# TESTE DA HIPÓTESE DE ESTACIONARIEDADE PARA AMOSTRA DE COMPOSIÇÕES DE CUSTO UNITÁRIO DE SERVIÇOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ORIUNDAS DO SINAPI

## Test of the Stationarity Hypothesis for a Sample of Compositions of Unitary Cost of Construction Services from SINAPI

**Adriana de Oliveira Santos Weber**
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | os.adriana@gmail.com

**Roberto Barbosa dos Santos**
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | rbs@ctec.ufal.br

**Felipe Felix Santos**
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | felipefelix268@gmail.com

**Marília Suelen de Barros Couto**
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | marilia.couto@ctec.ufal.br

**Thiago Rodrigues Santos**
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | thiago.rodrigues@ctec.ufal.br

**Ismael Weber**
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | ismael.weber@ctec.ufal.br

## RESUMO

A integração de conhecimentos dos campos de orçamentação, estatística e computação desempenha um papel crucial ao auxiliar a construção civil na busca pela evolução de sua produtividade. Este trabalho teve como objetivo analisar a evolução da produtividade da construção civil por meio da aplicação de testes de estacionariedade em séries temporais modeladas a partir dos coeficientes da razão unitária de produção de uma amostra de composições de custo unitário do SINAPI. A metodologia encontra-se dividida em três fases principais: a primeira fase é uma revisão bibliográfica, onde são apresentadas as definições e conceitos relevantes para o desenvolvimento do tema; a segunda fase discute modelagem numérica da série temporal, onde são selecionadas as composições de custo unitário representativas para análise estatística e a terceira fase trata da aplicação do método de Box-Jenkins para identificação do modelo que melhor descreve o comportamento das séries temporais. Os resultados mostraram que a produtividade da indústria da construção civil brasileira tem experimentado uma redução contínua ao longo das últimas duas décadas. Além disso, para tarefas de eliminação da tendência determinística das séries temporais, ficou evidente que a técnica de diferenciação detém uma melhor performance quando comparada à técnica de decomposição dos componentes.

**Palavras-chave:** Orçamento; Série Temporal; Estacionariedade.

## ABSTRACT

*The integration of knowledge from the fields of budgeting, statistics and computing plays a crucial role in helping the construction industry to improve its productivity. The aim of this study was to analyze the evolution of civil construction productivity by applying stationarity tests to time series modeled from the unit production ratio coefficients of a sample of SINAPI unit cost compositions. The methodology is divided into three main phases: the first phase is a literature review, where the definitions and concepts relevant to the development of the theme are presented; the second phase discusses the numerical modeling of the time series, where representative unit cost compositions are selected for statistical analysis and the third phase deals with the application of the Box-Jenkins method to identify the model that best describes the behavior of the time series. The results showed that the productivity of the Brazilian construction industry has been in continuous decline over the last two decades. In addition, for the task of eliminating the deterministic trend from the time series, it was clear that the Differentiation technique performed better than the Component Decomposition technique.*

***Keywords:*** *Budget; Time Series; Stationarity.*

# 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor fundamental para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país, representando uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB). No entanto, o setor enfrenta desafios crescentes relacionados à produtividade, que tem apresentado queda nas últimas décadas (FGV, 2023). Essa redução da produtividade é resultado de uma combinação de fatores, como a falta de monitoramento e controle durante a execução das obras, falhas no planejamento, baixa qualificação da mão de obra e problemas de gestão (EY, 2016; CBIC, 2014). No Brasil, o Indicador Setorial de Produtividade do Trabalho demonstrou uma redução média anual de 0,4% entre 1995 e 2024 de acordo com o Observatório de Produtividade Regis Bonelli, evidenciando a necessidade de medidas que promovam ganhos de eficiência.

A literatura especializada destaca que a produtividade na construção civil é influenciada por diversos fatores, que podem ser classificados em quatro categorias principais: fatores tecnológicos, que incluem a adoção de novas tecnologias e automação; fatores gerenciais, que envolvem o planejamento e controle dos projetos; fatores trabalhistas, que dizem respeito à qualificação da mão de obra e às condições de trabalho; e fatores externos, como condições econômicas e regulamentações governamentais (MGI, 2017; CBIC, 2014; FGV, 2023).

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar a evolução da produtividade da construção civil por meio da aplicação de testes de estacionariedade em séries temporais modeladas a partir dos coeficientes da razão unitária de produção (RUP) de composições de custo unitário do SINAPI. O modelo de série temporal desenvolvido não tem como objetivo prever valores futuros de produtividade do setor e não aborda processos inflacionários. A metodologia abrangeu a coleta de dados, a modelagem numérica da série temporal e a aplicação do método de Box-Jenkins, com foco na identificação dos padrões de comportamento das séries.

Espera-se que os resultados obtidos contribuam para a compreensão das tendências que afetam a produtividade da construção civil, oferecendo insights que possam apoiar a formulação de estratégias para melhorar o desempenho do setor.

# 2 REFERENCIAL TEÓRICO

## 2.1 MEDIDAS DE PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dentro do processo de orçamentação, definido pela ABNT (2017, p. 6), a composição de custo unitário (CCU) é o agrupamento sistematizado de insumos necessários para um serviço, associados aos seus preços. As composições de custo unitário são apresentadas em tabelas com cinco colunas: Insumos, Unidades, Coeficiente, Custo Unitário e Custo Total. A produtividade na construção civil pode ser analisada através da Razão Unitária de Produção (RUP), que é o inverso da produtividade, representando o tempo necessário para produzir uma unidade de serviço.

## 2.2 SÉRIES TEMPORAIS E ESTACIONARIEDADE

A análise de séries temporais é fundamental para compreender o comportamento de variáveis ao longo do tempo. Uma série é estacionária quando suas propriedades estatísticas - média, variância e autocorrelação - permanecem constantes ao longo do tempo (MORETTIN e TOLOI, 2006). Foram aplicados dois testes principais: ADF (Augmented Dickey-Fuller), que avalia a presença de raiz unitária, e KPSS, que testa a estacionariedade em torno de uma tendência determinística (CARVALHO, 2020; EPIFÂNIO, 2015). O teste ADF verifica se a série não é estacionária, enquanto o teste KPSS avalia o oposto.

O teste ADF é avaliado a partir da equação 1:

$$\Delta Y_t = \psi \times Y_{t-1} + u_t \quad (1)$$

Onde a hipótese nula $H_0$: $\psi = 0$ indica presença de raiz unitária, ou seja, uma série não estacionária.

O teste KPSS, por sua vez, é baseado na equação 2:

$$KPSS = \sum_{t=1}^{N} \frac{S_t^2}{N^2 \times \hat{\sigma}_\epsilon^2} \quad (2)$$

Onde $S_t$ é a soma parcial dos resíduos, $N$ é o número de observações e $\hat{\sigma}_\epsilon^2$ é a razão entre a soma dos quadrados dos erros e o número de observações. Aqui, a série é estacionária se $KPSS = 0$.

## 2.3 FUNÇÕES DE CORRELAÇÃO

A Função de Autocorrelação (ACF) mede o grau de correlação entre os valores da série em diferentes *lags*, enquanto a Função de Autocorrelação Parcial (PACF) isola o efeito direto entre os valores, desconsiderando os efeitos intermediários. Esses coeficientes são visualizados em correlogramas, que identificam padrões temporais e ajudam a determinar o modelo mais adequado (OLIVEIRA, 2020; NIELSEN, 2021). A correta interpretação desses gráficos é crucial para o desenvolvimento de modelos preditivos.

Os coeficientes de autocorrelação e autocorrelação podem ser obtidos, respectivamente, a partir das equações 3 e 4:

$$\rho_X(h) = \frac{Cov(X_t, X_{t+h})}{Var[X]} \quad (3)$$

$$\tau_X(h) = \frac{Cov(Y_t, Y_{t+h})}{\sqrt{Var[Y_t] \times Var[Y_{t+h}]}} \quad (4)$$

Onde $X_i$ são pontos da série temporal, $Y_i$ são resíduos de ajuste das séries temporais, h é o atraso entre os pontos da série temporal e $\rho_X(h)$ e $\tau_X(h)$ são os coeficientes de autocorrelação e autocorrelação parcial, respectivamente. (OLIVEIRA, 2020; NIELSEN, 2021).

## 2.4 MODELOS AUTORREGRESSIVOS

Os modelos autorregressivos (AR), bem como seus derivados (MA, ARMA, ARIMA e SARIMA), são amplamente utilizados para modelar séries temporais, permitindo capturar padrões complexos de comportamento ao longo do tempo. A escolha do modelo mais adequado depende da análise dos gráficos ACF e PACF, que revelam o comportamento da série.

Para a escolha do modelo que melhor atende a série temporal estudada, a Tabela 1 oferece informações que auxiliam na tomada de decisão na seleção do modelo.

**Tabela 1:** Comparativo entre modelos de ajustes de séries temporais a partir do comportamento dos gráficos ACF e PACF

| TIPO DE GRÁFICO | AR(p) | MA(q) | ARMA |
|---|---|---|---|
| Comportamento ACF | Queda lenta | Queda acentuada após o *lag* = q | Sem *cutoff* acentuado |
| Comportamento PACF | Queda acentuada após o *lag* = p | Queda lenta | Sem *cutoff* acentuado |

**Fonte**: Nielsen (2021)

A partir das com as orientações da Tabela 1 e os resultados obtidos a partir da geração dos correlogramas presentes neste trabalho, apenas modelos autorregressivos de ordem 1 serão utilizados para análise das séries temporais.

A equação 5 representa um modelo AR de ordem 1:

$$y_t = \phi_0 + \phi_1 \times y_{t-1} + e_t \quad (5)$$

## 2.5 TESTE DE LJUNG-BOX

O teste de Ljung-Box avalia a veracidade das conclusões obtidas pelos correlogramas (CARVALHO, 2020; EPIFÂNIO, 2015). Ele calcula o valor Q, que é comparado com uma distribuição qui-quadrado para determinar se há autocorrelação significativa entre os dados de uma série temporal.

O teste de Ljung-Box pode ser verificado por meio da equação 6:

$$Q(k) = n(n+2)\sum_{j=1}^{k} \frac{\hat{r}_j^2}{(n-j)} \quad (6)$$

Onde $\hat{r}$ são os coeficientes de autocorrelação amostral para os atrasos de 1 até k, n o tamanho da amostra, e k o número de defasagens da função de autocorrelação.

# 3 METODOLOGIA

## 3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DE DADOS

O estudo utilizou dados mensais do SINAPI referentes ao estado de Alagoas, abrangendo o período de abril de 2017 a novembro de 2022, totalizando 68 observações mensais. O processo de seleção de composições de custo unitário seguiu três etapas bem definidas, detalhadas neste tópico.

A pré-seleção identificou as 50 composições mais frequentes em projetos de edificações residenciais, garantindo a representatividade dos serviços mais comuns.

Em seguida, a Curva ABC permitiu classificar os itens por ordem de importância, aplicando o princípio de Pareto, onde uma minoria dos itens corresponde à maior parte do custo total (ANDRADE, 2018).

Assim, as composições foram então classificadas em duas categorias principais, seguindo a metodologia proposta por Mattos (2009):

- Trabalho: Insumos de mão de obra (ex.: pedreiro, servente, encarregado), medidos em horas (h, CHI, CHP). Esta categoria representou em média 58,7% do custo total analisado.

- Capital: Materiais (ex.: cimento, areia, tijolos) e equipamentos (ex.: betoneira, britador), medidos em unidades físicas ou monetárias. Representou os 41,3% restantes.

## 3.2 MODELAGEM DAS SÉRIES TEMPORAIS

A variável utilizada na modelagem das séries temporais foi a Razão Unitária de Produção (RUP), obtida a partir dos coeficientes das composições. Para cada mês do período estudado, calculou-se a RUP mensal ponderada (ρ) através da equação 7:

$$\rho = \sum_{t=1}^{M} e_t \times P_t \qquad (7)$$

Onde:

$e_t$ = RUP específica da composição t, calculada como a soma dos coeficientes de todos os insumos da composição;

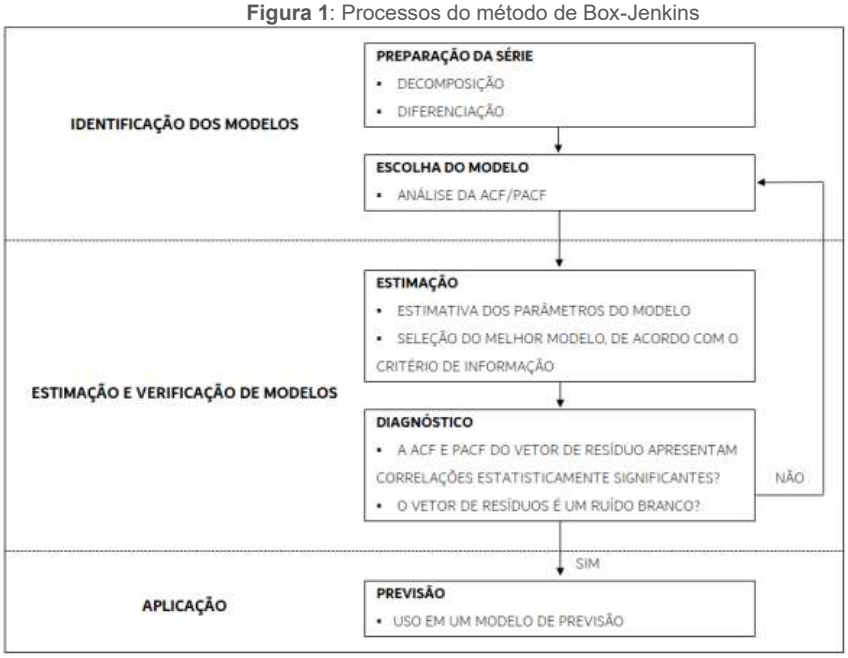
$P_t$ = Peso percentual da composição t na Curva ABC;

Este cálculo foi realizado separadamente para as séries *Trabalho* e *Capital*, gerando duas séries temporais distintas para análise. A ponderação pela Curva ABC, conforme sugerido por Andrade (2018), garante que composições mais relevantes tenham maior peso na análise agregada.

## 3.3 IMPLEMENTAÇÃO PARCIAL DO MÉTODO DE BOX-JENKINS

Foi aplicado o método de Box-Jenkins (EPIFÂNIO, 2015; CARVALHO, 2020), uma abordagem consagrada para análise de séries temporais. A Figura 1 exibe as principais etapas deste método.

**Figura 1**: Processos do método de Box-Jenkins




**Fonte**: Adaptado de Toscano (2012 apud EPIFÂNIO, 2015)

O estudo concentrou-se apenas na fase de identificação dos modelos, onde foram analisados os gráficos de séries temporais e as funções de correlação (ACF e PACF), essenciais para definir o modelo autorregressivo mais apropriado. No estudo, optou-se por utilizar modelos AR(1) para ambas as séries, trabalho e capital, uma vez que o comportamento dos gráficos indicou que essa era a configuração mais adequada. A avaliação da estacionariedade foi realizada por meio dos testes ADF e KPSS, que forneceram suporte estatístico para confirmar que as séries modeladas atendiam aos critérios de estacionariedade necessários para uma análise consistente.

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mediante a inspeção visual sobre o comportamento dos valores originais das séries temporais, serão apresentadas suas taxas de crescimento anuais compostas. A posteriori, são discutidos os produtos das transformações das séries e, as técnicas de diferenciação e decomposição dos componentes são implementadas, visando a obtenção de função amostral ajustada para os testes de estacionariedade e aleatoriedade.

## 4.1 INSPEÇÃO VISUAL

Os resultados da análise gráfica mostraram que as séries temporais de produtividade da construção civil apresentaram variações significativas ao longo do período estudado. A série Trabalho apresentou um comportamento relativamente estável, enquanto a série Capital mostrou maior volatilidade. O ponto de inflexão observado em setembro de 2020 destacou uma mudança no padrão de comportamento das séries, refletindo possíveis impactos de fatores externos, como a pandemia de COVID-19 e oscilações econômicas (FGV, 2023).

## 4.2 PADRÕES DE CRESCIMENTO

O cálculo da taxa de crescimento anual composta (CAGR) revelou uma queda contínua na produtividade da construção civil, com taxas de declínio de 0,61% para a série Trabalho e 0,63% para a série Capital. Esses valores confirmam a tendência negativa identificada em estudos anteriores (FGV, 2023). A análise reforça que o setor tem enfrentado dificuldades para manter a eficiência, especialmente em relação à gestão de recursos materiais e de mão de obra (CBIC, 2014).

## 4.3 TRANSFORMAÇÃO DAS SÉRIES

### 4.3.1 Diferenciação de Primeira Ordem

A diferenciação em 1ª ordem de uma série temporal calcula a diferença entre um valor específico e o valor imediatamente anterior a ele. Utiliza-se a equação 8 para este cálculo.

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \quad (8)$$

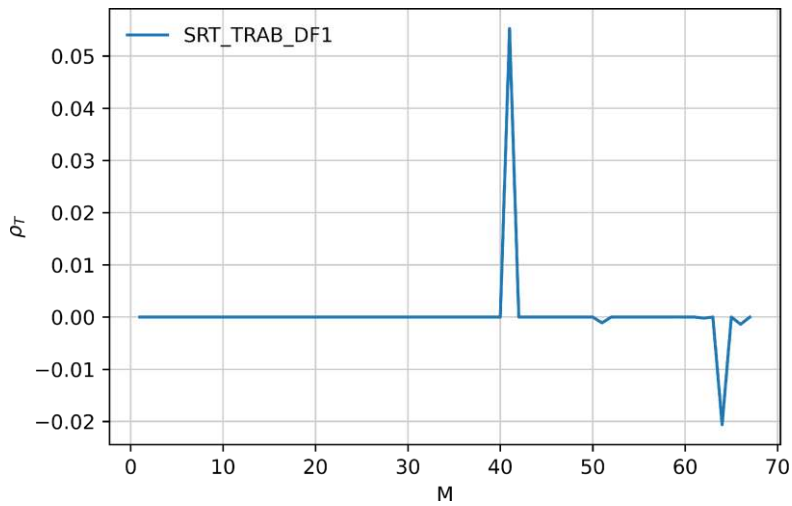
Onde:

$\Delta y_t$ = é a série diferenciada de primeira ordem;
$y_t$ = é o valor da série temporal no tempo $t$;
$y_{t-1}$ = é o valor da série temporal no tempo $t - 1$.

Esta técnica de diferenciação visa eliminar componentes de tendência, efeitos sazonais e outros fatores indesejáveis que podem influenciar a análise de séries temporais.

O comportamento gráfico da diferenciação da série trabalho sugere a atenuação de variações indesejáveis e a obtenção de uma série que parece mais estacionária, o que facilita análises estatísticas e interpretações mais confiáveis.

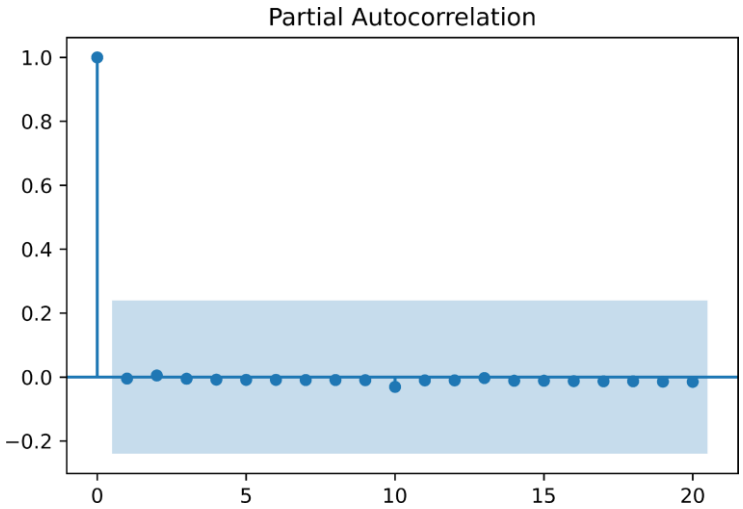
**Figura 2**: Série Trabalho diferenciada em 1ª ordem




**Fonte**: Autores (2023)

Analisando a qualidade do modelo numérico obtido por meio da aplicação desta técnica, apresenta-se na Figura 3 o gráfico da função de autocorrelação parcial (PACF) correspondente aos valores que foram submetidos à diferenciação nesta série. Observa-se que nenhum dos valores presentes na função de autocorrelação parcial excede o limite de significância. Esse aspecto sugere a ausência de correlações notáveis entre os valores da série após o processo de diferenciação.

**Figura 3**: PACF da Série Trabalho diferenciada em 1ª ordem

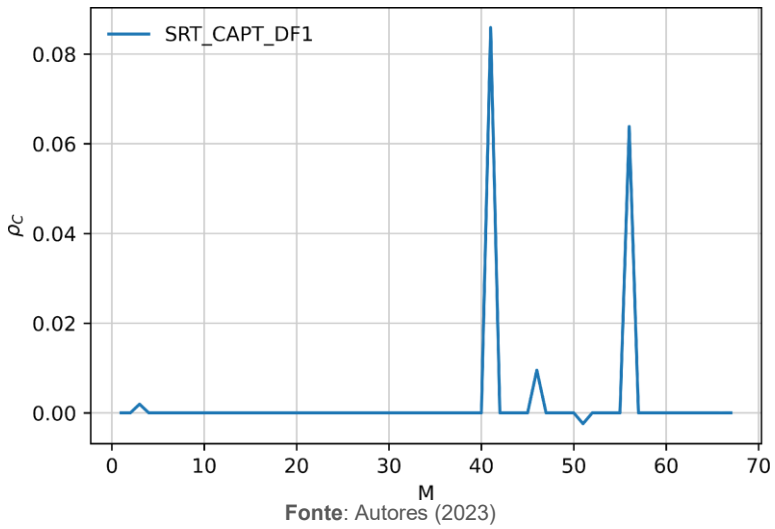



**Fonte**: Autores (2023)

A avaliação da qualidade desse modelo não deve limitar-se apenas à medida do grau de ajuste dos valores da autocorrelação parcial dentro da região delimitada pelo threshold de significância - que é representado pela área azul na Figura 3. Com base nos resultados do teste de aleatoriedade de Ljung-Box não se pode rejeitar a hipótese nula de que os dados carecem de correlação serial. Essa constatação está alinhada com o indício previamente observado através do gráfico da PACF, sugerindo a ausência de correlação sequencial entre os valores da série após o processo de diferenciação.

Enquanto o comportamento gráfico da diferenciação da série Capital, apesar de apresentar picos, comporta-se de maneira mais estável em relação ao eixo das abcissas do que a série original.

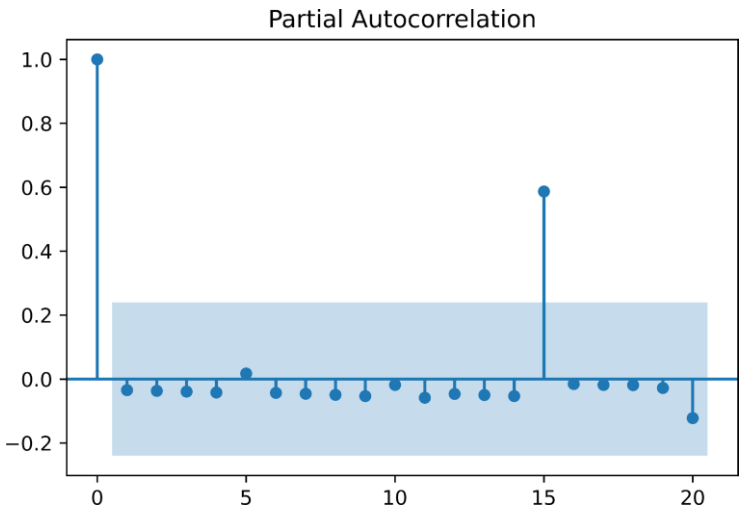
**Figura 4**: Série Capital diferenciada em 1ª ordem




**Fonte**: Autores (2023)

A análise gráfica da função de autocorrelação parcial, conforme ilustrado na Figura 5, confirma que a aplicação da diferenciação de primeira ordem foi eficaz em eliminar a correlação nos dados para todos os *lags* entre o primeiro e o vigésimo, exceto o décimo quinto. Essa exceção sugere a existência de um componente sazonal na série, cuja periodicidade é de intervalos de 15 meses.

**Figura 5**: PACF da Série Capital diferenciada em 1ª ordem



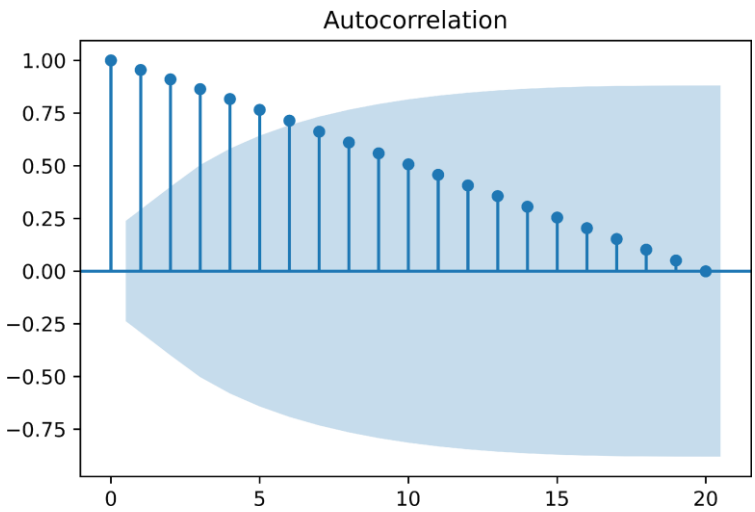

O teste de Ljung-Box fora aplicado aos valores da série e os resultados não fornecem base para a rejeição da hipótese nula, que declara a ausência de correlações entre os dados examinados. Pode-se concluir que esta série, após a diferenciação, não exibe correlações significativas.

### 4.3.2 Decomposição dos Componentes

As séries temporais são uma soma de três componentes: a tendência, a sazonalidade e o resíduo. Com o objetivo de otimizar o ajuste da função amostral serão apresentados os resultados das técnicas de modelagem numérica empregadas no presente trabalho.

Na decomposição da série **Trabalho**, para avaliar a independência dos seus valores originais, plotou-se sua função ACF, visível na Figura 6. A detecção de correlações estatisticamente significativas até o *lag* 6, somada ao comportamento de redução gradual dos valores da ACF, indicam a presença de um componente de tendência na série temporal

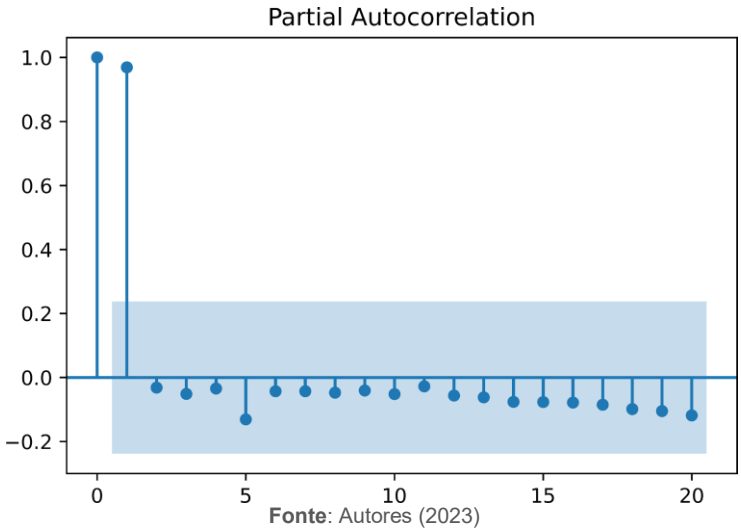
**Figura 6**: ACF da Série *Trabalho*




**Fonte**: Autores (2023)

A Figura 7 apresenta os resultados da PACF dos valores originais da série Trabalho. Analisando-a, nota-se que a única correlação parcial significativa está no *lag* 1, sendo seguida por uma acentuada redução de seus valores. De acordo com essas observações, o modelo analítico que melhor representa essa série temporal é o modelo autorregressivo de ordem 1- AR.

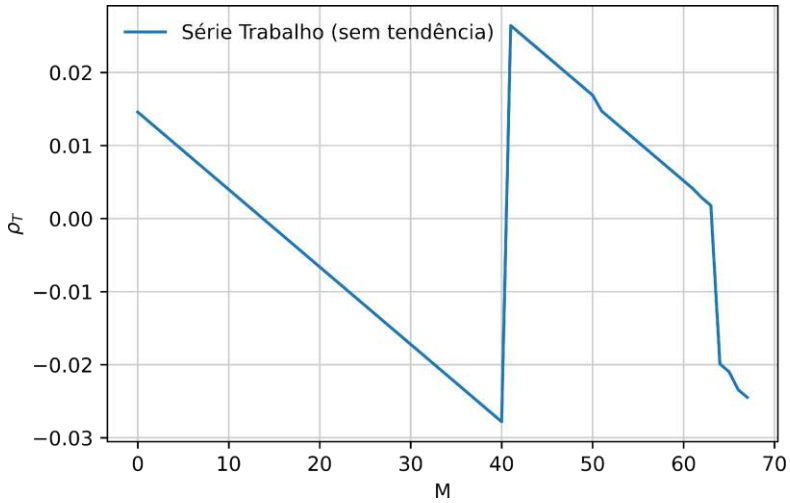
**Figura 7:** PACF da Série *Trabalho*




**Fonte**: Autores (2023)

Para o modelo estatístico, utilizou-se os modelos autorregressivos ajustados por meio de uma regressão linear dos dados da série temporal. O componente de tendência da série Trabalho foi removido mediante a subtração dos valores originais pelos valores representativos da tendência linear.

**Figura 8:** Série Trabalho sem tendência

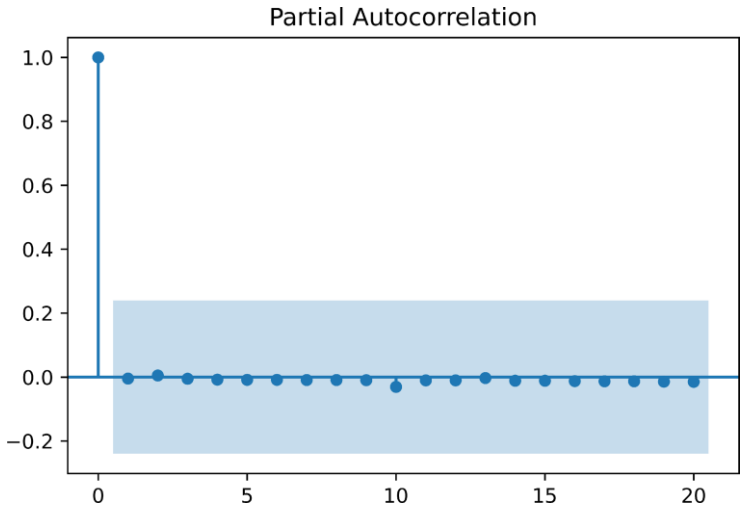



**Fonte**: Autores (2023)

A análise da PACF da série Trabalho sem o componente de tendência revela a presença de uma única correlação significativa entre os valores da série, identificada no atraso 1. Essa observação sugere a existência de um componente cíclico ou sazonal, com uma periodicidade mensal, que não pôde ser removido durante o processo de remoção da tendência. Para corrigir esse efeito indesejado, optou-se pela utilização de uma função de média móvel com uma janela de 2 meses. Os resíduos da série Trabalho foram calculados mediante a subtração dos valores correspondentes dessas duas séries.

Por fim, o gráfico da PACF desses resíduos não apontam a existência de correlações parciais estatisticamente significativas em qualquer defasagem do correlograma apresentado na Figura 9.

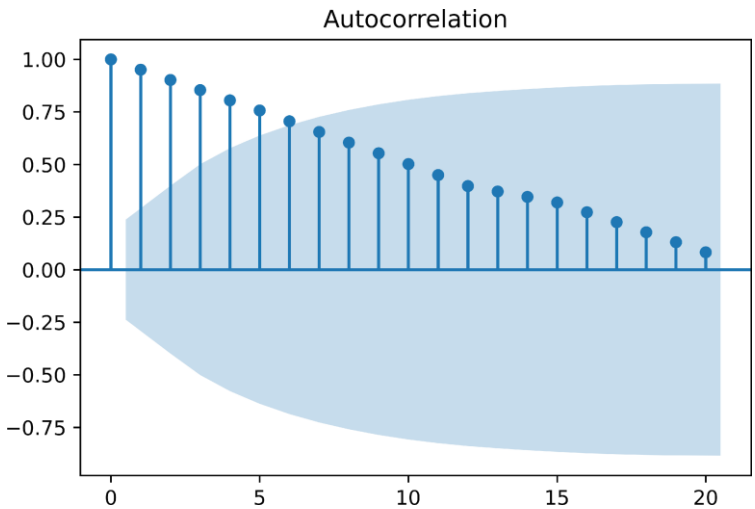
**Figura 9:** PACF do resíduo da série Trabalho




**Fonte**: Autores (2023)

Para análise da correlação da série **Capital**, a independência dos valores originais da série foi avaliada mediante a sua função ACF, que apresentou correlações estatisticamente significativas até o *lag* 6 e um comportamento de redução gradual dos valores da ACF, indicando a presença de um componente de tendência na série temporal, assim como foi observado para a série Trabalho.

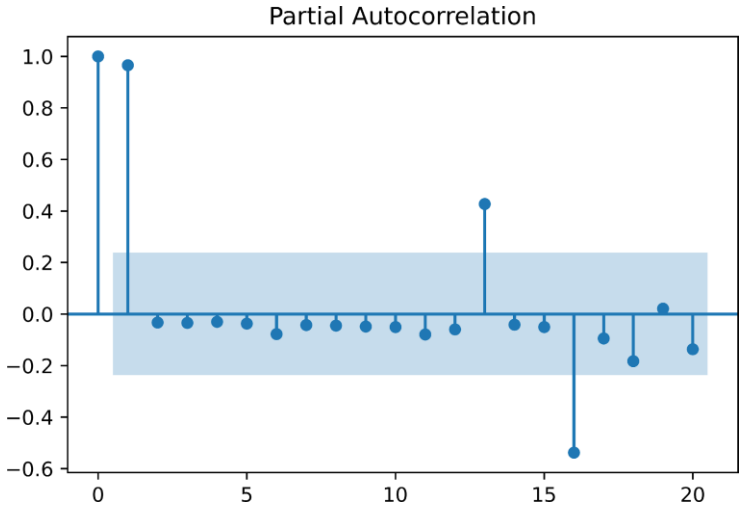
**Figura 10:** ACF da Série *Capital*




**Fonte**: Autores (2023)

Analisando os resultados da PACF dos valores originais da série Capital, nota-se que houve uma acentuada redução a partir do *lag* 1, voltando a apresentar valores estatisticamente significativos nos atrasos 13 e 16, o que indica influência de efeitos sazonais na série. Desse modo, também se optou pelo ajuste dessa série temporal pelo modelo autorregressivo de ordem 1 - AR.

**Figura 11:** PACF da série Capital

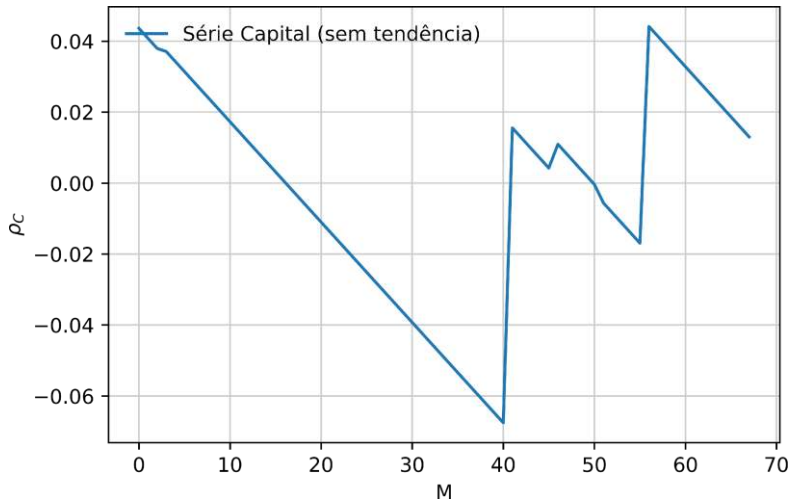



**Fonte**: Autores (2023)

Para o modelo estatístico desta série, utilizou-se da remoção do componente de tendência por meio da subtração dos valores originais pelos valores que representam a tendência linear.

O gráfico da PACF da série Capital sem tendência comprova a existência de duas correlações significativas entre os valores da série, observadas nos atrasos 1 e 16.

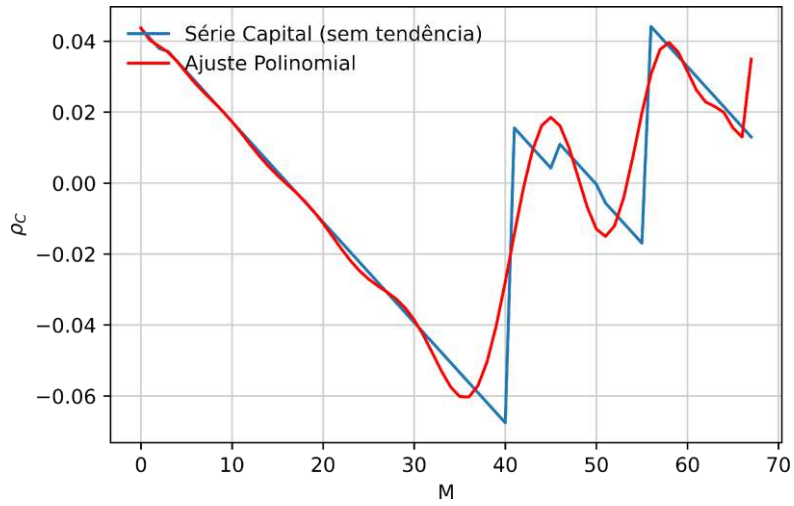
**Figura 12:** Série Capital sem tendência




**Fonte**: Autores (2023)

Essas ocorrências podem indicar a existência de um componente cíclico ou sazonal que não foi removido durante o processo de eliminação da tendência. A correção desse efeito indesejado começou pelo uso das funções de média móvel. De maneira iterativa, foram testadas diversas janelas de tempo, porém, nenhuma delas foi capaz de suprimir essas correlações significativas. Optou-se, então, pelo uso do ajuste polinomial, utilizando um polinômio de ordem 20, para modelagem do componente de sazonalidade da série.

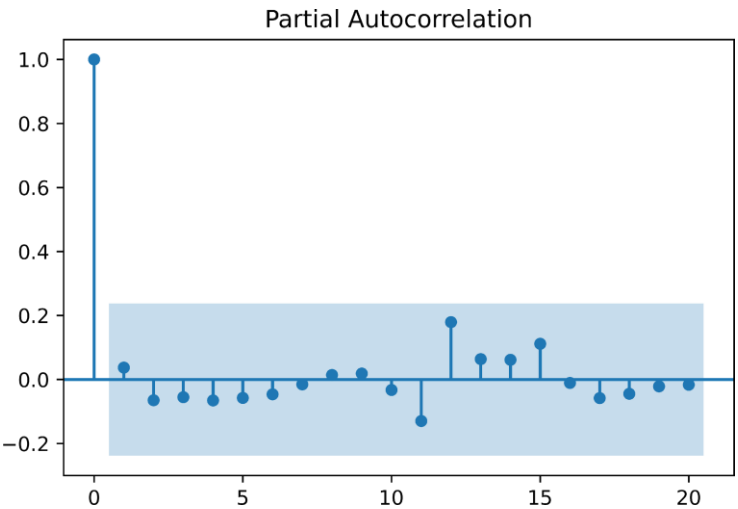
**Figura 13:** Série Capital sem tendência: valores originais e ajuste polinomial




**Fonte**: Autores (2023)

O gráfico da PACF dos resíduos da série Capital indicou a não existência de correlações parciais estatisticamente significantes em qualquer *lag* do correlograma.

**Figura 14:** PACF do resíduo da série Capital




**Fonte**: Autores (2023)

## 4.4 TESTES DE ESTACIONARIEDADE

A avaliação da estacionariedade está intrinsecamente relacionada à fase de Identificação do método de Box-Jenkins, desempenhando um papel fundamental no auxílio durante a escolha do modelo mais apropriado a ser adotado.

As Tabelas 2 e 3 compilam os resultados obtidos a partir da aplicação dos testes ADF e KPSS nas séries originais, nas séries diferenciadas e nos resíduos das séries Trabalho e Capital.

**Tabela 2**: Avaliação da constatação da estacionariedade para séries temporais modeladas a partir dos valores de *Trabalho*

| SÉRIE | ADF | KPSS |
|---|---|---|
| Original | Não-estacionária (1%) | Estacionária |
| Diferenciada | Estacionária (1%) | Estacionária |
| Resíduo | Estacionária (1%) | Estacionária |

**Fonte**: Autores (2023)

**Tabela 3**: Avaliação da constatação da estacionariedade para séries temporais modeladas a partir dos valores de *Capital*

| SÉRIE | ADF | KPSS |
|---|---|---|
| Original | Não-estacionária (1%) | Não-estacionária |
| Diferenciada | Estacionária (1%) | Estacionária |
| Resíduo | Estacionária (1%) | Estacionária |

**Fonte**: Autores (2023)

Os valores percentuais apresentados acima representam o nível de significância adotado para avaliação da estacionariedade nas duas séries estudadas.

Os resultados informativos do teste ADF indicaram que as séries eram estacionárias, com base no limite de significância de 5% adotado neste estudo, assim as etapas de modelagem numérica demonstraram eficácia na transformação das séries Trabalho e Capital em séries estacionárias.

O teste KPSS avaliou quase todas as séries temporais como estacionárias, com exceção da série composta pelos valores originais de Capital. No entanto, merece destaque a constatação da estacionariedade nos valores originais da série Trabalho. O teste KPSS é capaz de identificar a estacionariedade mesmo quando a série é influenciada por uma tendência. Esse resultado pode sugerir que a tendência é o componente predominante em relação aos outros elementos da série.

Esses resultados comprovam que os testes de estacionariedade agregam à análise de séries temporais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da análise da evolução da produtividade da construção civil brasileira por meio dos testes de estacionariedade na Série Trabalho, para insumos não tangíveis, e Série Capital, para insumos tangíveis, modeladas a partir dos coeficientes da razão unitária de produção do SINAPI, mostraram uma redução constante na produtividade da construção civil brasileira ao longo das últimas décadas, com taxas de declínio entre -1,21% e -0,40% ao ano.

A evolução das séries temporais modeladas neste trabalho mostrou que esse declínio ocorre com taxas localizadas, iguais a 0,61% ou 0,63% ao ano, a depender da série, essa tendência sugere que a produtividade da indústria da construção civil no Brasil pode estar se aproximando de um ponto de inflexão negativo.

O estudo evidenciou oportunidades para futuras pesquisas: testar outras séries, explorar novas metodologias para definir pesos dos serviços, mitigar descontinuidades nos dados e expandir a aplicação do método de Box-Jenkins para previsão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Educação Tutorial de Engenharia Civil, aos discentes e docentes do Centro de Tecnologia que contribuíram com este trabalho e à Universidade Federal de Alagoas pelo apoio institucional indispensável à realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. M. R.; BIOTTO, C. N.; SERRA, S. M. B. **Modelagem BIM para orçamentação com uso do SINAPI**. Gestão e Tecnologia de Projetos, v. 02, n. 16, p. 93–111, 2021.

BRASIL. **O Futuro da Construção Civil no Brasil: Resultados de um estudo de prospecção tecnológica da cadeia produtiva da construção habitacional**. São Paulo: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Tecnologia Industrial, 2003.

BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **A Produtividade da Construção Civil Brasileira**. Brasília, 2009.

CARVALHO, G. A. S. **Uso de séries temporais para previsão de irradiação solar**. Maceió, 2020.

CBIC. **A Produtividade da Construção Civil Brasileira**. São Paulo: Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2014.

COUTINHO, Í. **Causas de estouro em orçamento são inadmissíveis**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://pmkb.com.br/artigos/causas-de-estouro-em-orcamento-sao-inadmissiveis/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

CUNHA, G. de C. **A Importância do Setor da Construção Civil Para o Desenvolvimento da Economia Brasileira e as Alternativas Complementares Para o Funding do Crédito Imobiliário no Brasil**. Rio de Janeiro, 2012.

EPIFÂNIO, B. de S. **Modelos para previsão do Índice de produção física de minas gerais**. Belo Horizonte, 2015.

EY. **Estudo Sobre Produtividade na Construção Civil: Desafios e Tendências no Brasil**. São Paulo, 2016.

FGV. **Produtividade do trabalho no Brasil: uma análise dos resultados setoriais desde meados da década de 1990**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://ibre.fgv.br/observatorio-produtividade/temas/categorias/pt-anual>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MATTOS, A. D. **Como Preparar Orçamentos de Obras: Dicas para Orçamentistas**, Estudos de Caso, Exemplos. São Paulo: Editora PINI, 2009.

MGI. **Reinventing construction: a route to higher productivity**. McKinsey Global Institute, 2017. Disponível em: <https://cutt.ly/L8qMbTY>. Acesso em: 12 fev. 2023.

MONASTIER, A. B. **Tabela SINAPI: obrigatoriedade de uso e possibilidade de flexibilização**. Blog ZENITE, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://zenite.blog.br/tabela-sinapi-obrigatoriedade-de-uso-e-possibilidade-de-flexibilizacao/>. Acesso em: 21 set. 2022.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. de C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Egard Blucher, 2006.

NIELSEN, A. **Análise Prática de Séries Temporais: Predição com estatística e aprendizado de máquina**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2021.

OLIVEIRA, I. de M. N. **Técnicas de Inferência e Previsão de Dados Como Suporte à Análise de Integridade de Revestimentos**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

PMI. **Project Management Institute**, 2014. Disponível em: <http://201.49.223.58: 8080/PBEnquete3/public/login.xhtml>. Acesso em: 30 out. 2016.

SANTOS, H. de P.; STARLING, C. M. D.; ANDERY, P. R. P. **Um estudo sobre as causas de aumentos de custos e de prazos em obras de edificações públicas municipais**. Ambiente Construído, v. 15, n. 4, p. 225–242, 2015.