012; SIVARAM, 2014; COELHO, SILVA e PROTIL, 2021). Cabe aos analistas identificar as melhores ferramentas para fornecer respostas acuradas sobre o que esperar dos mercados de produtos florestais.

## **2 OBJETIVOS:**

### **2.1 Objetivo geral:**

Analisar séries históricas e explorar métodos de análise de séries temporais para avaliar as perspectivas do mercado florestal e da conservação dos recursos florestais no Brasil.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre trabalhos com séries temporais na ciência florestal;
- Avaliar as séries temporais da produção brasileira de celulose, carvão vegetal e painéis;
- Ajustar modelos ARIMA para projetar a produção de celulose, carvão vegetal e painéis dez anos à frente;
- Utilizar redes neurais artificiais para projeções da produção de celulose, carvão vegetal e painéis;
- Comparar a acurácia dos modelos ARIMA com as redes neurais para as respectivas séries temporais estudadas;
- Realizar análise de cointegração entre preços das ações de empresas brasileiras de celulose e cotação de moedas importantes no mercado internacional;

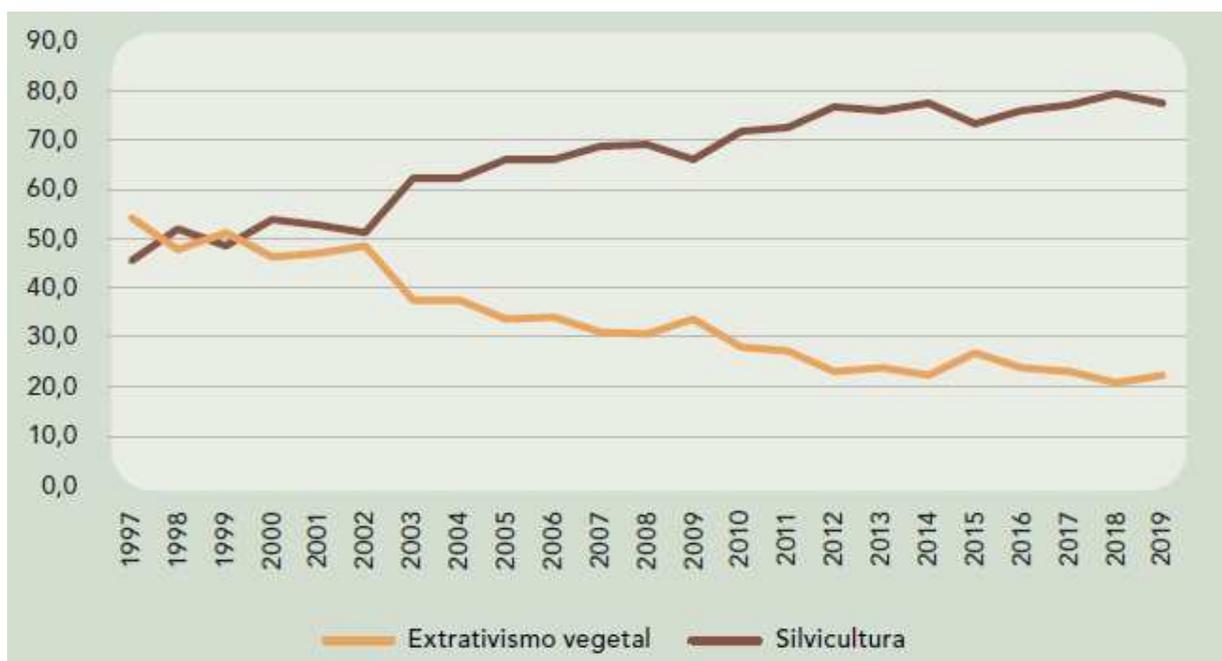
- Analisar a relação histórica entre desmatamento da Amazônia e possíveis fatores de degradação (legislações, pecuária, grandes obras e outros).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Histórico do setor florestal brasileiro

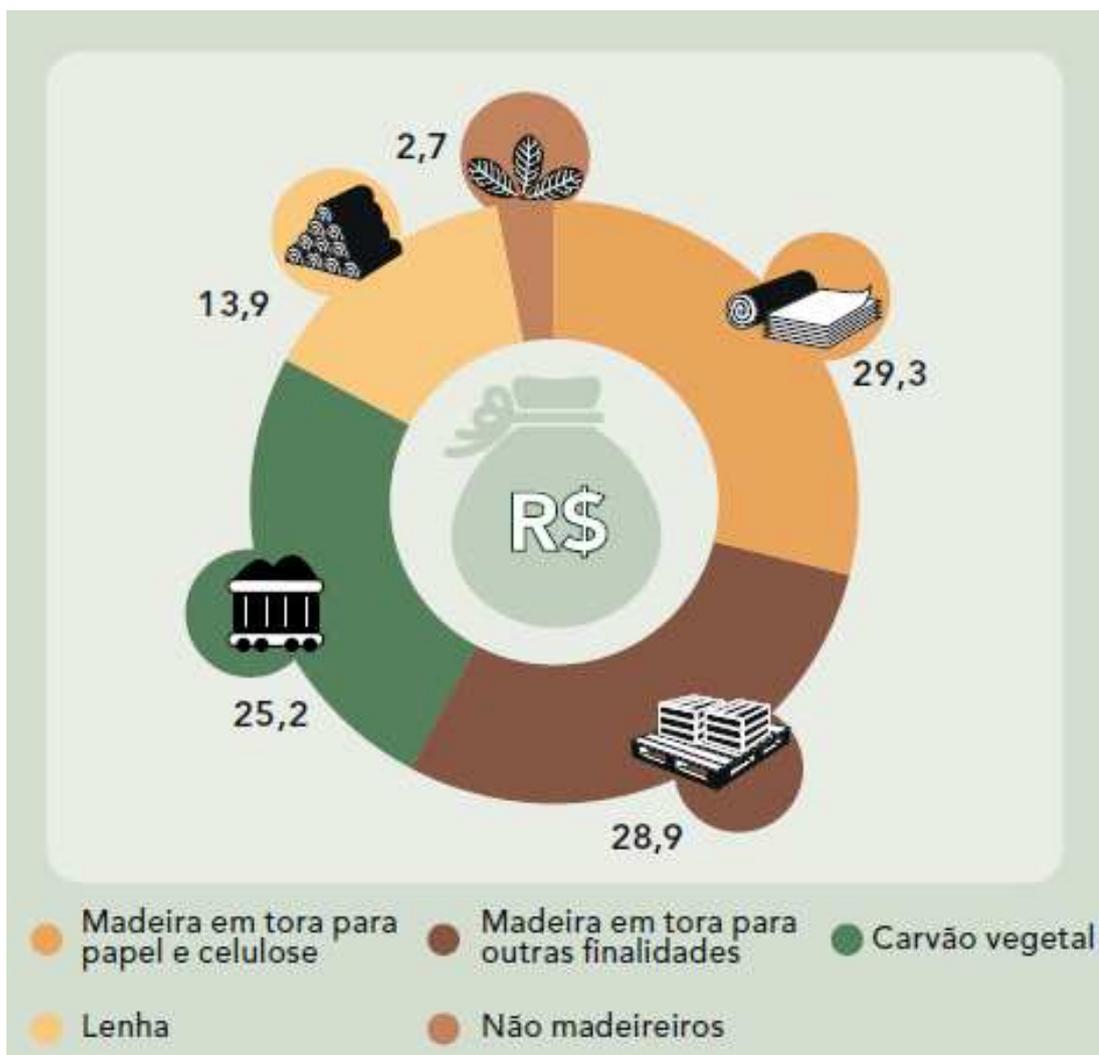
Desde a década de 90, o valor de participação dos produtos extraídos de florestas nativas no mercado vem diminuindo progressivamente frente ao aumento da comercialização de bens da silvicultura. As florestas nativas que antes chegaram a representar 75% do mercado florestal, passaram a compor 20% do montante movimento pelo setor. Outra mudança na função das florestas naturais que vem acontecendo na última década é em relação ao tipo de produto extraído, havendo uma crescente comercialização de produtos não madeireiros em detrimento aos produtos madeireiros (SNIF, 2019).

Os resultados apresentados pelo IBGE (2020) explicitam a inversão da participação do extrativismo vegetal e da silvicultura no valor da produção primária florestal ao longo das últimas duas décadas (Figura 1). A produção de papel e especialmente de celulose são os principais destinos da madeira produzida pela silvicultura (Figura 2), o que é muito positivo para a balança comercial brasileira, visto que a maior parte da celulose produzida no país é direcionada à exportação (IBÁ, 2020).



**Figura 1** – Participação percentual do extrativismo vegetal e da silvicultura na produção primária do mercado florestal no período de 1997 a 2019.

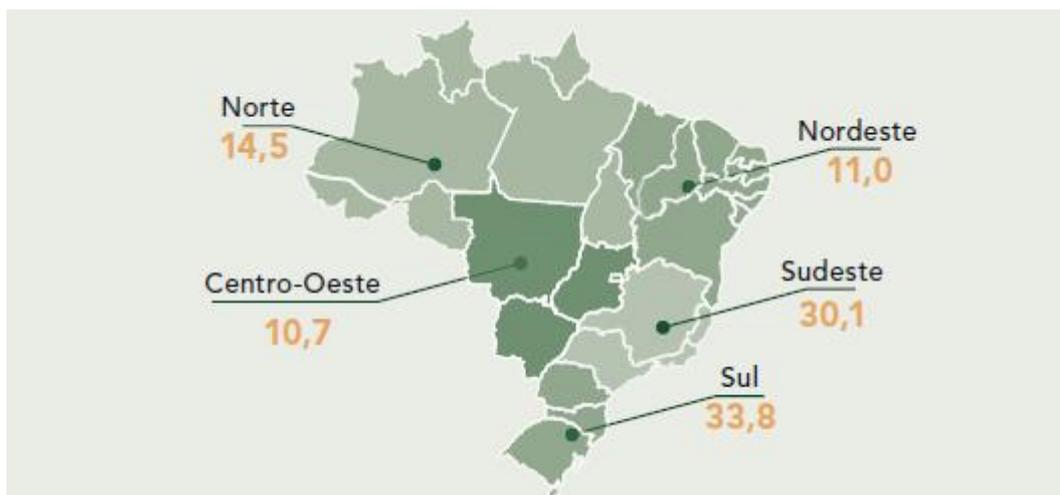
Fonte: adaptado de IBGE (2020).



**Figura 2** – Destino da madeira produzida pela silvicultura em termos percentuais do valor da produção total no ano de 2019.

Fonte: adaptado de IBGE (2020).

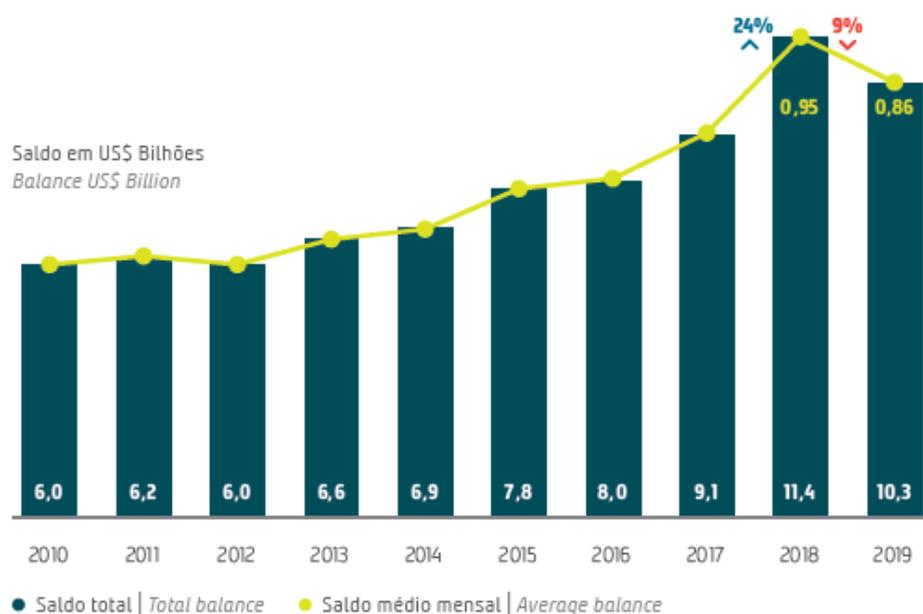
Seguindo a tendência do setor florestal brasileiro quanto a origem de matéria-prima, as regiões Sul e Sudeste do Brasil são as que mais movimentam o mercado (Figura 3), não por coincidência são as regiões que concentram a maior parte dos plantios florestais. O Estado líder em produção florestal é Minas Gerais, onde estão concentrados 28% dos plantios de eucalipto (IBÁ, 2020). O extrativismo vegetal é em grande parte concentrado no Estado do Pará por conta do manejo de áreas da região amazônica, colocando o Estado em terceiro lugar no ranking geral em valor de produção primária florestal no ano de 2019 (IBGE, 2020).



**Figura 3** – Participação percentual das regiões brasileiras no valor da produção da silvicultura no ano de 2019.

Fonte: adaptado de IBGE (2020).

Conforme o relatório da Indústria Brasileira de Árvores – Ibá (2020), o setor brasileiro de árvores plantadas contribuiu com 1,2% do PIB nacional no ano de 2019, o que foi equivalente a R\$ 97,4 bilhões. Ainda sobre os dados do relatório da Ibá, o setor de árvores plantadas gerou R\$ 10,3 bilhões para a balança comercial do país (Figura 4), representando 4,3% das exportações brasileiras e 10% das exportações do agronegócio.

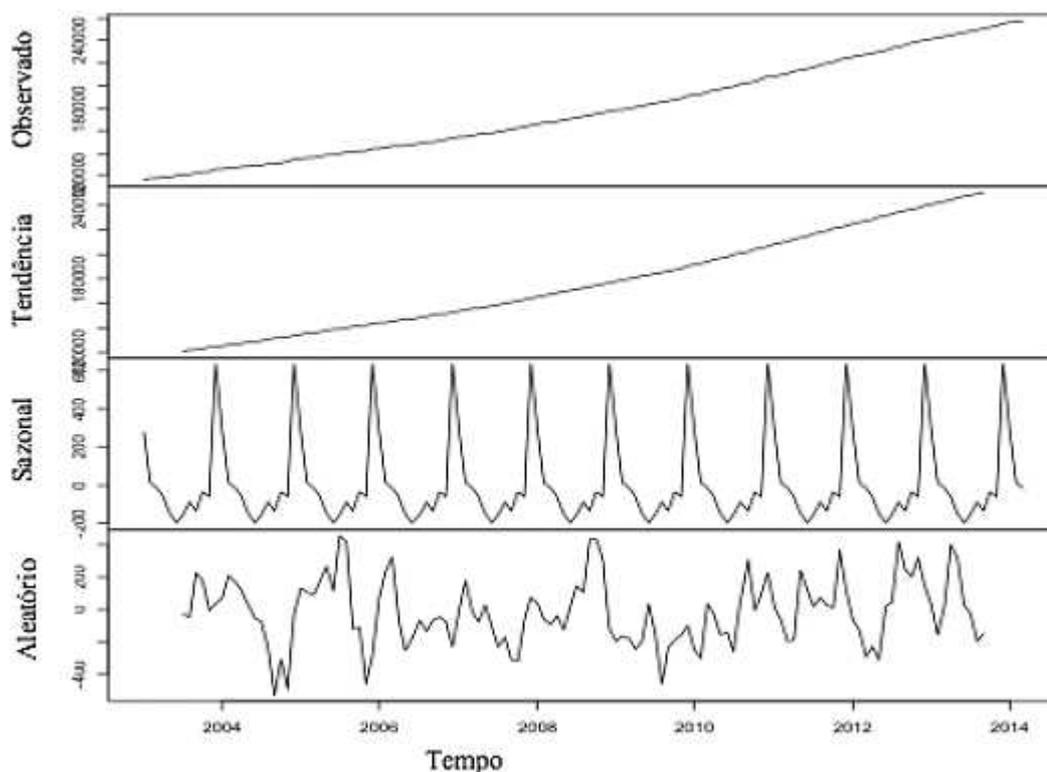


**Figura 4** – Histórico da participação do setor de florestas plantadas para a balança comercial brasileira no período de 2010 a 2019.

Fonte: Ibá (2020).

### 3.2 Series temporais

Estudos com séries temporais vêm sendo desenvolvidos mais frequentemente desde a década de 70 com a publicação de George E. P. Box e Gwilym M. Jenkins, intitulada Time Series Analysis: Forecasting and Control (CRYER e CHAN, 2008), os quais têm gerado acelerados aprimoramentos e inovações das técnicas de análise. Como o próprio nome sugere, Box et al. (2016) define series temporais como observações registradas em sequência ao longo de intervalos de tempo. Diferente de outros tipos de conjunto de dados, uma série temporal pode ser formada por três componentes (Figura 5): tendência ( $T_t$ ), sazonalidade ( $S_t$ ) e ruído branco ou variação aleatória ( $a_t$ ) (MORETTIN e TOLOI, 1985; LATORRE e Cardoso, 2001).



**Figura 5** – Série decomposta em tendência, sazonalidade e aleatório.

Fonte: Martin et al. (2015).

Os métodos de análise de séries temporais são utilizados nos mais diversos campos do conhecimento. Na literatura é possível encontrar trabalhos relacionados a saúde pública (ŠTELEMĚKAS et al.), monitoramento em larga escala da agricultura (PICOLE et al, 2018), geociências (LI, HINNOV e KUMP, 2019), meteorologia e previsão climática (VOYANT et al., 2014), comercialização de produtos e serviços (SANDU, DRUICĂ e IANOLE, 2015; GONSALVES, 2020).

Durante a pandemia do COVID-19, as análises de séries temporais associada à estudos epidemiológicos assumiram papel vital no monitoramento e planejamento de combate ao vírus, fornecendo as ferramentas analíticas para inúmeras pesquisas ao redor do mundo (SALGOTRA, GANDOMI e GANDOMI, 2020; QI et al., 2020; ELGAR, STEFANIAK e WOHL, 2020).

Dentre as várias áreas em que análises de séries temporais são utilizadas, a economia é um dos casos no qual há larga utilização, havendo aplicações que são úteis e interferem diariamente na vida das pessoas. Monitoramento e projeções de inflação, produto interno bruto (PIB), índices de confiança, preços de *commodities* e outros parâmetros econômicos são analisados constantemente pelas respectivas séries temporais frente às mudanças de cenário (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021). Do mesmo modo, a economia florestal pode recorrer às análises das séries temporais de produtos do mercado florestal para avaliar a tendência de preços e consumo e a expectativa para o setor (ALMEIDA et al., 2009; CORDEIRO et al., 2010; CALDERON, 2013).

### 3.3 Método Box – Jenkins

O método Box – Jenkins é o mais tradicional para a análise e projeção de séries temporais. De acordo com Young (1977), a equação segundo a notação Box – Jenkins para estimativa de séries temporais resulta no modelo autorregressivo integrado de média – móvel (ARIMA) ou ARIMA ( $p, d, q$ ), em que  $p$  representa o grau do processo autorregressivo,  $d$  é o grau de integração e  $q$  é o grau do processo média – móvel.

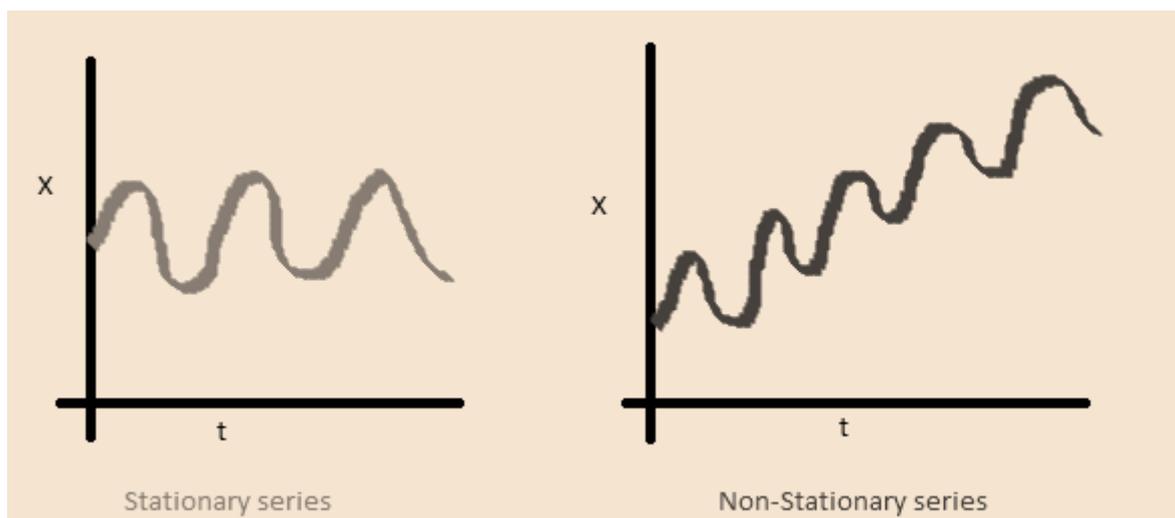
A aplicação da abordagem de Box – Jenkins consiste em um processo de pelo menos três etapas, que, no caso de uma série estacionária, tem por base a estimação da equação 1 (MAKRIDAKIS e HIBON, 1997):

$$Y_t = \mu + \theta_1 Y_{t-1} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \alpha_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}, \quad (1)$$

em que  $Y$  é a valor atual da variável de interesse no tempo  $t$ ,  $\mu$  é a média das observações,  $\theta$  e  $\alpha$  são os coeficientes do modelo,  $Y_{t-1}$  e  $Y_{t-p}$  é o valor da variável  $Y$  com uma defasagem e com  $p$  defasagens, respectivamente,  $\varepsilon_{t-1}$  e  $\varepsilon_{t-q}$  são os desvios com uma defasagem e com  $q$  defasagens, respectivamente, e  $\varepsilon_t$  representa os resíduos do modelo.

As três etapas da metodologia Box – Jenkins podem ser divididas em: identificação e formulação do modelo; estimação e diagnóstico do ajuste e aplicação do modelo (YOUNG,

1977). Segundo Makridakis e Hibon (1997), inicialmente a série deve ser avaliada quanto a estacionaridade de média e variância, ou seja, se há constância na média e variância ao longo do tempo (Figura 6). Em caso de série não estacionária, a abordagem Box – Jenkins indica a diferenciação dos pares de observações para ajuste da média e aplicação de logaritmo para tornar a variância estacionária.



**Figura 6** – Exemplo fictício de série estacionária à esquerda e não estacionária à direita.

Fonte: Analytics Vidhya (2021).

Ainda na fase da formulação do modelo, é importante verificar a ocorrência de sazonalidade na série. Zellner (1978) descreve sazonalidade como flutuações regulares e periódicas que ocorrem sempre na mesma época e sempre na mesma intensidade, além de, mais importante, que podem ser mensuradas e removidas da série. Vale destacar que, exceto as séries anuais, todas as demais séries (diárias, semanais, mensais e outras) podem apresentar sazonalidade.

Na fase final da formulação do modelo, é necessário definir se a equação será baseada em um modelo autorregressivo (AR), de médias móveis (MA) ou autorregressivo e de médias móveis (ARMA). Ehlers (2009) explica que para extrair as informações sobre a estrutura de uma série temporal ou processo estocástico estacionário, é necessário analisar a sua função de autocorrelação teórica. O autor ainda destaca que uma única função de autocorrelação pode apresentar diferentes processos estocásticos, que serão apresentados a seguir.

Um dos processos estocásticos é conhecido como ruído branco, sendo caracterizado por uma sequência de variáveis aleatórias ( $\varepsilon_t$ ) independente e identicamente distribuídas sem correlação serial e com homoscedasticidade condicional. Se um processo  $X_t$  é igual a  $X_{t-1} + \varepsilon_t$ ,

então o processo é chamado de passeio aleatório, o que é comum em preços diários de ações (EHLERS, 2009).

Um processo  $X_t$  é chamado de processo de média móvel de ordem  $q$  ou MA( $q$ ), se:

$$X_t = \varepsilon_t + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q}, \quad (2)$$

em que  $\beta_i \in \mathbb{R}$ ,  $i = 1, \dots, q$ . Por fim, um processo  $X_t$  é chamado de processo autorregressivo de ordem  $p$  ou AR( $p$ ), se:

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + \varepsilon_t, \quad (3)$$

em que os valores passados de  $X_t$  funcionam como variáveis regressoras, similar a um modelo de regressão tradicional (EHLERS, 2009). Após uma análise da função de autocorrelação e autocorrelação parcial, o modelo pode finalmente ser definido e ratificado após teste de significâncias dos coeficientes, de modo a obter o modelo mais parcimonioso.

Identificado o modelo e ajustado os coeficientes, segue-se para a etapa de validação ou diagnóstico da equação. São vários os procedimentos que podem ser aplicados para avaliar a acurácia e capacidade de generalização do modelo ajustado. Box et al. (2016) descrevem os métodos e testes mais comuns para diagnóstico de modelos de séries temporais, os quais tem por objetivo avaliar a ocorrência de *overfitting* e análise de autocorrelação e normalidade dos resíduos.

### 3.4 Aplicação do método Box-Jenkins no setor florestal

A literatura específica dispõe de vários trabalhos que exploram diferentes modelos para análise de séries temporais de produtos florestais, principalmente na modelagem de preços de comercialização. Soares et al. (2010) aplicaram modelos ARIMA para prever o preço da madeira em pé de *Eucalyptus spp.* nos Municípios de Itapeva (SP) e Bauru (SP) e selecionaram os modelos ARIMA (0,1,4) e ARIMA (2,1,2), respectivamente, como mais eficientes. Analisando o preço pago às exportações paranaenses de madeira serrada, SOUZA et al. (2021) ajustaram um modelo ARIMA (2,1,3) que foi capaz de prever o preço da madeira um mês a frente com 4% de erro. PSCHIEDT et al. (2020) ajustaram modelos ARIMA (5,1,3) e ARIMA (4,1,2) para prever a demanda e o preço das exportações brasileiras de madeira serrada para os

Estados Unidos, concluindo com base nos resultados da modelagem que a demanda e o preço devem permanecer estáveis até dois anos à frente.

Para projetar os preços da celulose brasileira nos mercados interno e externo Reichert e Souza (2020) selecionaram o modelo ARIMA (1,1,0) e ARFIMAX (1,d\*,0), respectivamente, sendo o segundo um ARIMA com integração fracionária com valor  $-0,50 < d^* < 0,50$ . Os autores também utilizaram o modelo vetor autorregressivo (VAR) para analisar a interação entre os preços do mercado interno e externo, verificando alto impacto do preço interno da celulose sobre o preço da celulose exportada pelo Brasil.

Na previsão do preço da celulose e do papel no Estado do Mato Grosso do Sul, Silva, Schlindwein e Silva (2020) obtiveram o modelo ARIMA (0,1,27) como mais eficiente para o preço da celulose, enquanto para o preço do papel foi necessário um modelo SARIMA (0,1,27) (0,0,2) devido à presença de sazonalidade nos dados mensais. Åkerlund (2021) propôs uma comparação entre o modelo ARIMA e o algoritmo Holt – Winter, que consiste em um modelo de série temporal com suavização exponencial, chegando à conclusão de que de fato o modelo ARIMA foi mais acurado para a previsão do preço da polpa de celulose.

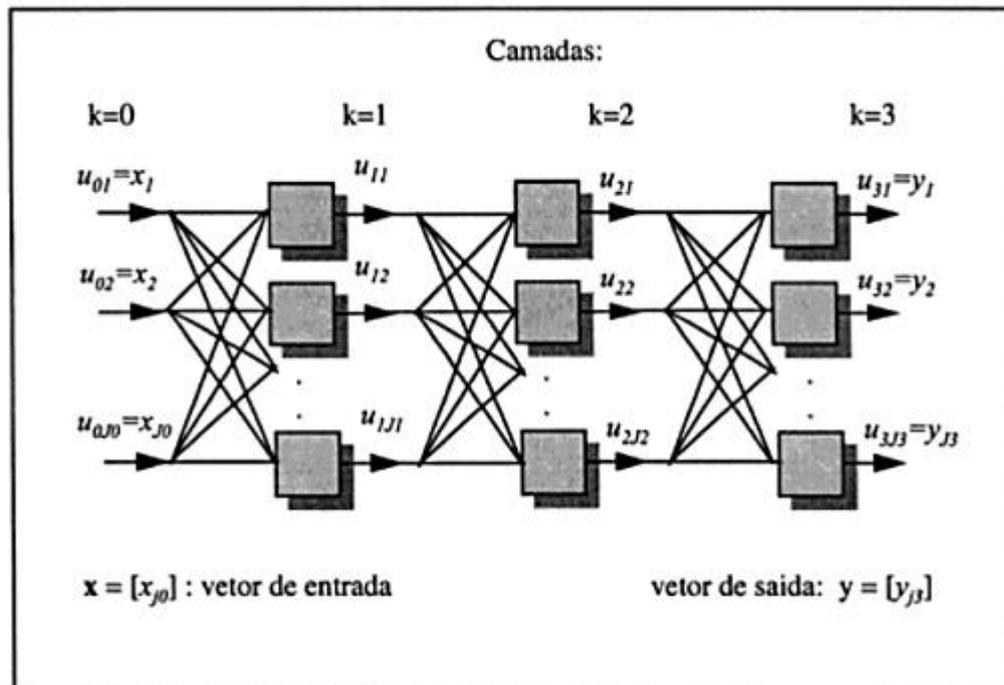
Em trabalho com preços de carvão vegetal de quatro regiões do Estado de Minas Gerais, Rezende et al. (2005) ajustaram modelos SARIMA distintos para cada região, mesmo nos casos das localidades que apresentavam padrões de preço similares. Em outra pesquisa no Estado de Minas Gerais, Coelho Júnior et al. (2006) utilizou o modelo SARIMA para corrigir a ocorrência de periodicidade no preço do carvão vegetal, embora não tenha sido necessária a correção de sazonalidade.

Analisando a exportação e importação de papel e produtos de papel na Turquia pelo método Box-Jenkins, Ersen, Akyüz e Bayram (2019) recorreram a modelos SARIMA(p,d,q)(P,D,Q) para modelar dados mensais com sazonalidade, em que as variáveis autorregressivas foram mais presentes nos modelos selecionados. Acquah, Avuglah e Harris (2014) também precisaram de um modelo SARIMA para estudar o padrão de exportação de produtos de madeira em Gana e novamente a variável autorregressiva foi importante na modelagem.

### **3.5 Redes neurais artificiais (RNA)**

Baseado nas ideias do médico e matemático Warren McCulloch que, junto com o estatístico Walter Pitts, publicou em 1943 o primeiro artigo propondo a teoria das redes neurais artificiais (RNA), Frank Rosenblatt propôs no fim da década de 50 uma complexa rede de múltiplos neurônios do tipo discriminadores lineares. Esta rede, que Rosenblatt batizou de

*perceptron* (Figura 7), consiste em várias camadas de neurônios divididas em três tipos: camada de entrada, que recebe a entrada da rede; camada de saída, que constitui a última camada; e as camadas ocultas, que são intermediárias entre a camada de entrada e de saída (KOVÁCS, 2006).



**Figura 7** – Rede neural multicamada com uma primeira camada de entrada ( $k = 0$ ), duas camadas ocultas ( $k = 1, k = 2$ ) e uma camada de saída ( $k = 3$ ).

Fonte: Kovács (2006).

Conforme explica Rauber (2005), uma RNA é estruturada em duas partes: a arquitetura e o algoritmo de aprendizagem ou treinamento. Ao contrário de um sistema computacional com arquitetura de von Neumann que é programável, as RNAs são treinadas a partir de exemplos que contêm informação suficiente sobre o problema em análise. O algoritmo de aprendizagem é responsável por generalizar os dados fornecidos pelos exemplos e armazenar o conhecimento aprendido dentro dos pesos, que são os parâmetros adaptáveis da rede.

As RNAs são estruturadas por um determinado número de entradas e unidades de processamento (neurônios), as quais por sua vez são interligadas pelos pesos sinápticos que, junto com a função de ativação (AF) dos neurônios, transformam e propagam as entradas através da rede (HAYKIN, 2007; FLECK et al., 2016). Machado e Fonseca Júnior (2013) explicam que o neurônio  $k$  recebe as entradas de  $n$  neurônios ( $y_i$ ) e calcula a saída por meio da equação (4):

$$y_k = AF(\sum_{i=1}^n (y_i w_{ki}) + b_k), \quad (4)$$

onde  $y_k$  é a saída resultante do cálculo realizado pelo neurônio  $k$ ,  $w_{ki}$  representa o peso sináptico entre o neurônio  $i$  e o neurônio  $k$  e  $b_k$  é o peso entre um valor constante e diferente de zero ao neurônio  $k$ , conhecido como *bias* ou viés. Se o neurônio estiver ligado às entradas, o termo  $y_i$  é substituído pela entrada correspondente.

Outro ponto importante da construção de uma RNA destacado por Machado e Fonseca Júnior (2013) é a determinação dos pesos sinápticos e do *bias* durante o processo de treinamento da rede. O treinamento da rede consiste ocorre por métodos iterativos que partem de valores iniciais dos parâmetros e realizam sucessivas atualizações até atingir a convergência do processo, caso seja possível. Considerando o processo de iteração  $j$ ,  $w_{ki}$  é atualizado por meio da equação (5):

$$w(j)_{ki} = w(j-1)_{ki} + \Delta w(j)_i, \quad (5)$$

sendo  $w(j)_i$  o vetor de correção ao parâmetro  $w_{ki}$  na iteração  $j$ .

### 3.6 Análise de séries temporais do setor florestal com RNA

A versatilidade dos algoritmos de RNA vem sendo explorados por pesquisas com diferentes objetivos nas análises de produtos do mercado florestal. Em exemplo de aplicação, Coelho, Silva e Protil (2021) utilizaram RNA por meio do método de agrupamento de Gustafson-Kessel e com otimização por evolução diferencial para a previsão do preço da madeira do eucalipto.

Estudando o padrão do preço real de comercialização da madeira da teca na Índia, Sivaram (2014) empregou RNA com algoritmo de otimização de treinamento Levenberg-Marquardt e comparou com os resultados do modelo ARIMA, constando menor erro e projeções mais próximas da realidade com a modelagem pelo algoritmo RNA. Tigas et al. (2013) utilizaram o filtro de Kalman para treinar redes neurais com duas camadas de entrada para modelar o consumo de madeira serrada, painéis de madeira e compensados na Grécia. Os autores citam algumas sugestões para melhorar as projeções, como a combinação de RNA com ARIMA ou com outras técnicas, normalização dos dados, ampliação da série histórica ou a inclusão de mais camadas de entrada.

Com o objetivo de projetar a demanda e oferta de celulose na Índia, Anandhi, Chezian e Parthiban (2012) testaram diferentes arquiteturas de algoritmos RNA com diferentes números

de neurônios na camada oculta e utilizaram o algoritmo Levenberg-Marquardt Back Propagation (LMBP) para otimizar as redes. Os autores concluíram que o consumo per capita de papel aumenta todo ano, aumentando também a demanda e oferta de celulose, o que é considerado pelos autores uma oportunidade de melhoria da condição socioeconômica da população do país.

### 3.7 Análise de cointegração

As metodologias e os primeiros estudos econométricos sobre cointegração entre variáveis foram desenvolvidos no final do século XX, entre as décadas de 80 e 90 (GRANGER, 1981; GRANGER, 1983; GRANGER e WEISS, 1983; ENGLE e GRANGER, 1987). Perman (1991) reuniu publicações dos principais autores sobre o tema da cointegração e apresentou uma revisão intitulada *Cointegration: an introduction to the literature*, que discorre a respeito dos fundamentos teóricos sobre equilíbrio a longo prazo. O autor usa como exemplo a relação entre consumo (C) e renda (Y) para estabelecer os princípios de equilíbrio em séries temporais:

$$C_t = bY_t. \quad (4)$$

Assumindo que o consumo segue um padrão de equilíbrio ao longo de todo o período, a função 4 por definição pode ser reescrita:

$$C_t - bY_t = 0. \quad (5)$$

Considerando quem em condições reais C e Y não se manterão em equilíbrio perfeito em todos os momentos, é correto estabelecer um modelo que leve em conta a ocorrência de desvios:

$$C_t - bY_t = \varepsilon_t, \quad (6)$$

em que  $\varepsilon_t$  representa o erro de equilíbrio. Engle e Granger (1987) explicam que se a hipótese de equilíbrio entre variáveis implica em algum significado econômico, então o pesquisador deve esperar encontrar valores reduzidos de  $\varepsilon_t$ .

Retomando o exemplo do consumo e renda, sendo provado que há relação de equilíbrio a longo prazo entre as séries temporais, as variáveis são, portanto, ditas cointegradas, de modo que o inverso também é verdadeiro. Havendo a constatação de cointegração entre as séries

estudadas, observa-se também evidência de equilíbrio entre os processos adjacentes às séries temporais (PERMAN, 1991). Tais fundamentos são conhecidos como Teorema de Representação de Granger (GRANGER, 1983).

Como ferramenta da econometria, a análise de cointegração é essencial para provar estatisticamente teorias econômicas que formulam relações temporais entre variáveis. Se o postulado econômico afirmar a existência de relação a curto e/ou longo prazo, então as variáveis associadas devem ser cointegradas. Não sendo corroborado a relação entre as variáveis pela cointegração, então o estudo deve abranger mais variáveis para que o pesquisador possa identificar uma função que efetivamente explique o processo econômico estudado (PERMAN, 1991)

Conforme mencionado anteriormente, ainda que duas variáveis sejam cointegradas, o equilíbrio não se manterá perfeito durante todo o período. Os erros de equilíbrio são estudados por outro conjunto de metodologias definidos como modelos de correção de erro. O princípio geral é simples: o desequilíbrio que ocorre no período  $t$  é corrigido no período  $t + 1$  (ENGLE e GRANGER, 1987). Segundo Granger e Weiss (1983), a principal proposta dos modelos de correção de erro é capturar as propriedades temporais das variáveis, de tal modo a mapear a estrutura complexa do comportamento dessas variáveis em intervalo de vários  $t$  períodos, ao mesmo tempo que uma teoria econômica de equilíbrio é conectada aos resultados.

### **3.8 Dilemas econômicos em torno do desmatamento da Amazônia**

O desmatamento de formações florestais pode gerar impactos em larga escala que não se limitam ao ambiente físico. No Brasil, de acordo com estudo realizado pelo Banco Mundial, o desmatamento põe em risco os benefícios econômicos potenciais das florestas conservadas, estimados em mais de US\$ 317 bilhões por ano, estimativa sete vezes maior que o valor estimado das atividades agropecuárias, madeireiras e mineradoras (STRAND, 2022). As ações de combate ao desmatamento ilegal também respondem aos compromissos assumidos pelo Brasil no contexto do Acordo Climático de Paris: redução da emissão de gases do efeito estufa associada às mudanças na cobertura e uso do solo (HANUSCH, 2023).

Analisando os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia, Prates e Bacha (2011) destacam quatro grandes fases de ocupação do território amazônico brasileiro caracterizadas por conjecturas distintas. Na primeira fase, final do século XIX, houve forte influência internacional em função da economia da borracha que naquela época foi o grande promotor de desenvolvimento econômico da região; em um segundo momento, o governo

federal realizou intervenções pontuais dadas as incertezas econômicas que a região passava; na terceira fase o Estado brasileiro elegeu a Amazônia Legal como protagonista nas suas ações de planejamento territorial e integração com o fluxo econômico das demais partes do país; no quarto e mais recente marco histórico, as atividades produtivas e o desenvolvimento regional são promovidas com a participação em menor escala do Estado e ações mais ativas e significativas dos atores do livre mercado interno e externo.

Os planos para desenvolvimento da região amazônica abriram espaço para o desmatamento acelerado da floresta, geralmente partindo dos acessos das novas rodovias construídas. Apenas na década de 70, começaram as discussões a respeito do desmatamento da floresta amazônica a partir da cooperação científica internacional com a Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Mais tarde, na virada do século, o governo brasileiro passou a atuar ativamente com investimentos e políticas públicas de natureza conservacionista, tendo como marco o Programa de Prevenção e Combate a Desmatamentos, Queimadas e Incêndios Florestais (Florescer) implantado em 2001 (AVILA et al., 2017).

Em virtude da extensão e da importância mundial da Amazônia, Fearnside (2022) destaca que as políticas públicas de conservação da floresta amazônica brasileira passam por diversos dilemas e controvérsias sobre as alocações de recursos em projetos de desenvolvimento e conservação na região que se estende por cinco milhões de km<sup>2</sup>. O autor discorre sobre várias controvérsias de desenvolvimento *vs* sustentabilidade, como a proposta de reconstrução da rodovia BR 319, que unia Manaus – AM e Porto Velho – RO até ficar intransitável em 1988. Os argumentos para reconstrução da rodovia superestimam os benefícios econômicos e subestimam o risco da migração do “arco do desmatamento” para novas fronteiras ao norte da Amazônia (FEARNSIDE, 2022).

O desenvolvimento regional sempre é iniciado ou restringido pelos investimentos em infraestrutura. Nesse sentido, foi lançado em 1999 o programa “Avança Brasil”, constituído por 338 projetos de infraestrutura e outras atividades em todo o Brasil (BRASI, 1999). Para a Amazônia Legal, o programa previa US\$ 43 bilhões de investimento entre 2000-2007, sendo US\$ 20 bilhões para avanço em infraestruturas com impactos ambientais diretos (Tabela 1). Os interesses em torno das grandes obras exercem pressões nos bastidores sobre o processo de licenciamento que frequentemente comprometem a mitigação dos impactos: lobby para aprovação do início das obras antes da adequada avaliação e discussão sobre os desdobramentos do projeto (FEARNSIDE, 2022).

**Tabela 1** – Principais tipos de projetos de infraestrutura do programa “Avança Brasil” na Amazônia Legal.

Tipo de projeto	Nº	Extensão/Potencial	Custo (US\$ milhões)
Pavimentação de rodovias	30	7.560 km	2.794
Melhorias de trechos rodoviários	3		46
Melhorias de estradas agrícolas	6	1.023 km	290
Ferrovias	4	1.625 km	1.749
Gasodutos	2	920 km	450
Hidrovias	2	1.057 km	55
Eclusas em hidrelétricas	2		254
Represas de hidrelétricas	10	20,4 MW	11.942
Linhas de transmissão	12	4.830 km	651

Fonte: adaptado de Consórcio Brasileira (2000).

A partir dos muitos estudos sobre os impactos do desmatamento e mudança na concepção mundial sobre o valor das florestas, houve uma tendência de arrefecimento do corte raso da floresta amazônica na medida que as formações florestais começaram a ser tratadas como ativos com valor real (CARPENTIER et al., 2000). A criação de um novo mercado caracterizado pelo pagamento por serviços ambientais, abriu oportunidade de remuneração aos proprietários rurais, empresas ou mesmo ao Estado apenas por promover a conservação.

## CAPÍTULO 1

### MODELAGEM DA PRODUÇÃO DO SETOR FLORESTAL BRASILEIRO: MODELO ARIMA VS REDES NEURAIAS

**Resumo** – O objetivo desta pesquisa foi comparar o método ARIMA com redes neurais em análises de séries temporais de produtos florestais brasileiros. Os dados das séries temporais da produção brasileira de carvão vegetal, celulose e painéis foram coletados na base da FAO, compreendendo o período de 1961 a 2019. Os desempenhos dos modelos ARIMA e das redes neurais artificiais foram avaliados por meio da raiz quadrada do erro médio quadrático, erro médio absoluto e pela estatística U-Theil. O ajuste de modelos ARIMA apresentou algumas dificuldades em relação aos pressupostos, limitação que não existe com a modelagem por RNA. A capacidade preditiva e acurácia dos modelos ARIMA foi bastante similar a das redes, entretanto, o método ARIMA fornece projeções mais condizentes com a tendência histórica das séries estudadas. Apesar do padrão recente de produção de carvão vegetal ser muito variável no Brasil, em média espera-se a estabilização ou lenta redução da produção, que pode ser intensificada em resposta aos efeitos da pandemia da covid 19. Os cenários mais otimistas de acelerado crescimento projetados para a produção de celulose e painéis seriam totalmente viáveis considerando as vantagens competitivas do país. Porém, assim como o carvão vegetal, a celulose e painéis também devem passar por alguma retração na produção em decorrência do enfraquecimento da economia mundial.

**Palavras-chave:** economia brasileira, mercado florestal, projeção de mercado, series temporais.

### PRODUCTION MODELING OF THE FORESTRY BRAZILIAN MARKET: ARIMA MODEL VS NEURAL NETWORKS

**Abstract** – The objective of this research was to compare the ARIMA method with neural networks in time series analysis of brazilian forest products. The time series data of brazilian production of charcoal, cellulose and panels were collected from the FAO database, covering the period from 1961 to 2019. The performance of the ARIMA models and artificial neural networks were evaluated using the square root of the average error quadratic, mean absolute error and by the U-Theil statistic. The adjustment of ARIMA models presented some difficulties

in relation to the assumptions, a limitation that does not exist with networks modeling. The predictive capacity and accuracy of the ARIMA models was quite similar that of the networks, however, the ARIMA method provides projections that are more consistent with the historical trend of the series studied. Although the recent pattern of charcoal production is highly variable in Brazil, on average production is expected to stabilize or slow down, which may be intensified in response to the covid 19 pandemic effects. The most optimistic scenarios of projected accelerated growth for the cellulose and panels production would be totally viable considering the country's competitive advantages. However, like charcoal, cellulose and panels can also have some production retraction as a result the weakening of the world economy.

**Keywords:** Brazilian economy, forest market, market projection, time series.

## 1 INTRODUÇÃO

Em um país como o Brasil, onde recursos naturais são abundantes e o pilar da economia é o agronegócio, o setor florestal ocupada posição de destaque nacional e mundial. Em 2019, a cadeia produtiva do setor florestal brasileiro gerou uma receita bruta de R\$ 97,4 bilhões (incremento de 12,6% em relação 2018), representando 1,2% do produto interno bruto (PIB) nacional e gerando 3,75 milhões de empregos (IBÁ, 2020).

Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2021), em 2020 a comercialização dos produtos florestais foi responsável por 11,34% da receita das exportações do agronegócio, ficando em terceiro lugar atrás das exportações de soja e de proteína animal. No cenário mundial, o Brasil tem sido nos últimos anos o maior exportador de celulose, tendo como principal destino a China e os Estados Unidos (IBÁ, 2020).

Dada a importância do setor para o PIB e para a balança comercial do país, é interessante analisar o possível direcionamento para os próximos anos com base no histórico. Para tal fim, a análise de séries temporais é bastante consolidada, cujos métodos preconizam a modelagem parcimoniosa do mecanismo estocástico de séries observadas para projetar valores futuros com elevada taxa de acurácia (MCLEOD, 1993; BISGAARD e KULAHIC, 2009; CRYER e CHAN, 2008). Ao nível mais teórico, Madsen (2007) descreve uma série temporal como apenas a observação do resultado de um processo estocástico, ou seja, a medição da realização de vários fatores aleatórios que não são estudados diretamente.

Dentro das possibilidades de técnicas para análise de séries temporais, o modelo autorregressivo e de médias móveis – ARMA( $p,q$ ) é o mais tradicional. O ajuste de um modelo ARMA é realizado aplicando-se a metodologia de Box e Jenkins (1976), que consiste em

identificar as ordens de  $p$  e  $q$  com base nas observações, visto que, conforme explica Choi (2012), as verdadeiras ordens são desconhecidas à priori.

Nas últimas décadas, com o avanço tecnológico e de acessibilidade aos recursos computacionais, a utilização de algoritmos poderosos se tornou recorrente na modelagem de séries temporais. As redes neurais artificiais (RNA), que são metaheurísticas cujo princípio é baseado no funcionamento de neurônios biológicos (ESKOV et al., 2019), estão entre os algoritmos mais presentes na literatura de series temporais (TEALAB,2018). Pesquisas como a de Mishra et al. (2018), Wang et al. (2018) e Grafa, Zhub e Sivakuma (2019), são exemplos da capacidade de predição e da versatilidade das RNAs para a criação de novas abordagens para modelagem de series temporais.

Enquanto o modelo ARMA é uma metodologia essencialmente estatística e de predição linear, as RNA são fruto de processos de aprendizagem de máquina para modelagens não lineares, constituindo, assim, dois métodos completamente distintos. Comparar resultados de processos diferentes contribuí tanto para contornar dificuldades inerentes às séries de dados, como para ratificar projeções. Partindo desse princípio, o objetivo desta pesquisa foi comparar o método ARIMA (autorregressivo integrado e de médias móveis) com RNA em análises de séries temporais de produtos florestais brasileiros.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Base de dados**

Os dados foram coletados na base da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2021), compreendendo o período de 1961 a 2019. As séries temporais analisadas foram a produção brasileira de carvão vegetal – código de item 1630, celulose – código de item 1656 e painéis/aglomerado – código de item 1640 e 1648 (MDF/HDF e compensado).

### **2.2 Seleção e avaliação dos modelos ARIMA**

Em um primeiro momento, o conjunto de dados foi dividido em conjunto de treino com 54 observações (1961-2014) e conjunto de teste com 5 observações (2015-2019). O objetivo foi avaliar o desempenho das metodologias em um conjunto de dados desconhecido e identificar eventual ocorrência de *overfitting*.

Para a análise tradicional de séries temporais foi empregada a metodologia de Box-Jenkins para estimar os parâmetros de modelos ARIMA, conforme descrito em Box et al. (2016) para o estabelecimento do seguinte modelo teórico (1):

$$Y_t = \mu + \theta_1 Y_{t-1} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \alpha_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}, \quad (1)$$

em que  $Y$  é a valor atual da variável de interesse no tempo  $t$ ,  $\mu$  é a média das observações,  $\theta$  e  $\alpha$  são os coeficientes do modelo,  $Y_{t-1}$  e  $Y_{t-p}$  é o valor da variável  $Y$  com uma defasagem e com  $p$  defasagens, respectivamente,  $\varepsilon_{t-1}$  e  $\varepsilon_{t-q}$  são os desvios com uma defasagem e com  $q$  defasagens, respectivamente, e  $\varepsilon_t$  representa os resíduos do modelo.

De modo a selecionar os melhores modelos ARIMA, primeiro foi determinado a ordem de integração mínima –  $I(d)$  referente ao número de diferenças necessárias para que as séries fossem estacionárias, aplicado o teste ADF com *drift* (Dickey e Fuller, 1979). Em seguida, foi definido um ponto de partida para a ordem do componente autorregressivo ( $p$ ) e de médias móveis ( $q$ ) do processo  $ARIMA(p,d,q)$  com base nas funções de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF). Em uma terceira etapa, os dois melhores modelos ARIMA para cada série estudada foram pré-selecionados levando em consideração o Critério de Informação de Akaike (AIC), Critério de Informação Bayesiano (BIC) e os testes  $z$  para verificar a significância dos coeficientes. A estimação dos coeficientes das equações foi realizada por meio do método da máxima verossimilhança.

A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada aplicando-se o teste de Ljung-Box (1978) para autocorrelação dos resíduos, teste do multiplicador de Lagrange para heterocedasticidade condicional autorregressiva e teste de Jarque-Bera (JARQUE e BERA, 1987) para normalidade dos resíduos. Para todos os testes de hipótese foi considerado o nível de significância de 5%.

### 2.3 Treinamento das redes neurais artificiais (RNA)

Primeiro determinou-se a ordem  $p$  com base na mesma PACF empregada para o ajuste dos modelos ARIMA. Posteriormente, a quantidade de neurônios na camada oculta foi definida inicialmente com base no método Fletcher-Gloss (SILVA et al., 2010) por meio da equação 2.

$$(2 \cdot \sqrt{n} + n_2) \leq n_1 \leq (2 \cdot n + 1), \quad (2)$$

em que  $n$  é o número de neurônios na camada de entrada,  $n_2$  é o número de neurônios na camada de saída e  $n_1$  é o número de neurônios na camada oculta. Para o mapeamento dos valores de entrada nos neurônios da camada oculta foi utilizada a função de ativação logística (SHMUELI e LICHTENDAHL JR., 2016), enquanto para a otimização do treinamento foi empregado o método Quasi-Newton implementado pelo algoritmo *BFGS*. Foram então simuladas 1000  $RNA(p, n_1)$  com pesos iniciais aleatórios diferentes e 150 a 200 iterações, a partir das quais foi calculada a média para cada período. Na rede da série do carvão vegetal também foi adicionada uma taxa de decaimento dos pesos ( $\lambda$ ) de 1,8.

#### 2.4 Comparação ARIMA vs RNA

O desempenho dos modelos ARIMA foi comparado com as RNA em relação aos seus respectivos erros medidos pela raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e pelo erro médio absoluto (MAE) de acordo com as equações 3 e 4, respectivamente.

$$RMSE = (\bar{Y}^{-1} \cdot \sqrt{n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}) \cdot 100, \quad (3)$$

$$MAE = (\bar{Y}^{-1} \cdot (n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}|)) \cdot 100, \quad (4)$$

sendo  $\bar{Y}$  a média das observações,  $n$  o tamanho da amostra,  $y_i$  os valores observados e  $\hat{y}$  os valores preditos. As metodologias também foram comparadas quanto ao valor da estatística U-Theil, calculada pela equação 5 (WONGOUTONG, 2021).

$$U - Theil = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n-1} \left( \frac{\hat{y}_{t+1} - y_{t+1}}{y_t} \right)^2}{\sum_{t=1}^{n-1} \left( \frac{y_{t+1} - y_t}{y_t} \right)^2}}, \quad (5)$$

em que  $\hat{y}_{t+1}$  é o valor predito para o tempo  $t + 1$ ,  $y_{t+1}$  é o valor observado no tempo  $t + 1$  e  $y_t$  é o valor observado no tempo  $t$ .

#### 2.5 Projeção

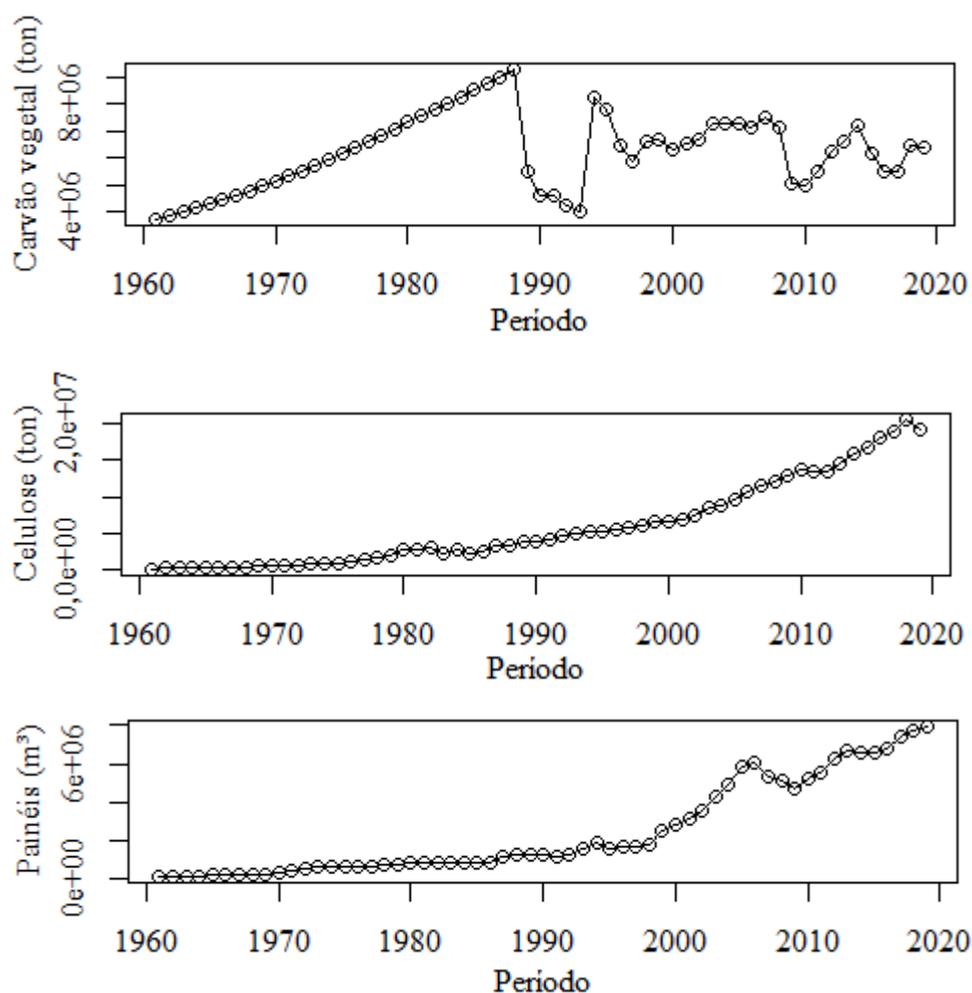
Após a seleção dos modelos cujas medidas de erro e estatística U-Theil foram mais baixas, repetiu-se o ajuste com o conjunto de dados completo de cada série, ou seja, agregando todo período de 1961 a 2019. De posse dos modelos reajustados, foram geradas projeções da

produção de carvão vegetal, celulose e painéis para os próximos dez anos. Por fim, utilizou-se o filtro de Hodrick e Prescott (1997) para extrair as tendências das séries e observar se as projeções são compatíveis com as tendências históricas. Todas as análises foram realizadas no software *R* (R CORE TEAM, 2020), utilizando os pacotes *psych*, *forecast*, *urca*, *lmtest*, *FinTS* e *normtest*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Breve análise de mercado

Observando as séries históricas (Figura 1), verifica-se que a produção de celulose e de painéis no Brasil segue um padrão muito similar de predominante crescimento, enquanto a produção de carvão vegetal possui um histórico peculiar que parece representar duas fases claramente distintas marcadas pelo pico de produção no ano de 1988 (Tabela 1).



**Figura 1** – Séries históricas de produção de carvão vegetal, celulose e painéis durante o período de 1961-2019 no Brasil.

**Fonte:** adaptado de FAO (2021).

O padrão da série histórica da produção de carvão vegetal reflete de forma destacada o período de incentivos fiscais para o reflorestamento no Brasil, que ocorreu entre o período de 1966 a 1986. Apesar do término dos incentivos ter desacelerado a ampliação da área com reflorestamentos, não houve extinção da atividade, conforme acreditava-se na época (BACHA, 2008). A série da produção de celulose brasileira manteve-se com crescimento consistente como resultado da consolidação do produto nacional no mercado internacional. O vale que se verifica no ano de 2009 na série histórica da produção nacional de painéis e compensados coincide com a crise mundial de 2008, causada pela bolha imobiliária americana (CECHIN e MONTROYA, 2017; POZZI, 2017; ALVES, 2018), mercado que tradicionalmente é o principal consumidor de painéis e compensados (IBÁ, 2020).

Seguindo a lógica do padrão de crescimento, os picos de produção de celulose e painéis ocorrem em um passado recente, nos anos de 2018 e 2019, respectivamente, com alta variabilidade durante o período analisado em ambos os casos. Em consequência da clara presença de tendência nas séries de celulose e painéis, o teste ADF para raiz unitária indicou não estacionaridade nas séries originais, sendo ambas de ordem I(1) em relação a integração. No caso da série do carvão vegetal, apesar de haver clara tendência entre os anos de 1961 a 1988, a série foi identificada como estacionária, apresentando uma variabilidade relativamente baixa (Tabela 1).

**Tabela 1** – Resumo da análise descritiva e estacionaridade das séries avaliadas no período de 1961-2019.

Parâmetro	Carvão vegetal (ton)	Ano	Celulose (ton)	Ano	Painéis (m <sup>3</sup> )	Ano
Máximo	9286079	1988	20524000	2018	7910000	2019
Mínimo	3731632	1961	165200	1961	190000	1961
Amplitude	5554447		20358800		7720000	
Média	6230453		6007071		2499154	
CV* (%)	22,63		96,98		98,13	
I**	0		1		1	

\*Coeficiente de variação. \*\*Ordem de integração considerando o teste ADF a 5% de significância.

**Fonte:** resultados da pesquisa.

Sabe-se que a produção de um produto é determinada por diversos fatores, com destaque para demanda, preço de mercado e dos fatores de produção. A série de produção de carvão vegetal atrai atenção devido ao seu padrão errático, sendo totalmente ligada à história brasileira. Segundo Brito (1990), até 1972 a biomassa florestal era a principal fonte de energia do país, ficando em segundo lugar em 1973 e em terceiro lugar a partir de 1978, passando a ficar atrás

do petróleo e da energia elétrica. O autor ainda afirma que a maior parte da energia de biomassa florestal no Brasil é utilizada na forma de carvão vegetal, sendo destinado principalmente para as siderurgias. Duboc et al. (2007) discorre sobre a transição do abastecimento de carvão vegetal pelas florestas equiâneas em detrimento das florestas nativas por decorrência do decreto federal nº 97.628 de 1989, que obrigava o estabelecimento de suprimento próprio em caso de consumo superior a 12 mil estéreos ano<sup>-1</sup>, o que gerou uma queda na produção de carvão de florestas nativas.

Nos últimos anos, o Brasil se consolidou como o segundo maior produtor de celulose do mundo, com quase 60 fábricas distribuídas por todas as regiões do país que operam principalmente na produção de celulose de fibra curta (IBÁ, 2020). De acordo com Hora (2017), a indústria de celulose de fibra curta no Brasil e no mundo é caracterizada por oligopólio competitivo, em que as quatro maiores empresas detinham 43% do mercado global no ano avaliado. Em 2019, foi consolidada a fusão das empresas brasileiras Suzano Papel e Celulose e Fibria, dando origem a maior produtora de celulose do mundo: a Suzano S/A (SUZANO, 2021).

Na indústria de painéis, o Brasil vem se mantendo entre os dez maiores produtores mundiais, cuja maior parte da produção é concentrada na região sul e sudeste do país (IBÁ, 2020). Biazus, Hora e Leite (2010) destacam que o parque industrial brasileiro é um dos mais avançados do mundo, caracterizados pelo uso de prensas contínuas, as quais operam sob menor consumo de matéria prima, menor perda no processo de lixamento, menor custo com mão de obra e menor consumo de energia.

### **3.2 Seleção e comparação dos modelos ARIMA**

Analisando a ACF e PACF sobre os dados de treino das séries em condição estacionária e considerando todas as *lags* que foram significativas, constatou-se que para o carvão vegetal os resultados sugerem um modelo autorregressivo ( $p$ ) de ordem 2 e médias móveis ( $q$ ) de ordem 3. Na série de celulose com a primeira diferença, a ACF e PACF indicaram um modelo de ordem  $p = 1$  e  $q = 1$ , enquanto para a série de painéis esperava-se um modelo de ordem  $p = 4$  e  $q = 1$ .

Na prática, Hannan (1980) demonstra que a ordem de um modelo ARMA, ou neste caso ARIMA, pode ser estimada com base em metodologias que ponderam a qualidade de ajuste em função da quantidade de parâmetros utilizados no modelo, como é o caso do Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC). Em resumo, esses critérios penalizam a inclusão de parâmetros no modelo, de modo a possibilitar a seleção do

modelo mais parcimonioso. Há na literatura outras propostas para estimação da ordem do processo ARMA, a exemplo do estudo de Liang, Wilkes e Cadzow (1993) que propuseram um critério de seleção a partir dos autovalores da matriz de covariância, ou na proposição de Haseyama e Kitajima (2001) que deduziram um método baseado na lógica *fuzzy*.

Todos os modelos apresentaram resíduos independentes de acordo com o teste de Ljung-Box (Tabela 2). Em contrapartida, nenhum dos ajustes apresentou resíduos com distribuição normal. Não obstante, os modelos para a série de painéis também apresentaram problema quanto a estacionaridade de variância.

**Tabela 2** – Valores de AIC, BIC e p-valores dos testes Ljung-Box (LB), multiplicador de Lagrange (L) e Jarque-Bera (JB) sobre o conjunto de dados de treino.

Série	Modelo	AIC	BIC	BL	L	JB
Carvão vegetal	ARIMA (1,0,0)	1637	1643	0,6096	0,5545	<0,0001
Carvão vegetal	ARIMA (0,1,0)	1607	1609	0,4173	0,4517	<0,0001
Celulose	ARIMA (0,2,1)	1489	1493	0,7674	0,2485	0,0105
Celulose	ARIMA (1,1,1)	1520	1526	0,7969	0,2567	0,0140
Painéis	ARIMA (1,1,0)	1476	1480	0,2074	0,0229	0,0055
Painéis	ARIMA (0,2,3)	1450	1458	0,4109	0,0103	0,0005

**Fonte:** resultados da pesquisa.

Embora o modelo ARIMA (0,1,0) tenha apresentado menores valores de AIC e BIC, não faz sentido realizar previsões apenas em função da média, sendo, portanto, o modelo ARIMA (1,0,0) mais adequado para modelar a série do carvão vegetal. Para a produção de celulose, o ajuste ARIMA (0,2,1) se mostrou mais parcimonioso, do mesmo modo como o modelo ARIMA (0,2,3) foi para a série de painéis.

A verificação da ocorrência de autocorrelação serial, ou seja, correlação entre as observações de uma variável (GAYNOR e KIRKPATRICK, 1994), é uma avaliação essencial do ajuste de modelos de regressão em geral. Antunes e Cardoso (2015) explicam que havendo autocorrelação serial, o pressuposto básico de independência dos resíduos é invalidado, resultando na superestimação das medidas de qualidade de ajuste e viesando as estimativas dos coeficientes do modelo. Por ser comum a presença de autocorrelação em séries temporais, modelos de regressão linear simples são inadequados para esse tipo de análise, visto que são vulneráveis à dados com esse tipo de característica (GARCIA e TRAEBERT, 2018).

Modelos econométricos tradicionais assumem o importante pressuposto de variância constante para todo o período (ENGLE, 1982). Breusch e Pagan (1979) afirmam que em modelos lineares generalizados nem sempre a homocedasticidade assumida é verdade, o que leva a perda de eficiência na estimação por mínimos quadrados ordinários e erros de inferência.

Como modelos ARIMA são lineares, os resíduos devem ser do tipo ruído branco, ou seja, apresentaram média zero e variância constante (MORETTIN, 2017).

Se o modelo autoregressivo ajustado fornece previsões realmente próximas dos valores reais, supõe-se que os resíduos sejam independentes, homogêneos e normalmente distribuídos com média zero e variância constante [ $\varepsilon \stackrel{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$ ], caracterizando-os como ruído branco (SÁFADI, 2004; CRYER e CHAN, 2008). É importante destacar que embora os resíduos dos modelos ajustados não tenham apresentado distribuição normal considerando o nível de significância adotado na presente pesquisa, os p-valores do teste Jarque-Bera não foram tão baixos para as séries de celulose e painéis.

Observando os resultados dos ajustes das equações, nota-se a dificuldade de atender de forma ideal os pressupostos para a utilização do processo ARIMA. Tal fato explica o porquê as RNA vem sendo frequentemente empregas em análises de séries temporais, visto que são métodos não lineares bastante flexíveis. Existem na literatura outras alternativas de modelos que lidam com variância condicional crescente no tempo, como é o caso dos modelos ARCH (autoregressive conditional heteroscedasticity) introduzidos por Engle (1982).

### 3.3 Comparação ARIMA vs RNA

Analisando os erros do conjunto de treino e de teste (Tabela 3), pode-se verificar que, com exceção do modelo ARIMA (0,1,0), nenhum dos ajustes demonstrou haver *overfitting*. Além disso, a maioria dos modelos possuem poucos parâmetros, simplificando o ajuste e minimizando o custo computacional.

**Tabela 3** – Raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e erro médio absoluto (MAE) dos modelos para o conjunto de treino e de teste.

Série	Modelo	RMSE <sup>1</sup>	RMSE <sup>2</sup>	MAE <sup>1</sup>	MAE <sup>2</sup>	U-Theil
		(%)				
Carvão vegetal	ARIMA (1,0,0)	13,93	15,08	8,62	12,55	1,59
Carvão vegetal	ARIMA (0,1,0)	14,46	21,70	7,42	20,61	2,35
Celulose	ARIMA (0,2,1)	7,75	6,04	5,13	4,78	0,98
Celulose	ARIMA (1,1,1)	7,81	6,67	5,24	5,53	1,08
Painéis	ARIMA (1,1,0)	12,51	11,48	7,41	9,28	2,36
Painéis	ARIMA (0,2,3)	11,89	7,33	6,92	6,18	1,51
Carvão vegetal	RNA (1,2)	14,10	14,68	10,43	12,45	1,56
Celulose	RNA (1,2)	7,12	5,71	4,68	4,59	0,93
Painéis	RNA (1,3)	11,18	8,31	6,44	6,79	1,71

<sup>1</sup>Conjunto de treino; <sup>2</sup>Conjunto de teste.

**Fonte:** resultados da pesquisa.

O *overfitting* ou super-ajuste implica em baixa taxa de erro de predição sobre dados de treinamento e alta taxa de erro em dados de teste. O *overfitting* é especialmente comum em algoritmos complexos de aprendizagem de máquina com muitos parâmetros, que se tornam altamente especializados em uma amostra conhecida (SRIVASTAVA et al., 2014, VON NEUMANN, 2016; YING, 2019).

No caso de RNA, Botelho (2014) explica que quando uma rede possui muitos parâmetros, o processo de aprendizagem tende a absorver os ruídos dos dados de treinamento, gerando em consequência a elevação do erro de predição para padrões desconhecidos. O autor indica que a inclusão de uma taxa de decaimento ( $\lambda$ ) dos pesos pode simplificar a rede ao aproximar para zero os valores de pesos cuja influência sobre a rede é baixa, os quais são ditos pesos excessivos e são responsáveis pela limitação da capacidade de generalização da RNA. Com indícios de *overfitting* nos testes iniciais da RNA para a série de produção de carvão vegetal, foi necessária adotar um  $\lambda$  igual a 1,8 para melhorar a generalização da rede, o que também melhorou o valor da estatística U-Theil.

Com a utilização da estatística U-Theil, segundo Cas (2018) é possível comparar a capacidade preditiva do modelo ajustado com a previsão dita ingênua, que considera a previsão do valor futuro igual ao valor atual. A estatística U-Theil varia de zero ao infinito, sendo que zero representa um ajuste perfeito e 1 indica que os erros do modelo são equivalentes aos da previsão ingênua. Nesse sentido, apenas as previsões para a série de produção de celulose com ARIMA e RNA foram superiores ao método ingênuo quanto a acurácia.

### **3.4 Previsão**

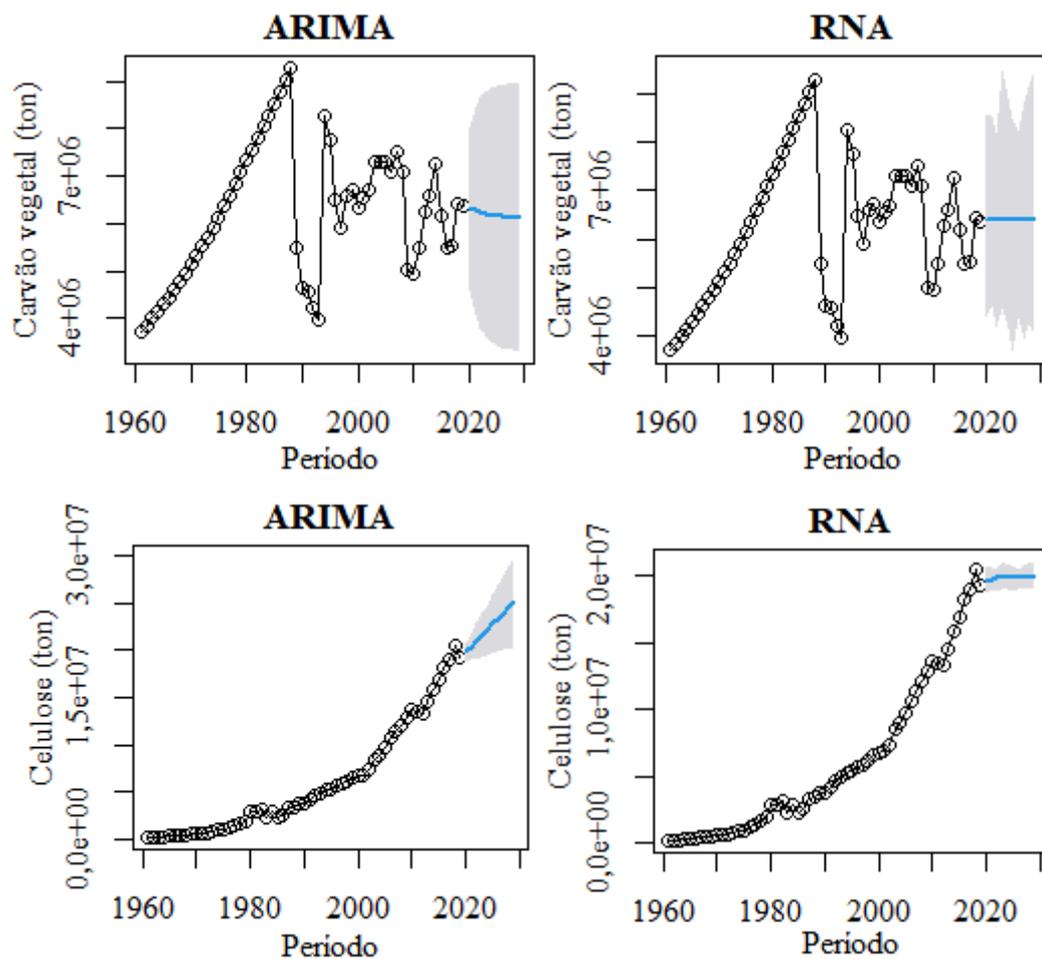
Devido ao padrão errático dos dados de produção histórica de carvão vegetal, a modelagem dessa série apresentou os erros mais elevados (Tabela 4) e intervalo de confiança com variabilidade muito maior que as demais séries (Figura 2). Ainda que o desempenho do método ARIMA e da RNA tenham sido similares em termos de precisão para todas as séries analisadas, as projeções para os próximos dez anos geradas pelos modelos ARIMA parecem mais compatíveis com as tendências de produção de cada produto (Figura 3).

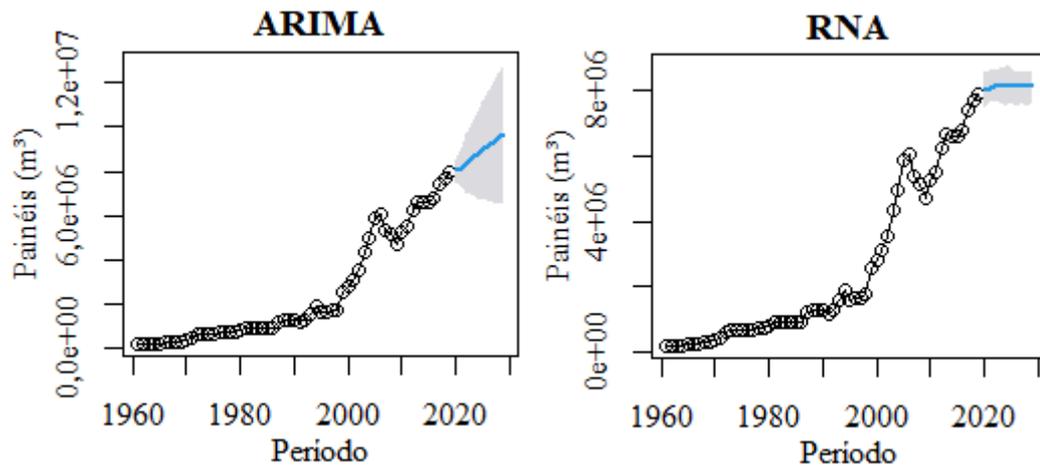
**Tabela 4** – Raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e erro médio absoluto (MAE) dos modelos selecionado para analisar o período de 1961-2019.

Série	Modelo	Equação	RMSE	MAE
			(%)	
Carvão vegetal	ARIMA(1,0,0)	$\hat{Y}_t = 6090397,4^* + 0,8009*Y_{t-1}$	13,66	8,68
Carvão vegetal	RNA(1,2)		13,80	10,27
Celulose	ARIMA(0,2,1)	$\hat{Y}_t = -0,8818*\varepsilon_{t-1}$	7,98	4,99
Celulose	RNA(1,2)		6,35	4,47
Painéis	ARIMA(0,2,3)	$\hat{Y}_t = -0,5361*\varepsilon_{t-1} - 0,0483\varepsilon_{t-2} - 0,3340\varepsilon_{t-3}$	9,72	5,88
Painéis	RNA(1,3)		9,10	5,48

\*Significativo de acordo com o teste z a 5% de significância.

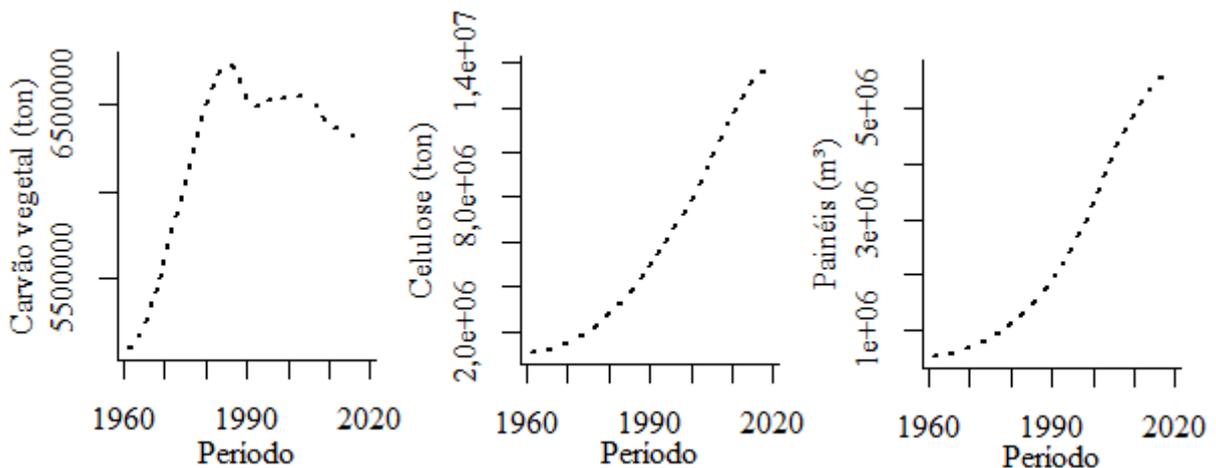
Fonte: resultados da pesquisa.





**Figura 2** – Projeções para dez anos dos modelos ARIMA e RNA representadas pela linha sem pontos. A região acinzentada indica os intervalos de confiança a 95%.

**Fonte:** resultados da pesquisa.



**Figura 3** – Tendências das séries históricas de produção de carvão vegetal, celulose e painéis no período de 1961-2019 extraídas pelo filtro de Hodrick e Prescott.

**Fonte:** resultados da pesquisa.

Embora a produção brasileira de aço esteja em crescimento de acordo com dados da World Steel Association (2021) e a maior parte do carvão vegetal seja consumido pela indústria siderúrgica nacional (IBÁ, 2020), a participação desse insumo na geração de energia no Brasil tem perdido espaço para o gás natural e energia eólica (EPE, 2019).

Além das mudanças na base energética brasileira, existe um esforço em pesquisas com melhorando florestal para o desenvolvimento de materiais genéticos superiores para a produção de carvão vegetal com maior poder calorífico e de melhor qualidade, fator que contribui para ganho de eficiência nos altos fornos.

Normalmente, sem variações muito grandes no preço do carvão de coque, a produção de carvão vegetal não deveria ultrapassar as margens previstas nesta pesquisa. No entanto, como o carvão vegetal está inserido em uma cadeia fortemente afetada pela pandemia de covid 19, especialmente a indústria e comércio de veículos (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2021; STATISTA, 2021), podem ocorrer retrações na produção de carvão de origem vegetal mais intensas que a projeção.

No mercado mundial de celulose, o Brasil vem se destacando por conta das excelentes condições edafoclimáticas e avançada tecnologia empregada na cadeia produtiva. Conforme aponta a ABRAF (2013), a produtividade em território brasileiro para plantios de folhosas e coníferas é superior a todos os demais países produtores, chegando a superar em 40% a China, que ocupa a segunda posição. O setor brasileiro de celulose de fibra curta também tem conseguido manter seu custo abaixo de seus competidores (CGEE, 2016), o que evidentemente aumenta a competitividade no mercado internacional.

Somando as características competitivas nacionais à consolidação da Suzano S/A como a maior produtora mundial de celulose, é viável que a projeção de produção de celulose pela indústria brasileira mantenha o ritmo de crescimento dos últimos anos. Entretanto, ainda que o custo nacional da produção de celulose seja altamente competitivo, o aumento do custo do setor florestal tem aumentado no país de forma acelerada desde o início dos anos 2000, ao ponto da inflação do setor superar em muito o índice da economia brasileira (SILVA, BUENO e NEVES, 2017). Certamente o custo crescente é o principal desafio para a manutenção do ritmo de evolução da produção de celulose no Brasil, bem como a pandemia de 2020 que impôs ao setor nacional grande impacto segundo o Ministério da Economia (2020).

Em sua pesquisa, Sanquetta et al. (2020) apontam que as exportações superaram as importações no mercado brasileiro no período de 1961 a 2016, gerando um balanço comercial positivo. Os autores ainda destacam que houve uma mudança no padrão consumo dos brasileiros, dando maior atenção aos móveis e outros produtos à base de madeira reconstituída, especialmente produzidos com MDF.

Ainda que o setor de movelaria não seja citado nos levantamentos de impacto da covid 19 na indústria, é pouco provável que o comércio de móveis e outros itens à base de painéis não sofram nenhum reflexo da perda de renda da população em geral. Portanto, é possível que a produção de painéis não atinja resultados otimistas como projetado pelo modelo ARIMA.

## 4 CONCLUSÕES

O ajuste de modelos ARIMA para as séries anuais de produção de carvão vegetal, celulose e painéis apresentou algumas dificuldades em relação aos pressupostos, limitação que não existe com a modelagem por RNA. A capacidade preditiva e acurácia dos modelos ARIMA foi bastante similar a das redes, entretanto, o método ARIMA fornece projeções mais condizentes com a tendência histórica das séries estudadas.

Apesar do padrão recente de produção de carvão vegetal ser muito variável no Brasil, em média espera-se a estabilização ou lenta redução da produção, que pode ser intensificada em resposta aos efeitos da pandemia da covid 19. Os cenários mais otimistas de acelerado crescimento projetados para a produção de celulose e painéis seriam totalmente viáveis considerando as vantagens competitivas do país. Porém, assim como o carvão vegetal, a celulose e painéis também devem passar por alguma retração na produção em decorrência do enfraquecimento da economia mundial.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio na forma de concessão de bolsa de doutorado – código de financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013.

ALVES, J. A. B. Alguns ensinamentos da crise financeira norte-americana de 2008. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v.4, n.1, p. 28-40, 2018.

ANTUNES, J. L. F.; CARDOSO, M. R. A. Uso da análise de séries temporais em estudos epidemiológicos. **Epidemiol. Serv. Saúde**, v.24, n.3, p. 565-576, 2015.

BACHA, C. J. C. Análise da evolução do reflorestamento no Brasil. **Rev. de Economia Agrícola**, v. 55, n. 2, p. 5-24, 2008.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, n.32, p.49-90, 2010.

BISGAARD, S.; KULAHCI, M. Quality Quandaries\*: time series model selection and parsimony. **Quality Engineering**, v.21, n.3, p.341–353, 2009.

BOTELHO, A. C. O. P. Algoritmo evolutivo com inspiração quântica, representação mista e decaimento de pesos aplicado a neuroevolução. **Internal Research Reports**, n.35, 2014.

BOX, G. E. P.; JENKINS, J. M. **Time Series Analysis: Forecasting and control**. 2 ed. San Francisco: Holden-Day, 1976.

BOX, G. E.P.; JENKIS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. **Time series analysis**. 5 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A Simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. **Econometrica**, v.47, n.5, p.1287–1294, 1979.

BRITO, J.O. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais. **Estudos Avançados**, v.4, n.9, p.221-227, 1990.

CAS, C. G. Aplicação do modelo ARIMA para a previsão do preço da commodity milho. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v 13, 1, p.263-27, 2018.

CECHIN, A.; MONTOYA, M. A. Origem, causas e impactos da crise financeira de 2008. **Teoria e Evidência Econômica - Ano 23**, n. 48, p. 150-171, 2017.

CGEE. **Centro Tecnológico em Celulose e Papel – Proposta de criação**. Brasília: CGEE, 2016.

CHOI, B. **ARMA model identification**. New York: Springer-Verlag, 1992. 200 p.

CRYER, J. D.; CHAN, K.S. **Time series analysis: with applications in R**. 2 ed. New York: Spriger, 2008. 491 p.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v.74, n.366a, p. 427-431, 1979.

DUBOC, E.; COSTA, C. J.; VELOSO, R. F.; OLIVEIRA, L. S.; PALUDO, A. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019**: Ano base 2018. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

ENGLE, R. F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom Inflation. **Econometrica**, v.50, n.4, p.987–1007, 1982.

ESKOV, V. M.; PYATIN, V. F.; ESKOV, V. V.; ILYASHENKO, L. K. The heuristic work of the brain and artificial neural networks. **Biophysics**, v.64, n.2, p.293–299, 2019.

FAO. **Forestry Production and Trade**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>>. Acesso em: 26 de março de 2021.

GARCIA, L. P.; TRAEBERT, J. L. Impacto da autocorrelação na análise temporal dos coeficientes de mortalidade pelo HIV no Brasil. **Rev. bras. epidemiol.**, v. 21, 2018.

GAYNOR, P.E.; KIRKPATRICK, R.C. **Introduction to time series modeling and forecasting in business and economics**. New York: McGraw-Hill, 1994.

GRAF, R; ZHU, S; SIVAKUMAR, B. Forecasting river water temperature time series using a wavelet–neural network hybrid modelling approach. **Journal of Hydrology**, v.578, 2019.

HANNAN, E. J. The estimation of the order of an ARMA process. **The Annals of Statistics**, v.8, n.5, p.1071–1081, 1980.

HASEYAMA, M.; KITAJIMA, H. An ARMA order selection method with fuzzy reasoning. **Signal Processing**, v.81, n.6, p.1331–1335, 2001.

HODRICK, R. J.; PRESCOTT, E. C. Postwar U.S. Business cycles: an empirical investigation. **Journal of Money, Credit and Banking**, v.29, n.1, p.1-16, 1997.

HORA, A. B. Panoramas setoriais 2030: papel e celulose. In: BNDES. **Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. p. 79-91.

IBÁ. **Relatório anual 2020**. Brasília: IBÁ, 2020.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. **International Statistical Review**, v.55, p.163–172, 1987.

LIANG, G.; WILKES, D.M.; CADZOW, J.A. ARMA model order estimation based on the eigenvalues of the covariance matrix. **IEEE Transactions on Signal Processing**, v.41, n.10, p.3003–3009, 1993.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, v.65, p.297–303, 1978.

MAPA. AGROSTAT – **Estatística de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 07 de abril de 2021.

MADSEN, H. **Time series analysis**. New York: CRC Press, 2007. 400p.

MCLEOD, A. I. Parsimony, model adequacy and periodic correlation in time series forecasting. **International Statistical Review**, v. 61, n. 3, p. 387-39, 1993.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Portaria N° 20.809, de 14 de setembro de 2020. Lista os setores da economia mais impactados pela pandemia após a decretação da calamidade pública decorrente do Covid-19. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 set. 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/economia/pt-br>>. Acesso em: 16 de abril de 2021.

MISHRA, N.; SONI, H. K.; SHARMA, S.; UPADHYAY, A. K. Development and analysis of artificial neural network models for rainfall prediction by using time-series data. **International Journal of Intelligent Systems & Applications**, v.10, n.1, p.16-23, 2018.

MORETTIN, P. A. **Econometria financeira: um curso em séries temporais financeiras**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2017. 420p.

POZZI, S. **Bolha imobiliária: dez anos do gatilho da crise que parou o mundo**. Disponível em: <[https://brasil.elpais.com/brasil/2017/08/05/economia/1501927439\\_342599.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2017/08/05/economia/1501927439_342599.html)>. Acesso em: 01 de nov. de 2021.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

SÁFADI, T. Uso de séries temporais na análise de vazão de água na represa de Furnas. **Ciênc. agrotec.**, v.28, n.1, p.142-148, 2004.

SANQUETTA, C. R.; SANTANA, G. M.; SANQUETTA, M. N. I.; OLIVEIRA, T. W. G.; CORTE, A. P. D. Produção, importação, exportação e consumo aparente de painéis de madeira no Brasil entre 1961 e 2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v.5, n.1, p.44-49, 2020.

SHMUELI, G.; LICHTENDAHL JR., K. C. **Practical time series forecasting with r: A hands-on guide**. 2. ed. Green Cove Springs: Axelrod Schnall Publishers, 2016. 232p.

SILVA, C. A. F.; BUENO, F. M.; NEVES, M. R. **A indústria de celulose e papel no Brasil**. Disponível em: <[https://www.poyry.com.br/sites/www.poyry.com.br/files/media/related\\_material/16out27a-abtcp.pdf](https://www.poyry.com.br/sites/www.poyry.com.br/files/media/related_material/16out27a-abtcp.pdf)>. Acesso em: 16 de abril de 2021.

SILVA, I. N.; SPATTI, D.H.; FLAUZINO, R. A. **Redes Neurais Artificiais: para Engenharia e Ciências Aplicadas**. São Paulo: ARTLIBER, 2010.

SRIVASTAVA, N.; HINTON, G.; KRIZHEVSKY, A.; SUTSKEVER, I.; SALAKHUTDINOV, R. Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. **Journal of Machine Learning Research**, v.15, p.1929-1958, 2014.

STATISTA. **Which sector are most likely to be negatively impacted?**. Disponível em: <<https://www.statista.com>>. Acesso em 16 de abril de 2021.

SUZANO. **História**. Disponível em: <<https://www.suzano.com.br/a-suzano/historia/>>. Acesso em: 12 de abril de 2021.

TEALAB, A. Time series forecasting using artificial neural networks methodologies: a systematic review. **Future Computing and Informatics Journal**, v.3, n.2, p.334-340, 2018.

VON NEUMANN, J. Model selection and overfitting. **Nature Methods**, v.13, n.9, p.703-704, 2016.

WANG, L.; WANG, Z-G.; QU, H.; LIU, S. Optimal forecast combination based on neural networks for time series forecasting. **Applied Soft Computing**, v.66, p.1-17, 2018.

WONGOUTONG, C. Improvement of the holt winters multiplicative method with a new initial value settings method. **Thailand Statistician**, v.19, n.2, p.280-293, 2021.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Statistical reports**. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html>>. Acesso em: 15 de abril de 2021.

YING, X. An overview of overfitting and its solutions. **Journal of Physics: Conference Series**, v.1168, p.1-6, 2019.

## CAPÍTULO 2

### IMPACTO DO CÂMBIO SOBRE EMPRESAS BRASILEIRAS DE PAPEL E CELULOSE DE CAPITAL ABERTO: EFEITO PANDEMIA

**Resumo** – O setor brasileiro de celulose e papel é fortemente ligado ao mercado internacional, de modo que a variação do câmbio tem potencial para impactar a curto e longo prazo a valorização das empresas brasileiras, especialmente as de capital aberto. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o impacto das flutuações cambiais sobre as empresas brasileiras de papel e celulose de capital aberto utilizando a análise de cointegração. Foram consideradas para o estudo as empresas de celulose e papel listadas na bolsa brasileira (B3) e as flutuações do valor de mercado do real em relação ao dólar e do euro. Foram utilizados modelos de cointegração e de correção de erro para analisar a relação de equilíbrio de curto e longo prazo entre a cotação das ações e das moedas estrangeiras. O preço das ações das empresas brasileiras de celulose e papel e a valorização do real apresentam padrões históricos com tendências e sazonalidade, fenômenos relacionados ao cenário econômico nacional e global, bem como às reações dos investidores frente a oportunidades e riscos no mercado de capitais. Em geral, a valorização das ações brasileiras é mais influenciada pelo valor do dólar e com maior efeito a longo prazo.

**Palavras-chave:** cointegração, mercado de capitais, modelos de correção de erro, *commoditie*.

### IMPACT OF EXCHANGE RATE ON BRAZILIAN COMPANIES OF CELLULOSE AND PAPER IN CAPITAL MARKETS: PANDEMIC EFFECT

**Abstract** – The brazilian cellulose and paper sector is strongly connected to the international market, so the exchange rate fluctuations have the potential to impact in the short-term and long-term the market value of brazilian companies, especially those quoted on capital market. Therefore, the objective of this research was to evaluate the impact of exchange rate fluctuations on stock value of brazilian cellulose and paper companies using cointegration analysis. The study considered cellulose and paper companies listed on the brazilian stock exchange (B3) and fluctuations in the market value of the brazilian currencie against the dollar and the euro. Cointegration and error correction models were used to analyze the short-term and long-term equilibrium relationship between stock prices and foreign currencies. The stock price of

brazilian cellulose and paper companies and the value of the brazilian currencie show a historical pattern with trends and seasonality, phenomena related to the national and global economic scenario, as well as investors' reactions to opportunities and risks in the capital market. In general, the price of brazilian stocks is more influenced by the value of the american dollar and with greater long-term effect.

**Keywords:** cointegration, capital market, error correction models, *commoditie*.

## 1 INTRODUÇÃO

Em tempos difíceis para a economia global em virtude dos desdobramentos da pandemia causada pelo vírus COVID – 19, o setor brasileiro de celulose expandiu a produção para 21 milhões de toneladas em 2020, o que representou 6,4% de aumento em relação ao ano anterior e manteve o Brasil como segundo maior produtor mundial de celulose. A produção brasileira de papel reduziu 2,8% entre 2019 e 2020 como reflexo da adoção em larga escala das atividades *home-office* durante a pandemia, que impulsionaram uma redução superior a 14% na produção de papel de imprimir e escrever. Por outro lado, com o aumento da demanda por serviços delivery e maior atenção aos hábitos básicos de higiene, houve aumento na produção de papel para embalagens e para fins sanitários (IBÁ, 2021).

Segundo Marques (2015), a reestruturação do setor mundial de papel e celulose que vem acontecendo nas últimas três décadas se deve ao redirecionamento de investimentos anteriormente alocados em tradicionais produtores para novos *players*, como Brasil, Chile, Indonésia, Malásia e Rússia. As mudanças na hierarquia de produção de papel e celulose a nível global é acompanhada por processos de fusão e aquisição entre empresas do setor, criando uma tendência de formação de oligopólios, a exemplo da fusão entre as empresas Suzano e Fibria que gerou uma nova líder no mercado mundial de celulose.

A celulose é atualmente uma das principais commodities brasileiras, atingindo US\$ 861,52 milhões em valor de exportação em setembro de 2022, representando um recorde para o mês (MAPA, 2022). Assim como as demais commodities, a celulose está sujeita ao efeito “*pass-through*”, definido por Menon (1995) como o efeito da taxa de câmbio sobre o preço do bem na moeda local. Empresas que operam diretamente no ramo de commodities e exportação/importação são vulneráveis às variações nas taxas de câmbio que naturalmente refletem nos preços dos seus produtos e na margem de lucro, conforme explicam Bodnar, Dumas e Marston (2002). Os autores também afirmam que, apesar de as empresas se

diferenciarem quanto à gestão da lucratividade frente às flutuações cambiais, é prudente gerenciar a margem de lucro conforme a dinâmica do mercado em que a empresa atua.

Além da margem de lucro, as empresas de capital aberto que atuam no mercado de commodities tendem a ter o seu valor de mercado suscetível às variações cambiais, visto que os potenciais ganhos são altamente voláteis nesse cenário. Para entender o provável resultado da interação entre duas variáveis ao longo do tempo, diversas pesquisas voltadas a diferentes aspectos econômicos utilizam a análise de cointegração para avaliar a relação de curto e longo prazo entre duas variáveis (QUAH, 1993; ABU-BADER e ABU-QARN, 2003; IGHODARO e ORIAKHI, 2010; POPESCU e DIACONU, 2021). Basicamente, a análise de cointegração possibilita identificar a existência de uma relação que se mantém ao longo do tempo entre duas variáveis, similar a ideia de correlação. Assim sendo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o impacto das flutuações cambiais sobre as empresas brasileiras de papel e celulose de capital aberto utilizando a análise de cointegração.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As séries históricas semanais de cotação de preços foram extraídas da base do Yahoo Finance (YAHOO FINANCE, 2022). As empresas de celulose e papel listadas na bolsa brasileira incluem a Suzano S. A (SUZB3), Klabin (KLABN3) e Irani (RANI3), as quais tiveram suas cotações cointegradas com as flutuações de mercado do dólar e do euro.

### 2.1 Modelo teórico

Baseado na relação de equilíbrio bem conhecida na literatura entre consumo ( $C_t$ ) e renda ( $Y_t$ ), Perman (1991) apresenta o princípio básico da cointegração partindo da relação:

$$C_t = bY_t, \quad (1)$$

pressupondo que a relação entre consumo e renda se mantém em equilíbrio em todos os  $t$  períodos, então a relação (1) pode ser reescrita:

$$C_t - bY_t = 0. \quad (2)$$

Se o consumo e renda não se mantém em equilíbrio constante e a relação (2) não é verdadeira, então há um erro de equilíbrio:

$$C_t - bY_t = \varepsilon_t. \quad (3)$$

Em seu trabalho sobre a fundamentação da cointegração, Engle e Granger (1987) explicam que, em uma relação de equilíbrio, os erros  $\varepsilon_t$  devem flutuar em torno do seu valor médio ou apresentar tendência de redução até um valor mínimo ao longo do tempo.

## 2.2 Modelo Analítico

Assumindo que a variável  $Y_t$  representa a série histórica dos preços das ações das empresas de celulose e papel e  $X_t$  representa a série histórica das cotações do dólar ou euro, definiu-se a seguinte relação:

$$X_t = X_{t-1} + \varepsilon_{Xt} \quad (4)$$

$$Y_t = \beta X_t + \varepsilon_{Yt}, \quad (5)$$

em que  $X_{t-1}$  é a variável independente em t-1,  $\beta$  é o coeficiente de  $X_t$  e  $\varepsilon_{Xt}$  e  $\varepsilon_{Yt}$  são os erros aleatórios do modelo.

Considera-se o princípio de que a relação entre  $X_t$  e  $Y_t$  é linear e pode ser caracterizada pelo vetor  $[1, -\beta]$ , chamado de vetor cointegrante. A análise da pesquisa consistiu em verificar se existe ao menos uma combinação linear  $\varepsilon_{Yt} = Y_t - \beta X_t$  que gere uma variável estacionária. Bernardelli e Castro (2020) explicam que séries não estacionárias apresentam tendência no intervalo de tempo, que podem ser de natureza determinística ou estacionária.

O conceito de cointegração explorado na pesquisa possui relação direta com o princípio de equilíbrio de longo prazo, que foi analisado a partir da seguinte relação:

$$u_t = Y_t - \alpha - \beta X_t, \quad (6)$$

em que  $u_t$  expressa o erro de equilíbrio e  $\alpha$  é a constante. O erro de equilíbrio informa quão distante  $Y_t$  está do seu valor de equilíbrio, em função da variação em  $X_t$ . Sendo assim, se  $u_t$  for estacionária, então o sistema está em equilíbrio, ainda que  $Y_t$  e  $X_t$  não sejam estacionárias.

Para determinar se as séries de preços das ações e das cotações das moedas são não estacionárias com I(1), foi aplicado o teste ADF (Dickey e Fuller, 1979) após uma diferenciação. Em seguida, o seguinte modelo foi parametrizado:

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t, \quad (7)$$

em que se  $\varepsilon_t$  for uma variável estacionária, ou seja,  $I(0)$ , então  $\varepsilon_t = u_t$  e  $Y_t$  e  $X_t$  são variáveis cointegradas que possuem equilíbrio de longo prazo.

Para definir os modelos de correção de erro e calcular a relação de equilíbrio de longo e curto prazo, utilizou-se os preceitos apresentados por Granger e Newbold (1973, 1974) e o método descrito por Lima (2023), em que, dada duas variáveis cointegradas, então existe um modelo de correção de erros válida:

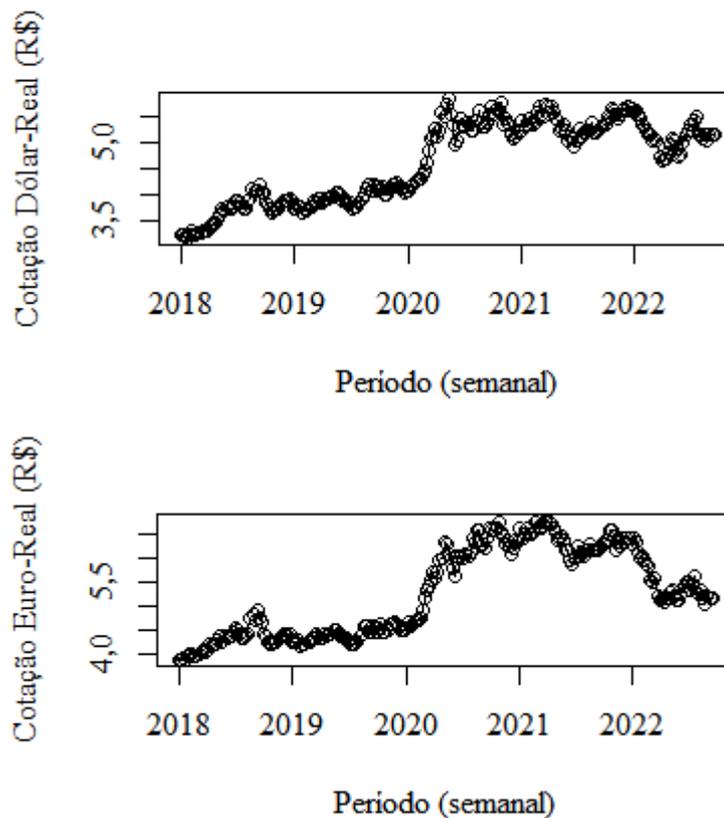
$$\Delta Y_t = \gamma_0 + \gamma_1 \Delta X_t + \gamma_2 u_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (8)$$

em  $\varepsilon_t$  é um ruído branco e  $u_{t-1}$  é definido por:

$$u_{t-1} = Y_{t-1} - \alpha - \beta X_{t-1} \quad (9)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ano de 2020 marca uma disparada na valorização do dólar e do euro em relação à moeda brasileira (Figura 1). Evidentemente, a subida simultânea da cotação das moedas estrangeiras no período em questão não é coincidência e tão pouco é um fato difícil de compreender. O mundo vivenciou e ainda vive os efeitos da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2, que veio ao conhecimento público no fim de 2019. Embora a crise de saúde pública tenha gerado uma crise econômica mundial com cenários que se replicaram de forma similar em todos os lugares, os países se deparam realidades e particularidades específicas da sua economia e política.

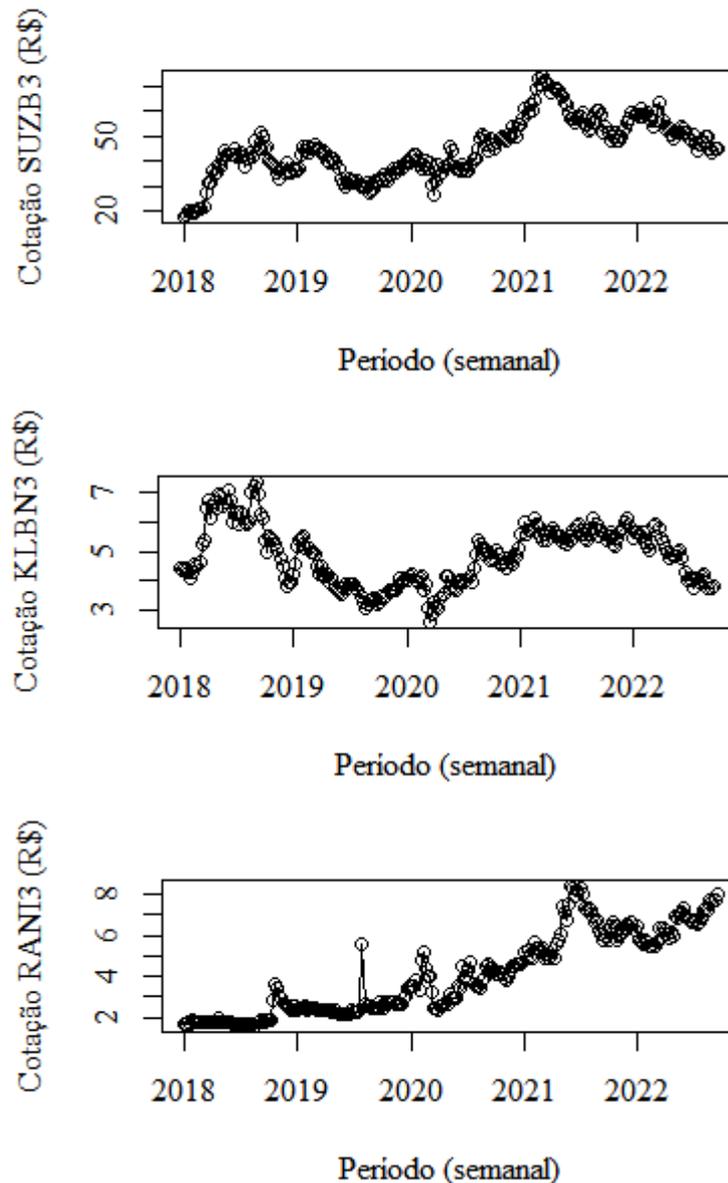


**Figura 1** – Séries históricas semanais da cotação do euro e do dólar em relação ao real brasileiro no período de 2018 a 2022.

**Fonte:** adaptado de Yahoo Finance (2022).

A economia brasileira teve que se adaptar a nova realidade imposta pela pandemia em um momento em que ainda se recuperava da recessão ocorrida entre 2013 a 2015 (SICSU, 2019). De acordo com Feijó, Araújo e Bresser-Pereira (2022), o cenário da pandemia impactou o mercado e os preços internacionais, bem como desvalorizou real nos anos de 2020 e 2021. Os autores também destacam que houve uma mudança na estrutura produtiva, caracterizada pela desindustrialização prematura e maior foco na exportação de *commodities*, fatores estes que tornaram a inflação do país mais vulnerável às pressões sobre os custos produtivos relacionados ao comércio internacional.

Após o início da pandemia, contrariando os efeitos sentidos pelo mercado em geral, observa-se o aquecimento do mercado de celulose e papel, que pode ser constatado pela valorização ao menos em um primeiro momento das ações das empresas brasileiras listadas na bolsa que atuam no setor em questão (Figura 2).



**Figura 2** – Séries históricas semanais da cotação das ações SUZB3, KLB3 e RANI3 entre 2018 e 2022.

**Fonte:** adaptado de Yahoo Finance (2022).

A maior demanda para o mercado de celulose e papel em função da pandemia já era previsto devido a necessidade de mudanças nos hábitos de higiene, que por consequência geraria um aumento no consumo de papéis para fins sanitários, como o *tissue* (CORDEIRO e NEVES, 2020). Ao longo de 2020, as indústrias de *tissue* e papéis para embalagens viram a demanda disparar ao longo do agravamento da crise sanitária, conforme aponta Santi (2020). Com a crescente na demanda por produtos do setor, as empresas do ramo de celulose e papel tiveram oportunidade de valorização ainda que o mercado mundial passasse por sérios desafios.

Com o mercado aquecido e a consolidação do Brasil como um dos principais fornecedores globais de celulose, empresas brasileiras aproveitaram o momento favorável e iniciaram projetos para construção de novas plantas industriais para produção de celulose e papel em diferentes regiões do país.

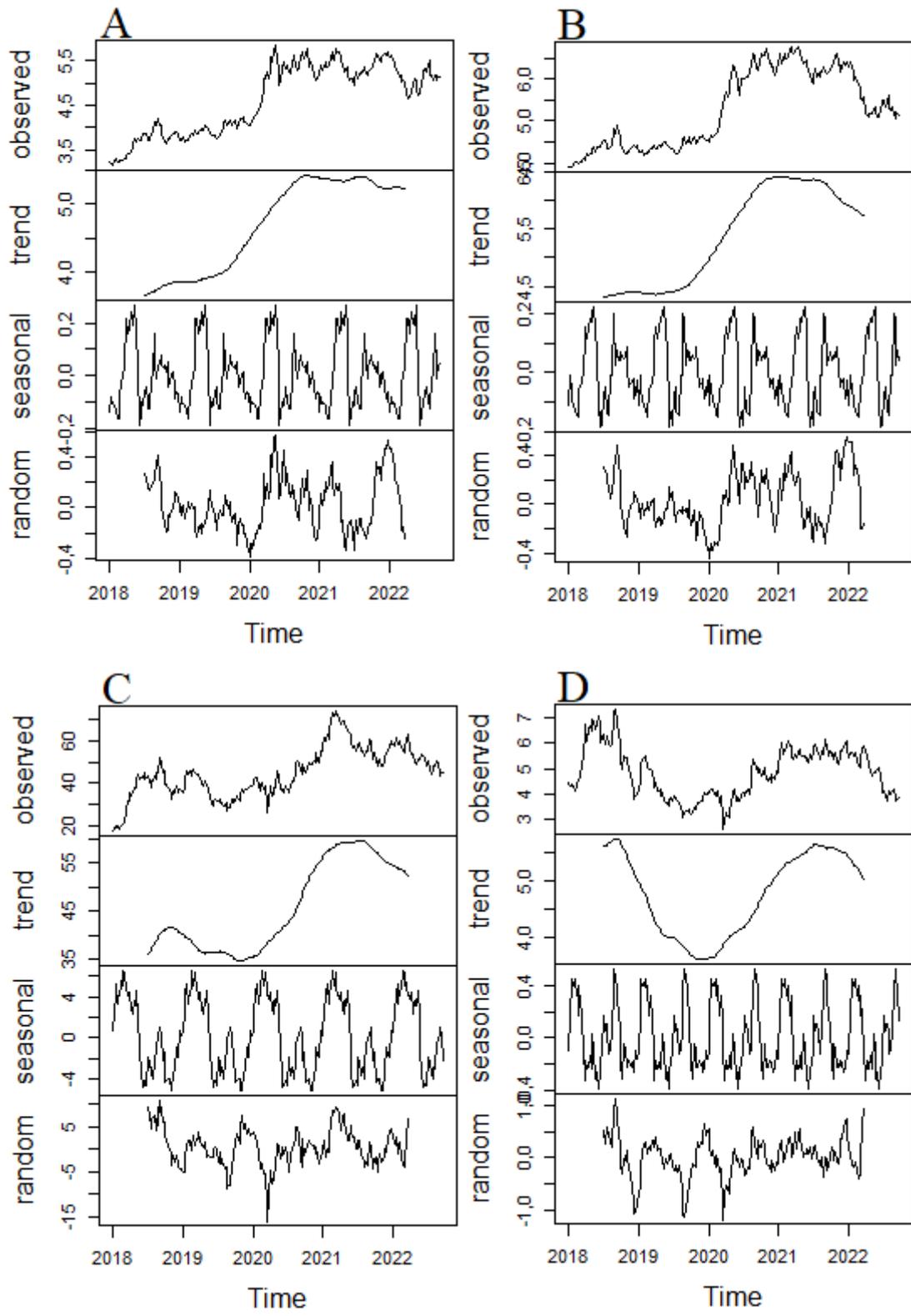
Avaliando os resultados da aplicação do teste ADF (Tabela 1), nota-se que todas as séries estudadas são estacionárias na condição com uma diferença, visto que em I(1) tem-se a estatística do teste ADF menor que o valor crítico, rejeitando-se a hipótese nula de não estacionaridade. Nesta condição, justifica-se proceder com a análise de cointegração para verificar se há relação de longo prazo entre as cotações das moedas estrangeiras e as ações das empresas brasileiras que são foco do estudo.

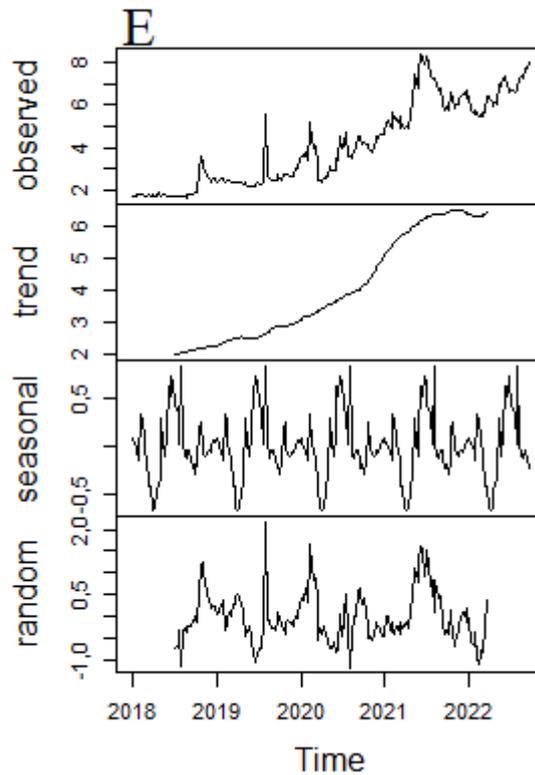
**Tabela 1** – Resultados das estatísticas do teste ADF com as séries sem diferenciação – I(0) e com uma diferença – I(1).

Série	ADF I(0)		ADF I(1)	
	$\tau$ calculado	$\tau$ crítico (0,05)	$\tau$ calculado	$\tau$ crítico (0,05)
Dólar-real	0,78	-1,95	-10,72	-1,95
Euro-real	0,68	-1,95	-10,83	-1,95
SUZB3	0,03	-1,95	-11,51	-1,95
KLBN3	-0,54	-1,95	-10,89	-1,95
RANI3	0,32	-1,95	-13,07	-1,95

**Fonte:** resultados da pesquisa.

A decomposição das séries apresentada na Figura 3 evidencia as similaridades do padrão das séries, sendo um indicador de possível relação entre a cotação do dólar e euro e o preço das ações. Outro ponto importante é a presença de sazonalidade e formação de ciclos nas séries, conforme observa-se no quadro que traz o fator de sazonalidade decomposto. A presença de sazonalidade indica que as cotações das moedas e das ações das empresas brasileiras de celulose e papel passam por fases com padrões de altas e baixas no mercado. Lobão e Lobo (2018) explicam tal fenômeno com a possibilidade de que os investidores comprem ações em meses com rentabilidade anormalmente baixa e vendam os mesmos títulos em meses de alta rentabilidade.





**Figura 3** – Decomposição das séries históricas semanais originais de cotação do dólar-real (A), euro-real (B), SUZB3 (C), KLBN3 (D) e RANI3 (E) em componente de tendência, sazonalidade e estocástico.

**Fonte:** resultados da pesquisa.

Partindo do ajuste de modelos lineares para verificar relação entre o preço das ações e das moedas, constata-se com base na significância do coeficiente de inclinação ( $b_1$ ) que a cotação da SUZB3 e RANI3 possuem relação linear com a taxa de câmbio do dólar e do euro, enquanto a KLBN3 sofre influência apenas das flutuações do euro em relação ao real (Tabela 2). Os resultados do teste ADF sobre os resíduos dos modelos apontam que, exceto para RANI3 =  $f(\text{Euro-Real})$ , em todos os demais casos tem-se erros estacionários com diferença  $I(0)$ , havendo, portanto, a condição necessária para que as séries de preços das ações e do dólar e euro sejam cointegradas com equilíbrio de longo prazo.

**Tabela 2** – Coeficientes ajustados dos modelos lineares com o preço das ações de empresas brasileiras de papel e celulose e a cotação do dólar e euro, bem como os resultados do teste ADF para os erros dos modelos.

Modelo	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	τ calculado <sup>1</sup>	τ crítico (0,05) <sup>1</sup>	I <sup>2</sup>
SUZB3 = f(Dólar-Real)	-4,084	10,609*	-2,58	-1,95	0
SUZB3 = f(Euro-Real)	-5,583	9,581*	-2,77	-1,95	0
KLBN3 = f(Dólar-Real)	4,552*	0,065	-2,15	-1,95	0
KLBN3 = f(Euro-Real)	3,740*	0,211*	-2,18	-1,95	0
RANI3 = f(Dólar-Real)	-4,575*	1,873*	-2,26	-1,95	0
RANI3 = f(Euro-Real)	-3,655*	1,467*	-1,43	-1,95	1

\*Significativo a 5% de acordo o teste t de Student. <sup>1</sup>Teste ADF sobre os erros; <sup>2</sup>Número de diferenças para tornar os erros estacionários.

**Fonte:** resultados da pesquisa.

Conforme os resultados apresentados na tabela 3, nota-se que a valorização das ações SUZB3 é diretamente proporcional à valorização do dólar, especialmente no longo prazo. De forma objetiva, a variação de 1% no dólar tende a refletir em média de 4,02% de variação no preço da SUZB3 a curto prazo e 9,44% a longo prazo. Tal fato certamente deve-se a importante participação da empresa no mercado internacional e a dolarização dos seus resultados financeiros. A relação a longo com a cotação do euro é coerente com a participação do mercado europeu na comercialização da celulose exportada pela Suzano e pelas empresas brasileiras em geral (IBÁ, 2021; SUZANO, 2023).

**Tabela 3** – Valores de variação de curto e longo prazo gerados a partir dos modelos de correção do erro.

Modelo	Δ curto prazo (%)*	Δ longo prazo (%)
SUZB3 = f(Dólar-Real)	4,02	9,44
SUZB3 = f(Euro-Real)	0,96	9,69
KLBN3 = f(Dólar-Real)	0,18	0,11
KLBN3 = f(Euro-Real)	0,25	0,48
RANI3 = f(Dólar-Real)	-0,46	1,98
RANI3 = f(Euro-Real)	–	–

\*Percentual de variação para cada 1% de flutuação no câmbio.

Empresas de mercados como o de papel e celulose que destinam a maior parte da sua produção para a exportação, tendem a se beneficiar mais rapidamente com a valorização do dólar, conforme afirma o CEO da Veedha Investimentos (SALATI, 2019). Tendo em vista que a maior parte das negociações das empresas do setor acontece em países estrangeiros, a flutuação do valor da moeda brasileira em relação ao euro e, principalmente, ao dólar, tende a afetar diretamente a receita de exportação e conseqüentemente a valorização das ações no mercado de capitais (KLABIN, 2013). Para o mercado de papel, Santos, Soares e Sousa (2016) observaram que a desvalorização de 1% do real tende a aumentar a exportação do papel nacional em 1,59%, ou seja, a desvalorização da moeda brasileira torna o mercado internacional mais atrativo.

#### **4 CONCLUSÕES**

O preço das ações das empresas brasileiras de celulose e papel e a valorização do real apresentam padrões históricos com tendências e sazonalidade, fenômenos relacionados ao cenário econômico nacional e global, bem como às reações dos investidores frente a oportunidades e riscos no mercado de capitais. As ações das empresas brasileiras do setor de celulose e papel apresentam cointegração com a valorização do dólar e euro em relação ao real em quase todos os cenários testados. Em geral, a valorização das ações brasileiras é mais influenciada pelo valor do dólar e com maior efeito a longo prazo.

#### **REFERÊNCIAS**

ABU-BADER, S.; ABU-QARN, A.S. Government expenditures, military spending and economic growth: Causality evidence from Egypt, Israel, and Syria. **J. Policy Model.**, v. 25, p. 567–583, 2003.

BERNARDELLI, L. V.; CASTRO, G. H. L. Mercado acionário e variáveis macroeconômicas: evidências para o Brasil. **Revista Catarinense da Ciência Contábil**, v. 19, n. 1, p. 2, 2020.

BODNAR, G. M.; DUMAS, B.; MARSTON, R. C. Pass-through and Exposure. **The Journal of Finance**, v. 57, n. 1, p. 199–231, 2002.

CORDEIRO, J.; NEVES, M. Efeitos da pandemia por covid-19 no setor de celulose e papel. **Revista O Papel**, p. 31-32, 2020.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v.74, n.366a, p. 427-431, 1979.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987.

FEIJÓ, C.; ARAÚJO, E. C.; BRESSER-PEREIRA, L. C. Política monetária no Brasil em tempos de pandemia. **Revista de Economia Política**, v. 42, n. 1, p. 150-171, 2022.

GRANGER, C. W.J.; NEWBOLD, P. Some comments on the evaluation of economic forecasts. **Applied Economics**, v. 5, n. 1, p. 35-47, 1973.

GRANGER, Clive WJ; NEWBOLD, Paul. Spurious regressions in econometrics. **Journal of econometrics**, v. 2, n. 2, p. 111-120, 1974.

IBÁ. **Relatório anual 2021**. Brasília: IBÁ, 2021.

IGHODARO, C.A.; ORIAKHI, D.E. Does the Relationship between Government Expenditure and Economic Growth Follow Wagner's Law in Nigeria. **Ann. Univ. Petrosani. Econ.**, v. 10, p. 185–198, 2010.

KLABIN. **Perguntas frequentes**. Disponível em: <<https://ri.klabin.com.br/>>. Acesso em: 4 de fev. de 2023.

LIMA, R. **Séries temporais em R**. Disponível em: <<https://analisemacro.com.br/wp-content/uploads/2015/02/CursoCompleto.pdf>>. Acesso em: 4 de fev de 2023.

LOBÃO, J.; LOBO, C. Sazonalidade Mensal e o Efeito Passagem de Ano: Nova Evidência da Euronext Lisbon. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v.4, n.8, p. 3-25, 2018.

MAPA. **Exportações do agronegócio em setembro chegam a US\$ 13,9 bilhões, com aumento de 38,4%.** Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/search?SearchableText=celulose>>. Acesso em: 05 de nov. de 2022.

MARQUES, M.I.M. Considerações sobre a expansão da indústria de papel e celulose no Brasil a partir do caso da Suzano papel e celulose. **GEographia**, v. 17, n. 35, 2015.

MENON, J. Exchange rate pass-through. **Journal of Economic Surveys**, v. 9, n. 2, p.197–231, 1995.

PERMAN, R. Cointegration: an introduction to the literature. **Journal of Economic Studies**, v. 18, n. 3, 1991.

POPESCU, C. C.; DIACONU, L. Government Spending and Economic Growth: A Cointegration Analysis on Romania. **Sustainability**, v. 13, p. 1-16, 2021.

QUAH, D. Empirical cross-section dynamics in economic growth. **Eur. Econ. Rev.**, v. 37, p. 426–434, 1993.

SALATI, P. **CSN, Gerdau, Klabin, Suzano... Veja quem ganha com dólar mais alto.** Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/investing/2019/11/26/csn-gerdau-klabin-suzano-veja-quem-ganha-com-dolar-mais-alto.htm>>. Acesso em: 4 de fev. de 2023.

SANTI, T. Os impactos da covid-19 nos setores de tissue e embalagem. **Revista O Papel**, p. 28-30, 2020.

SANTOS, R. Q.; SOARES, N. S.; SOUSA, E. P. Determinantes da oferta de exportação de papel no Brasil. **Revista de Estudos Sociais**, v. 18, n. 36, p. 88-106, 2016.

SICSU, J. Brasil: é uma depressão, não foi apenas uma recessão. **Revista de Economia Contemporânea**, v.23, n.1, p. 1-41, 2019.

SUZANO. **Perguntas frequentes**. Disponível em: < <https://ri.suzano.com.br/>>. Acesso em: 4 de fev. de 2023.

## CAPÍTULO 3

### MARCOS DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL: UMA APLICAÇÃO DE MODELOS ARIMA COM INTERVENÇÃO

**Resumo:** A pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de utilizar o modelo ARIMA com intervenção para analisar as alterações na série histórica do desmatamento da Amazônia Legal frente a acontecimentos que são diretamente ligados à conversação da vegetação nativa. Para realizar as análises, foram utilizados dados anuais e mensais de desmatamento da Amazônia gerados pelo PRODES e DETER do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Para identificar possíveis marcos de redução ou aumento do desmatamento, foram utilizados modelos ARIMA e SARIMA com adição de variável dummy para realizar análises de intervenção. Das intervenções analisadas, a criação da lei de gestão de florestas públicas e do Serviço Florestal Brasileiro foi a que resultou no maior impacto positivo sobre a redução do desmatamento da Amazônia. O novo código florestal não alterou a taxa de desmatamento, ainda que a lei tenha flexibilizado o desflorestamento legal. O aumento do desmatamento na região amazônica que vem ocorrendo nos últimos anos é um problema localizado, visto que os dados demonstram que boa parte da perda de vegetação nativa acontece no Estado do Pará. O foco do aumento do desmatamento concentra-se em torno da construção da usina hidrelétrica de Belo Monte na região Oeste do Estado, onde deve-se direcionar maiores esforços para conter o desmatamento ilegal.

**Palavras-chave:** análise de intervenção, ocupação de terras devolutas, políticas públicas, regularização fundiária.

### DEFORESTATION LANDMARKS OF THE BRAZILIAN AMAZON: AN APPLICATION OF ARIMA MODELS WITH INTERVENTION

**Abstract:** The objective was to use the ARIMA model with intervention to analyze the changes in the historical series of deforestation in the Brazilian Amazon in the face of events that are directly linked to the conversation of native vegetation. The intervention analysis was performed from the ARIMA and SARIMA models with the addition of a dummy variable. The creation of the public forest management law and of the Brazilian Forest Service, among the interventions analyzed, were those that resulted in the greatest positive impact on the reduction

of deforestation. The increase in deforestation in the Amazon region, which has been occurring in recent years, is a localized problem in the state of Pará. The focus of increased deforestation is concentrated around the construction of the Belo Monte hydroelectric plant in the western region of the state where greater efforts should be directed to stop illegal deforestation.

**Keywords:** Intervention analysis; land tenure regularization; occupation of unclaimed.

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal permaneceu essencialmente preservada durante a maior parte da história brasileira. Foi apenas após 1970 com a construção da rodovia Transamazônica e os incentivos fiscais que fomentavam as atividades agropecuárias na região, que houve intensa ocupação regional e o consequente desmatamento (FEARNSIDE, 2005). A ocupação da região amazônica no Brasil segue o mesmo padrão histórico do restante do país, ou seja, sob a prerrogativa de proteção do território e soberania nacional, são implementadas políticas públicas que tendem mais a colonização regional do que a reforma fundiária do país (PASQUIS et al., 2005; CALANDINO, WEHRMANN e KOBLITZ, 2012).

As estratégias adotadas para a ocupação da Amazônia apresentam controvérsias até os dias atuais, especialmente quando avaliadas paralelamente às propostas de desenvolvimento sustentável. Tourneau e Bursztyn (2010) destacam o conflito entre as políticas ambientais e a reforma agrária, ao apontarem que, até 2010, a Amazônia detinha 15% da população rural do país, ao passo que 55% dos lotes de assentamento distribuídos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) estavam concentrados na mesma região.

Evidentemente, o uso sustentável das florestas na sociedade moderna depende do arcabouço de legislações que regulam as atividades que podem impactar o meio ambiente. Castelo (2015) faz um apanhado do histórico da legislação florestal brasileira e suas implicações, focando nas versões do código florestal (BRASIL, 1934, 1965 e 2012) e na lei de gestão de florestas públicas (BRASIL, 2006). O autor destaca o novo código florestal, publicado em 2012, que trouxe flexibilizações em relação ao avanço sobre áreas de preservação permanente e restauração ou obrigatoriedade de áreas de reserva legal, criando margem para a abertura de novas áreas originalmente ocupadas com vegetação nativa.

Ao analisar os dados da série histórica do desmatamento da Amazônia fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022), é possível identificar diferentes fases que podem ser associadas facilmente a alguns eventos relevantes. Entretanto, muito do que é

discutido, ainda que de forma coerente, se mantém na esfera da especulação e teorização, sem comprovações objetivas dos reais responsáveis pelo aumento ou diminuição do desmatamento. Ademais, o aumento no desmatamento observado nos últimos anos contradiz os avanços das políticas públicas e efetivação da aplicação do código florestal por meio do cadastro ambiental rural (CAR). Sendo assim, faz-se necessário uma análise mais apurada para identificar os reais problema e soluções para a desenvolvimento sustentável da região amazônica.

Para estudar o padrão da série histórica da taxa de desmatamento da Amazônia, pode-se utilizar a metodologia Box e Jenkins (1976) para ajustar um modelo autorregressivo e de médias móveis –  $ARMA(p,q)$  que permite executar uma análise de séries temporais. Ao incluir no modelo uma ou mais variáveis indicadoras – variáveis dummy, é possível avaliar o real impacto de eventos históricos sobre a série temporal em análise. A variável dummy consiste em um vetor ao qual atribui-se o valor 0 referente ao período anterior ou de ausência do evento e o valor 1 ao período de ocorrência do evento em particular (CRYER e CHAN, 2008). Essa metodologia, que foi introduzida por Box e Tiao (1975), é chamada de análise de intervenção em séries temporais e permite verificar se a influência de determinados acontecimentos gerou efeitos significativos sobre a série analisada.

Reconhecendo a complexidade política, social e econômica do cenário que envolve o desenvolvimento da região amazônica e a conversação de suas florestas, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de analisar as alterações na série histórica do desmatamento da Amazônia Legal frente a acontecimentos que são diretamente ligados à conversação da vegetação nativa, por meio do modelo ARIMA com interveção.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Fonte de dados**

Para analisar o histórico do desmatamento da Amazônia Legal, foram utilizados os dados oficiais fornecidos pelo INPE a partir da plataforma virtual TerraBrasilis (INPE, 2022a), compreendendo a série histórica anual de 1988 a 2021. Os dados são fruto do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) e registra áreas a partir de 6,25 ha onde houve corte raso da floresta primária independente do futuro uso alternativo do solo (INPE, 2022b).

Adicionalmente, foram analisados os dados de desmatamento da região com maior taxa de remoção da vegetação nativa atualmente, o Estado do Pará. Neste caso, foram utilizados dados da série anual do Estado do Pará fornecido pelo PRODES e a série mensal fornecida pelo

Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Quase Real (DETER-B). A série anual compreende o período de 1988 a 2021, enquanto a série mensal refere-se a agosto de 2015 até abril de 2022 (INPE, 2022c). A série mensal é composta por estatísticas de área de desmatamento com solo exposto, desmatamento com vegetação (defasagem temporal entre o desmatamento e sua detecção) e mineração.

## 2.2 Análise de intervenção

Para analisar o padrão das séries históricas estacionárias aplicando o método de Box e Jenkins (1967), seguiu-se por três etapas: identificação e formulação do modelo; estimação dos parâmetros e avaliação do ajuste e aplicação do modelo (YOUNG, 1977). O objetivo das duas primeiras etapas foi obter um modelo ARMA ( $p, q$ ) parcimonioso, em que  $p$  se refere a número de parâmetros/variáveis autorregressivas e  $q$  ao número de parâmetros/variáveis do processo de médias móveis, conforme o modelo teórico descrito por Makridakis e Hibon (1997):

$$Y_t = \mu + \theta_1 Y_{t-1} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \alpha_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}, \quad (1)$$

em que  $Y$  é a valor atual da variável de interesse no tempo  $t$ ,  $\mu$  é a média das observações,  $\theta$  e  $\alpha$  são os coeficientes do modelo,  $Y_{t-1}$  e  $Y_{t-p}$  é o valor da variável  $Y$  com uma defasagem e com  $p$  defasagens, respectivamente,  $\varepsilon_{t-1}$  e  $\varepsilon_{t-q}$  são os desvios com uma defasagem e com  $q$  defasagens, respectivamente, e  $\varepsilon_t$  representa os resíduos do modelo.

A avaliação dos impactos de eventos históricos relevantes sobre o desmatamento foi realizada a partir da análise de intervenção, a qual gerou modelos conhecidos como ARMA com intervenção. Partindo, então, de um modelo ARMA, considerou-se o seguinte modelo geral para a análise de intervenção na série do desmatamento (CRYER e CHAN, 2008):

$$Y_t = m_t + N_t, \quad (2)$$

em que  $Y_t$  é a série temporal do desmatamento,  $m_t$  representa a mudança na função da média e  $N_t$  é o processo aleatório modelado pela equação ARMA.  $N_t$  refere-se à série temporal na qual não foi considerada nenhuma intervenção, ou seja, apenas o processo sem perturbações. Enquanto não há intervenções,  $m_t$  assume o valor 0. A partir do momento  $T$  que marca o início da intervenção e supondo que o efeito seja permanente durante os demais registros da série,  $m_t$  passa a assumir o valor 1. Sendo assim,  $m_t$  foi definido como:

$$m_t = \begin{cases} 1, & \text{se } t \geq T \\ 0, & \text{se } t < T. \end{cases} \quad (3)$$

A partir de levantamento na literatura, algumas legislações, políticas públicas e grandes obras foram selecionadas como marcos temporais que possivelmente impactaram o ritmo do desmatamento da Amazônia, positivamente ou não. Os eventos e o ponto de início, bem como os modelos gerados a partir das respectivas intervenções são descritos na tabela 1.

**Tabela 1** – Fatos históricos da análise de intervenção.

Intervenção	Esfera	Dados	Início	Fim
Novo código florestal	Brasil	Anuais	2012	-
Lei de gestão de florestas públicas e criação do Serviço Florestal Brasileiro	Brasil	Anuais	2006	-
Política nacional sobre mudança do clima	Brasil	Anuais	2009	-
Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal fase 1 a 4	Brasil	Anuais	2004	2020
Conclusão e plena operação da usina hidrelétrica de Belo Monte	Pará	Anuais	2019	-
Início da operação da usina hidrelétrica de Belo Monte	Pará	Mensais	2016	-
Conclusão e plena operação da usina hidrelétrica de Belo Monte	Pará	Mensais	2019	-

### 2.3 Modelagem

De modo a selecionar os melhores modelos ARIMA, primeiro foi determinado a ordem de integração mínima –  $I(d)$  referente ao número de diferenças necessárias para que as séries sejam estacionárias, aplicado o teste ADF com *drift* (Dickey e Fuller, 1979). Em seguida, foi definido um ponto de partida para a ordem do componente autorregressivo ( $p$ ) e de médias móveis ( $q$ ) do processo ARIMA( $p,d,q$ ) com base nas funções de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF). Em uma terceira etapa, os dois melhores modelos ARIMA para cada série estudada foram pré-selecionados levando em consideração o Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC).

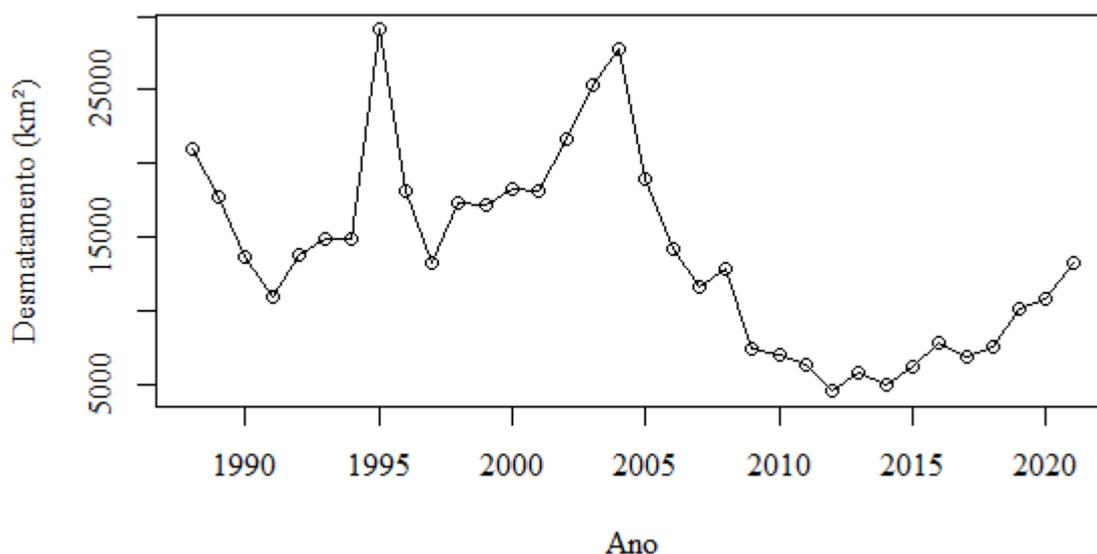
Os coeficientes foram estimados por método iterativo que utiliza mínimos quadrados ponderados para encontrar valores iniciais dos coeficientes, e em seguida aplicar estimadores de máxima verossimilhança. A significância dos coeficientes foi avaliada utilizando o teste t.

A qualidade do ajuste dos modelos foi avaliada aplicando-se o teste de Ljung-Box (1978) para autocorrelação dos resíduos, teste do multiplicador de Lagrange para heterocedasticidade condicional autorregressiva e teste de Jarque-Bera (JARQUE e BERA, 1987) para normalidade dos resíduos. Para todos os testes de hipótese foi considerado o nível de significância de 5%. Todas as análises foram realizadas no software *R* (R CORE TEAM, 2022), utilizando os pacotes *psych*, *forecast*, *urca*, *lmtest*, *FinTS* e *normtest*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Desmatamento na Amazônia Legal

Analisando a série histórica do desmatamento da Amazônia (Figura 1), nota-se ao menos três fases distintas. Em um primeiro momento, a taxa de desmatamento se manteve em altos níveis desde os anos de 1980 até 2004 com picos máximos em 1995 e 2004, ano da implantação do Plano Real e de alta demanda internacional por carne bovina e grãos, respectivamente (MESSIAS et al., 2021). Em levantamento com imagens do satélite Landsat, Tardin et al. (1980) estimou que em 1978 aproximadamente 1,55% da área de floresta da Amazônia havia sido desmatada. Ainda que a capacidade de detecção de desmatamento na época possa ter subestimado os reais valores, não há dúvidas de que a pressão sobre as florestas aumentou nos anos seguintes.



**Figura 1** – Desmatamento anual da Amazônia Legal no período de 1988 a 2021.

**Fonte:** adaptado de INPE (2022a).

A construção de estradas no contexto histórico da região amazônica é considerada a principal causa promotora do desmatamento (SOARES-FILHO, 2005; FEARNSSIDE, 2015, SOUZA et al., 2017). Bistene e Guimarães (2019) reforçam essa tese apontando que as rodovias tiveram a sua abertura concluída entre os anos de 1973-1974, abrindo caminho para intensa migração na década de 1980, época em que o governo brasileiro fornecia incentivos para a ocupação e conversão de grandes áreas de floresta nativa no eixo da BR – 163 (Santarém/PA – Cuiabá/MT). Os autores explicam que a partir do acesso aberto às áreas florestais, ocorre as conversões para ocupação por assentamentos e agricultura de subsistência; seguindo para a introdução dos madeireiros para exploração de madeiras nobres e, por fim, nova ampliação da conversão das áreas para uso na pecuária.

A partir da década de 90 houve uma mudança na concepção mundial sobre a relação da sociedade moderna com meio ambiente, mudança essa marcada pela criação do Protocolo de Kyoto em 1997, entrando em vigor em 2005. A participação do Brasil no Protocolo é vinculada ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (ANDRADE e COSTA, 2008) e começou a ser colocada em prática a partir da criação da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima pelo decreto presidencial de 7 de julho de 1999 (BRASIL, 1999). Com base nos compromissos assumidos pelo governo brasileiro, várias políticas e legislações ambientais foram criadas e implementadas na primeira década do século XXI, muitas das quais voltadas ao combate do desmatamento ilegal.

### **3.1.1 Análise de intervenção**

Das ações avaliadas, a mais antiga é o Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal, o qual foi um produto das discussões da Agenda 21 Brasileira e teve sua execução em quatro fases entre o período de 2004 a 2020. Com base na análise de intervenção, o plano apresentou efeito significativo sobre a redução do desmatamento da floresta amazônica, conforme constata-se pelo coeficiente negativo da variável dummy e o respectivo p-valor (Tabela 2).

**Tabela 2** – Modelos ajustados na análise de intervenção – Amazônia Legal.

Intervenção	Modelo	x (dummy)	p-valor (x)
Novo código florestal	ARMA (1,0,0)	-5389,8584	0,1333'
Lei de gestão de florestas públicas e criação do Serviço Florestal Brasileiro	ARMA (1,0,0)	-8955,5691	0,0002**
Política nacional sobre mudança do clima	ARMA (1,0,0)	-9044,6397	0,0004**
Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal fases 1 a 4	ARMA (0,0,1)	-5920,5222	0,0107**

\*\*Significativo a 1% de significância; 'Não significativo.

**Fonte:** resultado da pesquisa.

O plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal foi estabelecido em três pilares: ordenamento fundiário e territorial, monitoramento e controle ambiental e fomento às atividades produtivas sustentáveis, que delimitam os objetivos das três primeiras fases do plano. Nesse período, foram criadas mais de 50 milhões de ha de unidades de conservação a nível federal e estadual, além de 10 milhões de ha de terras indígenas. Houve aprimoramento monitoramento do desmatamento por meio do sistema DETER e intensificação da fiscalização com a colaboração do IBAMA, polícias federal e rodoviária federal e exército brasileiro (MMA, 2022).

O plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal foi o principal instrumento executivo da política nacional sobre mudança do clima. Não por acaso, assim como o plano de ação influenciou significativamente na redução do desmatamento durante o seu período de vigência, a política nacional sobre mudança do clima também teve efeitos significativos na redução do desmatamento (Tabela 2). Embora nos últimos anos a taxa de desmatamento venha aumentando, a meta de reduzir em 80% o desmatamento em relação a média do período de 1996 a 2005 foi atingida (MMA, 2018).

Com a publicação da lei de gestão de florestas públicas em 2006 (Lei 11.284), o grande avanço para o combate ao desmatamento e melhor gestão dos recursos florestais foi a criação do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), o qual gerou redução significativa na perda de cobertura vegetal (Tabela 2). Em sua análise histórica sobre a gestão de florestas públicas, Fonseca (2009) explica que após a extinção do Serviço Florestal do Brasil em 1962, não houve nenhum órgão específico para o tema até a criação do SFB, ainda que diversas instituições e estruturas organizacionais tenham sido criadas para tratar dos recursos florestais do país. O autor

acrescenta que a criação do SFB a partir da Lei 11.284 se deu em um contexto fundiário da Amazônia conhecido como “grilagem oficial”, o qual provocará pressões do setor florestal brasileiro devido ao descontentamento pela forma como a política de gestão das florestas da União estava sendo tratada. A Lei 11.284 também criou o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal, que é gerenciado pelo SFB e é destinado a fomentar o desenvolvimento sustentável de atividades florestais no Brasil.

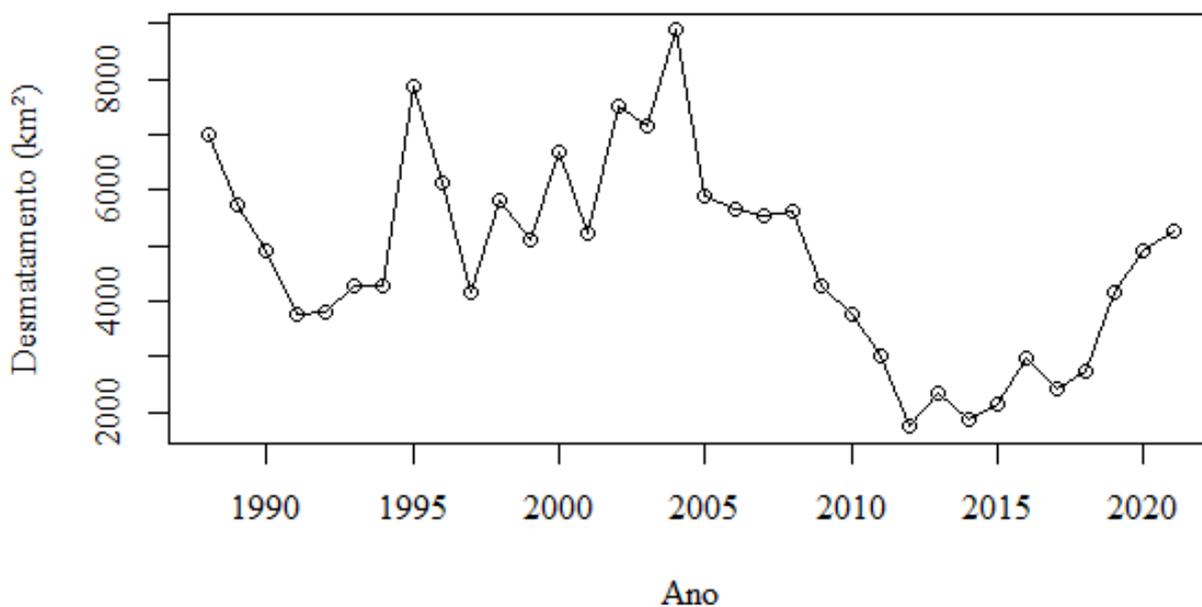
O novo código florestal publicado em 2012 trouxe mudanças substanciais, especialmente em relação as regras que definem as áreas de preservação permanente (APP) e o regime de conservação da reserva legal (RL). Mesmo havendo grandes mudanças quanto ao regime de conservação e preservação da vegetação nativa da Amazônia, o novo código florestal não resultou em alterações significativas no desmatamento (Tabela 2).

Contrapondo os resultados encontrados, Candiotto e Vargas (2018) analisaram o código e concluíram que as alterações levariam a impactos adversos como a diminuição da cobertura vegetal e de outros ecossistemas; comprometimento da integridade das APPs e RL; além da flexibilização da obrigatoriedade de reparação dos passivos ambientais. Faria et al. (2014) identificaram reduções na vegetação nativa total de APPs em propriedades do Estado de São Paulo após as modificações no código florestal, atribuindo as reduções aos menores valores estabelecidos para faixas de APP e a dispensa do dispositivo para nascentes intermitentes e para lagos artificiais menores que um hectare.

Por outro lado, o novo código florestal criou o cadastro ambiental rural (CAR) que, ainda que auto declaratório, auxilia os órgãos ambientais na aplicação do código florestal e identificação das áreas onde há necessidade de recomposição da vegetação nativa. A partir da implementação do CAR e com a pressão por parte de mercados importantes da soja, milho e proteína animal para o cumprimento da legislação ambiental, a busca pela adequação ambiental por meio de compensações ou projetos de restauração florestal vem crescendo em polos agropecuários no país, o que certamente contribuí para a recuperação e estabilização da perda de cobertura vegetal nativa. Importante destacar os passivos ambientais indenticados no CAR devem ser regularizados a partir da implementação de um projeto de recuperação de áreas degradadas – PRAD, o qual normalmente é desenvolvido em virtude de um Termo de Ajuste de Conduta (TAC) firmado entre pessoa física ou jurídica e o Ministério Público (ALMEIDA, 2016).

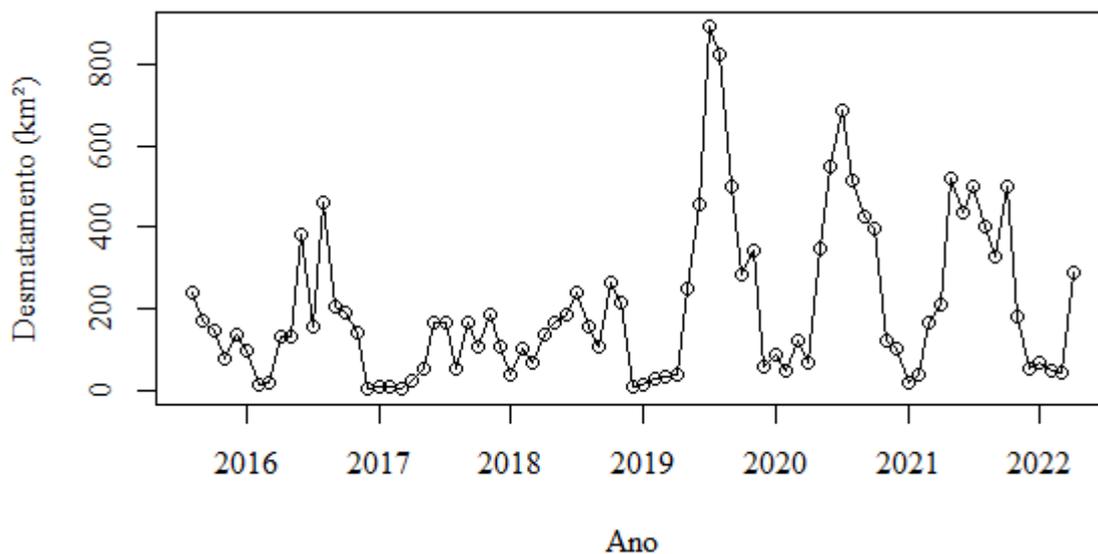
### 3.2 Desmatamento da Amazônia no Estado do Pará

O padrão de desmatamento da Amazônia dentro do território do Estado do Pará nas últimas três décadas segue um padrão muito similar ao da Amazônia Legal em geral (Figura 2). Levando em consideração que em 2021, o desmatamento no Pará foi responsável por aproximadamente 40% de toda a perda de vegetação nativa da região amazônica, é intuitiva a conclusão de acontecimentos dentro do Estado são os principais responsáveis pelo crescimento da taxa de desmatamento que é registrado nos últimos anos em todo o bioma. Analisando os dados mensais do desmatamento (Figura 3), verifica-se claramente a sazonalidade do fenômeno, atingindo picos nos meses de julho e agosto (Figura 4).



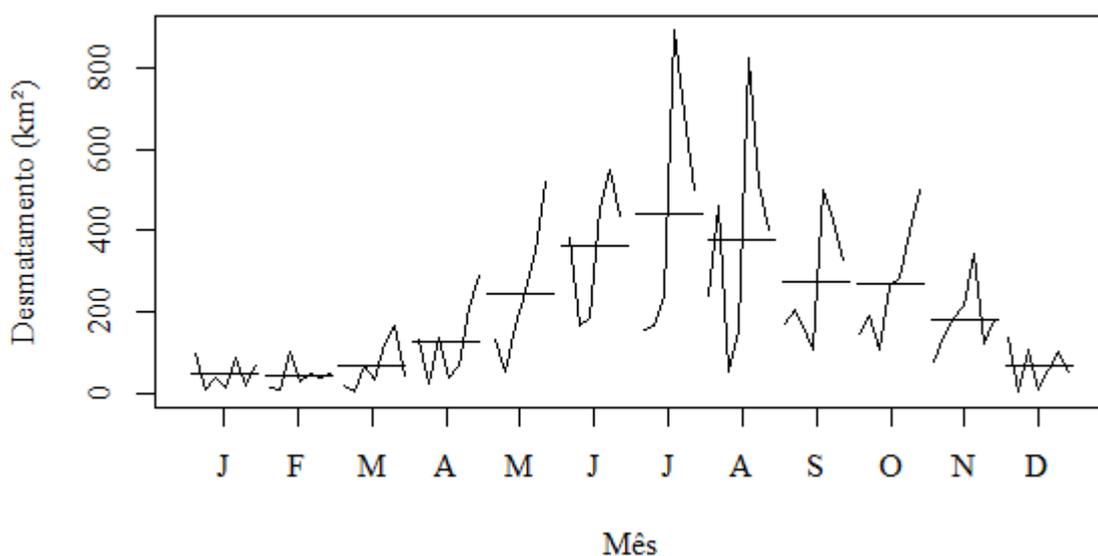
**Figura 2** – Desmatamento anual da Amazônia no Estado do Pará no período de 1988 a 2021.

**Fonte:** adaptado de INPE (2022b).



**Figura 3** – Desmatamento mensal da Amazônia no Estado do Pará no período de agosto de 2015 a abril de 2022 considerando as áreas de desmatamento com corte raso, desmatamento com vegetação e desmatamento para mineração.

**Fonte:** adaptado de INPE (2022c).



**Figura 4** – Padrão e médias mensais do desmatamento no Estado do Pará no período de agosto de 2015 a abril de 2022 considerando as áreas de desmatamento com corte raso, desmatamento com vegetação e desmatamento para mineração.

**Fonte:** resultado da pesquisa.

Ainda que a Amazônia por conta da sua extensão tenha uma variabilidade considerável de microclimas regionais, a concentração de chuvas ocorre normalmente no período de

dezembro a maio por influência da zona de convergência do Atlântico Sul e da Zona de convergência intertropical (SOUZA, KAYANO e AMBRIZZI, 2004; SOUZA e ROCHA, 2006; SOUZA et al. 2009). Por outro lado, os dados apresentados por Souza et al. (2016) apontam que o período de menor índice pluviométrico é de junho a agosto, sendo considerado o período de seca. Sendo assim, devido à relativa baixa incidência de chuvas, o período de junho a agosto é propício para a ocorrência de incêndios florestais e favorece as atividades de retirada da floresta, seja para venda da madeira ou para conversão das áreas em agricultura, pecuária ou mineração.

### 3.2.1 Análise de intervenção

Dos modelos testados para o desmatamento da parcela da Amazônia que ocorre no território do Estado do Pará, apenas o SARIMA (1,3,1)(0,2,1) ajustado com dados mensais e que tem como intervenção o momento de conclusão e início da plena operação da usina hidrelétrica de Belo Monte apresentou o coeficiente da variável dummy significativo (Tabela 3).

**Tabela 3** – Modelos ajustados na análise de intervenção – Estado do Pará.

Intervenção	Modelo	x (dummy)	p-valor (x)
Conclusão e plena operação da usina hidrelétrica de Belo Monte	ARMA (1,0,0)	989,23270	0,4082'
Início da operação da usina hidrelétrica de Belo Monte	SARIMA (2,3,1)(0,2,1)	197,10525	0,3197'
Conclusão e plena operação da usina hidrelétrica de Belo Monte	SARIMA (1,3,1)(0,2,1)	355,06037	0,0035**

\*\*Significativo a 1% de significância; 'Não significativo.

**Fonte:** resultado da pesquisa.

O resultado da análise de intervenção vai de encontro com os dados de desmatamento locais do PRODES (INPE, 2022), que registram o Município de Altamira como líder de desmatamento desde 2018. Altamira e outros quatro municípios são diretamente afetados pelo empreendimento da usina. Anapu, que é um dos municípios englobado por Belo Monte, é o 13º que mais desmata no Estado do Pará. Altamira e Anapu, juntos, representam 6,28% do

incremento no desmatamento durante o período de 2018 a 2021 em um universo de 144 municípios que formam o Estado.

O aumento significativo do desmatamento na região de impacto da usina de Belo Monte pode ser explicado pelas consequências que já eram previstas no relatório de impacto ambiental (Rima) em virtude do empreendimento. Dentre diversas consequências positivas e adversas, previa-se a construção de novas estradas e acessos, bem como a chegada de 96 mil migrantes para trabalhar nas obras ou aproveitar oportunidades de atender demandas por produtos e serviços (ELETROBRAS, 2009). No relatório também é apontada a possibilidade de aumento da atividade garimpeira ilegal no trecho de vazão reduzida, hipótese confirmada anos depois a exemplo do caso da operação federal que apreendeu R\$ 12,8 milhões em manganês extraídos ilegalmente próximo da linha de transmissão Xingu/Estreito (MPF, 2021).

#### **4 CONCLUSÃO**

Das políticas públicas desenvolvidas pelo poder executivo e legislativo brasileiro que foram analisadas, a criação da lei de gestão de florestas públicas e do Serviço Florestal Brasileiro resultou o maior impacto positivo na redução do desmatamento da Amazônia considerando o p-valor da análise de intervenção. O novo código florestal não alterou a taxa de desmatamento no período avaliado.

O aumento do desmatamento na região amazônica que vem ocorrendo nos últimos anos é um problema até certo ponto localizado, visto que os dados demonstram que boa parte da perda de vegetação nativa acontece no Estado do Pará. O foco do aumento do desmatamento concentra-se em torno da construção da usina hidrelétrica de Belo Monte na região Oeste do Estado, conforme os resultados da análise de intervenção. Sendo assim, dada as mudanças na região ocasionadas pelo grande empreendimento que podem facilitar atividades ilegais relacionadas ao desmatamento, é possível que a mitigação do problema começa pelo aumento do contingente das equipes e dos recursos para fiscalização e combate das atividades que promovem desmatamento nas cidades que mais perdem cobertura vegetal.

#### **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, D.S. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica [online]. 3rd ed. rev. e amp. Ilhéus: Editus, 2016. p. 140-158.

ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global. **Organizações & Sociedade**, v.15, n.45, p.29-45, 2008.

BISTENE, M. V. R. S.; GUIMARÃES, J. L. C. Desmatamento, população e desenvolvimento econômico no oeste do Pará nos eixos das Rodovias Santarém-Cuiabá e Transamazônica. **Natural Resources**, v.9, n.2, p.19-35, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2019.002.0003>

BOX, G. E. P.; JENKINS, J. M. **Time Series Analysis: Forecasting and control**. 2 ed. San Francisco: Holden-Day, 1976.

Box, G. E. P.; Tiao, G. Intervention analysis with applications to economic and environmental problems. **Journal of the American Statistical Association**, v.70, p.70–79, 1975.

BRASIL, 1934. **Decreto 23.793 de 23/01/1934 que institui o código florestal**. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1930-1949/d23793.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm)>. Acesso em: 30/04/2022.

BRASIL, 1965. **Lei 4.771 de 15/09/1965 que institui o novo código florestal**. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm)>. Acesso em: 30/04/2022.

BRASIL, 1999. **Decreto de 07/07/1999 que cria a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/DNN/Anterior%20a%202000/Dnn07-07-99-2.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/Anterior%20a%202000/Dnn07-07-99-2.htm)>. Acesso em: 13 de maio de 2022.

BRASIL, 2006. **Lei 11.284 de 02/03/2006 que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências**. Disponível em

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm)>. Acesso em: 30/04/2022.

BRASIL, 2009. **Lei 12.187 de 29/12/2009 que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências.** Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm)>. Acesso em: 15 de mar. de 2022.

BRASIL, 2012. **Lei 12.651 de 25/05/2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 30/04/2022.

CALANDINO; D.; WEHRMANN, M.; KOBLITZ, Rodrigo. Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 26, p. 161-170, 2012.

CANDIOTTO, L. Z. P.; VARGAS, F. A. Principais alterações no novo código florestal brasileiro e os potenciais impactos ao meio ambiente. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.9, n.22, p. 181-207, 2018.

CRYER, J. D.; CHAN, K.S. **Time series analysis: with applications in R.** 2 ed. New York: Spriger, 2008. 491 p.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v.74, n.366a, p. 427-431, 1979.

ELETOBRAS. **Rima:** relatório de impacto ambiental. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Belo-Monte.aspx>>. Acesso em: 19 de jun. de 2022.

FARIA, L. C. de; ADRIANO JÚNIOR, F. C.; TONELLO, K. C.; VALENTE, R. de O. A. Reflexos das alterações no Código Florestal Brasileiro em Áreas de Preservação Permanentes de duas propriedades rurais em Itu e Sarapuí, SP. **Revista Ambiente & Água**, v.9, n.3, p.559-568, 2014.

FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates and Consequences. **Conservation Biology**, v.19, n.3, p.680-688, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia**: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. v.1. Manaus: EDINPA, 2015.

FONSECA, A. L. C. 2009. **Do Serviço Florestal do Brasil (SFBr) de 1921 ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB) de 2006**. Disponível em: <<http://rima.im.ufrj.br:8080/jspui/bitstream/1235813/2856/1/Andre.pdf>>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

INPE. **TerraBrasilis**. Disponível em: <[http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates)>. Acesso em: 01 de maio de 2022a.

INPE. **Estimativa de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal para 2021 é de 13.235 km<sup>2</sup>**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/divulgacao-de-dados-prodes.pdf>>. Acesso em: 04 de maio de 2022b.

INPE. **TerraBrasilis**. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/alerts/legal/amazon/aggregated/#>>. Acesso em: 01 de maio de 2022c.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. **International Statistical Review**, v.55, p.163–172, 1987.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, v.65, p.297–303, 1978.

MAKRIDAKIS, S.; HIBON, M. ARMA Models and the Box-Jenkins Methodology. **Journal of Forecasting**, v. 16, n. 3, p. 147–163, 1997.

MESSIAS, C. G.; SILVA, M. B.; LIMA, T. C.; ALMEIDA, C. A. Análise das taxas de desmatamento e seus fatores associados na Amazônia Legal Brasileira nas últimas três décadas. **RAEGA**, v. 52, p. 18-41, 2021.

MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): fase 2016-2020**. Brasília: MMA, 2018.

MMA. **PPCDAm**. Disponível em: <<http://redd.mma.gov.br/pt/acompanhamento-e-a-analise-de-impacto-das-politicas-publicas/ppcdam#:~:text=O%20Plano%20de%20A%3%A7%C3%A3o%20para,desenvolvimento%20sustent%C3%A1vel%20na%20Amaz%C3%B4nia%20Legal>>. Acesso em: 17 de maio de 2022.

MPF. **Operação contra garimpo no linhão de Belo Monte apreende R\$ 12,8 milhões em minério extraído ilegalmente, no PA**. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/pa/sala-de-imprensa/noticias-pa/operacao-contragarimpo-no-linhao-de-belo-monte-apreende-r-12-8-mil-hoes-em-minerio-extraido-ilegalmente-no-pa-1>>. Acesso em: 19 de jun. 2022.

PASQUIS, R; SILVA, A. V.; JOSEPH WEISS, J.; MACHADO, L. “Reforma agrária” na Amazônia: balanço e perspectivas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 1, p. 83-96, 2005.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2022.

SOARES-FILHO, B. S. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, v.19, n.54, p.137-152, 2005.

SOUZA, E.B.; KAYANO, M.T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 113–122, 2004.

SOUZA, E.B.; ROCHA, E.J.P. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 142-152, 2006.

SOUZA, E. B. et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MOARES, B. C.; NACIF, A.; DA SILVA FERREIRA, D. B.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, P. J. D. O. P. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.

SOUZA, A. A. A.; PONTES, A. N.; ADAMI, N.; NARVAES, I. S. A Contribuição das Estradas e o Padrão de Desflorestamento e Degradação da Cobertura Florestal no Sudoeste Paraense. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.69, p.1833-1846, 2017.

TARDIN, A. T.; LEE, D. C. L.; SANTOS, R. J. R.; ASSIS, O. R.; BARBOSA, M. P. S.; MOREIRA, M. L.; PEREIRA, M. T.; SILVA, D.; SANTOS FILHO, C. P. **Subprojeto Desmatamento**. São José dos Campos: INPE, 1980.

TOURNEAU, F. M. L.; BURSZTYN, M. Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. **Ambiente & Sociedade**, Campinas v. 8, n. 1, p. 111-130, 2010.

YOUNG, W. L. The Box-Jenkins approach to time series analysis and forecasting: principles and applications. **Operations Research**, v. 11, n. 2, p. 129-143, 1977.

## CONCLUSÃO GERAL

Os números e variabilidade dos dados históricos associados ao setor florestal representam de forma clara o impacto econômico, social e ambiental na sociedade brasileira, conforme detalhado nas três pesquisas deste trabalho. Dada a natureza de longo prazo dos eventos dentro do contexto florestal, as metodologias de análise de séries temporais aplicadas foram eficientes na modelagem de fenômenos econômicos da cadeia produtiva e conservação de recursos florestais, bem como geraram conclusões de aplicação prática aos negócios do setor e relevantes ao interesse público.

## REFERÊNCIAS

ACQUAH, S. B.; AVUGLAH, R. K.; HARRIS, E. Time series behavior of the volume of wood products export in Ghana. **International Journal of Statistics and Probability**, v. 3, n. 4, p. 12, 2014.

ÅKERLUND, A. **Time-Series Analysis of Pulp Prices**. Disponível em: < <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1464051/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 06 de nov. de 2021.

ALMEIDA, A. N.; BITTENCOURT, A. M.; SANTOS, A. J.; EISFELD, C. de L.; SOUZA, V. S. Evolução da produção e preço dos principais produtos florestais não madeireiros extrativos do Brasil. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 282-287, 2009.

ANALYTICS VIDHYA. **A Complete Tutorial on Time Series Modeling in R**. Disponível em: <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2015/12/complete-tutorial-time-series-modeling/>> Acesso em: 17 de agosto de 2021.

ANANDHI, V.; CHEZIAN, R. Manicka; PARTHIBAN, K. T. Forecast of demand and supply of pulpwood using artificial neural network. **International Journal of Computer Science and Telecommunications**, v. 3, n. 6, p. 35-38, 2012.

ANDRADE, C. A. **Contribuições econômicas do setor florestal brasileiro com ênfase no**

**estado da Bahia.** 84 f. 2021. Dissertação (Mestrado em Economia Regional e Políticas Públicas) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2021.

ANDREJOW, G. M. P.; PEDRASSANI, D.; TUSSULINI, F.; ANGELO, A. C.; TAMBARUSSI, E. V.; AUER, C. G. Planalto norte catarinense: considerações sobre o setor florestal e a eucaliptocultura. **Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 8, n. 2, p. 143-168, 2018.

AVILA, S. R. S. A.; BERNARDI, J. V. E.; COUTO JUNIOR, A. F.; AVILA, M. L. Assentamentos rurais e as possíveis relações com as dinâmicas de desmatamento na Amazônia: uma revisão sistemática. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 4, p. 170-188, 2017.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório de Inflação. **Relatório de Inflação**, v.23, n.2, p. 1-73, 2021.

BOX, G. E.P.; JENKIS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. **Time series analysis**. 5 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

BRASIL. Ministério do Planejamento. **Avança Brasil: Plano Plurianual 2000-2003/Orcamento da União 2000**. Brasília, 1999. 359 p.

CALDERON, R. A. **Mercado de produtos florestais não madeireiros na Amazônia brasileira**. 84f. 2013. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CARPENTIER, C. L.; VOSTI, S. A.; WITCOVER, J. Intensified production systems on western Brazilian Amazon settlement farms: could they save the forest?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 82, n. 1-3, p. 73-88, 2000.

COELHO, L. S.; SILVA, W. V.; PROTIL, R. M. Previsão não-linear dos preços de troncos de eucalipto baseada em uma abordagem neuroevolutiva. **Gestão & Produção**, v. 14, p. 139-154, 2007.

COELHO, L. S.; SILVA, W. V.; PROTIL, R. M. **Rede neural com otimização por evolução diferencial aplicada à previsão dos preços de madeira de eucalipto**. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0121.pdf> >. Acesso em: 06 de nov. de 2021.

COELHO JUNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P. D.; CALEGARIO, N.; SILVA, M. L. D. Análise longitudinal dos preços do carvão vegetal, no estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 30, p. 429-438, 2006.

CONSÓRCIO BRASILIANA. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). **Programa Brasil em ação: Eixos nacionais de integração e desenvolvimento**. Brasília, DF, 2000.

CORDEIRO, S. A.; SOARES, N. S.; BRAGA, M. J.; SILVA, M. L. Previsões do preço de exportação da madeira serrada de Pinus no Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 86, p. 205-214, 2010.

CRYER, J. D.; CHAN, K.S. **Time series analysis: with applications in R**. 2. ed. New York: Springer, 2008. 491 p.

EHLERS, R. S. **Análise de séries temporais**. 5. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. 118p.

ELGAR, F. J.; STEFANIAK, A.; WOHL, M. J. A. The trouble with trust: Time-series analysis of social capital, income inequality, and COVID-19 deaths in 84 countries. **Social Science & Medicine**, v. 263, 2020.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987.

ERSEN, N.; AKYÜZ, İ.; BAYRAM, B. Ç. The forecasting of the exports and imports of paper and paper products of Turkey using Box-Jenkins method. **Eurasian Journal of Forest Science**, v. 7, n. 1, p. 54-65, 2019.

FEARNSIDE, P. A. **Destrução e conservação da floresta amazônica**. Manaus: Editora do INPA, 2022. 356 p.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E.; HELMANN, A. C.; ANDRADE, M. D. M. Redes neurais artificiais: Princípios básicos. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 13, p. 47-57, 2016.

GONSALVES, O. A study of sentiment analysis and sales prediction: tourism Domain. **International Journal of Engineering Research & Technology**, v. 9, n. 12, p. 48-54, 2020.

GRANGER, C. W. J. Some properties of time series data and their use in econometric model specification. **Journal of Econometrics**, v. 16, n.1, p. 121-130, 1981.

GRANGER, C.W.J. **Co-integrated variables and error-correcting models**. 1983. Tese (Doutorado) – University of California, San Diego, 1983.

GRANGER, C. W. J.; WEISS, A. A. Time Series Analysis of Error-Correcting Models. **Studies in Econometrics, Time Series, and Multivariate Statistics**, p.255-278, 1983.

HANUSCH, M. **Equilíbrio delicado para a Amazônia Legal Brasileira**: um memorando econômico (Português). Washington: World Bank Group, 2023.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2007. 900 p

IBÁ. **Relatório anual 2020**. Brasília: Ibá, 2020.

IBÁ. **Relatório anual 2022**. Brasília: Ibá, 2022.

IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura 2019. **Prod. Extr. veg. e Silvíc.**, v. 34, p. 1-8, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Apagão Florestal: comércio de madeira tende a aquecer**. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/apagao-florestal>>. Acesso em: 25 de out. de 2023.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, n. 16, p. 3-30, 2002.

KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 4, n. 3, p. 145-152, 2001

LI, M.; HINNOV, L.; KUMP, L. Acycle: Time-series analysis software for paleoclimate research and education. **Computers & Geosciences**, v. 127, p. 12-22, 2019.

LOPES, M. S. **A importância econômica do setor florestal no Brasil**. Disponível em: <<https://www.matanativa.com.br/importancia-economica-setor-florestal/>>. Acesso em: 06 de nov. de 2021.

MACHADO, W. C.; FONSECA JÚNIOR, E. S. Redes neurais artificiais aplicadas na previsão do VTEC no Brasil. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, p. 227-246, 2013.

MAKRIDAKIS, S.; HIBON, M. ARMA Models and the Box-Jenkins Methodology. **Journal of Forecasting**, v. 16, n. 3, p. 147–163, 1997.

MARTIN, A. C.; HENNING, E.; WALTER, O. M. F. C.; KONRATH, A. C. Análise de séries temporais para previsão da evolução do número de automóveis no Município de Joinville. **Revista Espacios**, v. 37, n.6, 2016.

MARTINS, G; KURESKI, R; KALLUF, N.S O setor florestal na economia paranaense: uma abordagem da matriz de insumo-produto. **Rev. FAE**, v. 18, n. 2, p.68 - 83, 2015.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Previsão de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Atual Editora, 1985.

NOGUEIRA FILHO, F. P.; BAJAY, M. M.; SOUSA, J. A.; ARAÚJO, J. D. M.; CORREIA, D. Viabilidade econômica da produção de eucalipto no polo moveleiro de Marco-Ceará. **Revista iPecege**, v. 3, n. 4, p. 22-34, 2017.

PERMAN, R. Cointegration: an introduction to the literature. **Journal of Economic Studies**, v. 18, n. 3, p. 3-30, 1991.

PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; SANCHES, I.; SIMÕES, R.; CARVALHO, A.; MACIEL, A.; COUTINHO, A.; ESQUERDO, J.; ANTUNES, J.; BEGOTTI, R. A.; ARVOR, D.; ALMEIDA, C. Big earth observation time series analysis for monitoring Brazilian agriculture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 145, p. 328-339, 2018.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 20, p. 601-636, 2011.

PSCHIEDT, H.; BEHLING, A.; RUZA, M. S.; ARCE, J. E.; SCHNEIDER, A. V. Exportação brasileira de madeira serrada de coníferas para os Estados Unidos: previsão da demanda e preço. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, n. 1, p. 21-32, 2020.

QI, H.; XIAO, S.; SHI, R.; WARD, M. P.; CHEN, Y.; TU, W.; SU, Q.; WANG, W.; WANG, X.; ZHANG, Z. COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis. **Science of The Total Environment**, v. 728, 2020.

RAUBER, T. W. Redes neurais artificiais. **Universidade Federal do Espírito Santo**, v. 29, 2005.

REICHERT, B.; SOUZA, A. M. Previsão e interação dos preços da celulose brasileira nos mercados interno e externo. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 501-515, 2020.

REUTERS. **Mercado de celulose se aproxima de inflexão na curva de preço, vê Suzano.** Disponível em: < <https://epocanegocios.globo.com/Mercado/noticia/2020/02/epoca-negocios-mercado-de-celulose-se-aproxima-de-inflexao-na-curva-de-precos-ve-suzano.html>>. Acesso em: 09 de nov. de 2021.

REZENDE, J. L. P.; COELHO, L. M.; OLIVEIRA, A. D.; SÁFADI, T. Análise dos preços de carvão vegetal em quatro regiões no Estado de Minas Gerais. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 237-252, 2005.

SALGOTRA, R.; GANDOMI, M.; GANDOMI, A. H. Time series analysis and forecast of the COVID-19 pandemic in India using genetic programming. **Chaos, Solitons & Fractals**, v. 138, 2020.

SANDU, M. C.; DRUICĂ, E.; IANOLE, Ra. A time series analysis using r for understanding car sales on the romanian market. **Romanian Statistical Review**, v. 63, n. 3, p. 130-140, 2015.

SILVA, A. P.; SCHLINDWEIN, M. M.; SILVA, A. B. M. Previsão de preço da celulose e papel no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ciências Rurais em Foco**, v. 1, p. 8-23, 2020.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Avaliação de Risco em Investimentos Florestais. **Bol. Pesq. Fl.**, n. 52, p. 79-92, 2006.

SIVARAM, M. Modeling the price of trends of teak wood using statistical and artificial neural network techniques. **Electronic Journal of Applied Statistical Analysis**, v. 7, n. 2, p. 180-198, 2014.

SNIF. **Boletim SNIF 2019**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2019.

SOARES, N. S.; SILVA, M. L. D.; REZENDE, J. L. P. D.; LIMA, J. E. D.; CARVALHO, K. H. A. D. Elaboração de modelo de previsão de preço da madeira de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 16, p. 41-52, 2010.

SOUSA, E. P.; SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R. Desempenho do setor florestal para a economia brasileira: uma abordagem da matriz insumo-produto. **Revista Árvore**, v.34, n.6, p.1129-1138, 2010.

SOUZA, V. S.; NUÑES, B. H. C.; ALMEIDA, A. N.; EISFELD, C. L. **Utilização da metodologia de Box & Jenkins na previsão do preço futuro pago as exportações paranaenses de madeira serrada.** Disponível em: <[http://www.ecopar.ufpr.br/artigos/a7\\_091.pdf](http://www.ecopar.ufpr.br/artigos/a7_091.pdf)>. Acesso em: 06 de nov. de 2021.

ŠTELEMĚKAS, M.; MANTHEY, J.; BADARAS, R.; CASSWELL, S.; FERREIRA-BORGES, C.; KALĖDIENĖ, R.; LANGE, S.; NEUFELD, M.; PETKEVIČIENĖ, J.; RADIŠAUSKAS, R.; ROOM, R.; TELKSNYS, T.; ZURLYTĖ, I.; REHM, J. Alcohol control policy measures and all-cause mortality in Lithuania: an interrupted time-series analysis. **Addiction**, 2021.

STRAND, J. **Valuation of the Brazilian Amazon Rainforest.** Washington: Banco Mundial, 2022.

SUZANO. **Suzano investirá R\$ 14,7 bilhões na construção de nova fábrica de celulose no Mato Grosso do Sul.** Disponível em: <<https://www.suzano.com.br/suzano-investira-r-147-bilhoes-na-construcao-de-nova-fabrica-de-celulose-no-mato-grosso-do-sul/>>. Acesso em: 09 de nov. de 2021.

TIGAS, G.; LEFAKIS, P.; IOANNOU, K.; HASEKIOGLOU, A. Evaluation of artificial neural networks as a model for forecasting consumption of wood products. **International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies** 10, v. 5, n. 1, p. 38-48, 2013.

VOYANT, C.; NIVET, ML.; PAOLI, C.; MUSELLI, M.; NOTTON, G. Meteorological time series forecasting based on MLP modelling using heterogeneous transfer functions. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 574, 2015.

YOUNG, W. L. The Box-Jenkins approach to time series analysis and forecasting: principles and applications. **Operations Research**, v. 11, n. 2, p. 129-143, 1977.

VALVERDE, S. R.; MAFRA, J. W. A.; MIRANDA, M. A.; SOUZA, C. S.; VASCONSELOS, D. C. Silvicultura brasileira: oportunidades e desafios da economia verde. **Coleção de Estudos sobre Diretrizes para uma Economia Verde no Brasil**, 2012.

ZANETTI, E. **História Florestal**. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?id=30362&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 19 de set. de 2021.

ZELLNER, A (Ed.). **Seasonal analysis of economic time series**. Washington: US Department of Commerce, 1978.