

DESPESAS DO GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO SOB À LUZ DA LEI DE NEWCOMB-BENFORD

RAFAEL SILVA COCCHIARELLI

Mestrando em Controladoria e Gestão Pública pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Especialização em Logística (UNESA), Graduado em Tecnologia da informação (FACULDADE DA CIDADE).

Prof. Dr. JOSE FRANCISCO MOREIRA PESSANHA

Doutor (PUC) e Mestre (COPPE UFRJ) em engenharia elétrica, Engenheiro Eletricista (UERJ), Estatístico (ENCE).

Resumo

Este estudo aplica a Lei de Newcomb-Benford na análise dos empenhos realizados pelo Estado do Rio de Janeiro durante os anos de 2023 e 2024. A Lei de Newcomb-Benford, também conhecida como Lei dos Primeiros Dígitos, é um modelo estatístico que descreve a distribuição de frequência dos algarismos de 1 a 9 como primeiros dígito em conjuntos de dados numéricos. O objetivo é identificar padrões e anomalias nos dados, fornecendo uma visão detalhada sobre a conformidade das transações financeiras com a distribuição esperada pela lei.

A metodologia utilizada envolveu a coleta de amostras dos empenhos de 2023 e 2024 e a análise dos dados com os *softwares* Excel e Jamovi para verificar a aderência à distribuição de Benford. Os resultados indicaram que a maioria dos dígitos iniciais dos empenhos seguiu a distribuição esperada, confirmando a integridade dos dados. No entanto, algumas discrepâncias foram identificadas, sugerindo a necessidade de uma análise mais aprofundada para investigar possíveis irregularidades.

Este trabalho destaca a importância da aplicação de métodos estatísticos na auditoria e fiscalização dos recursos públicos. A abordagem proporciona uma ferramenta eficaz para detectar anomalias e garantir a transparência na gestão financeira do setor público.

Palavras-chave: Lei de Newcomb-Benford. Transparência financeira. Auditoria pública.

Abstract

This study applies the Newcomb-Benford Law to analyze the expenditures undertaken by the State of Rio de Janeiro during the years 2023 and 2024. The Newcomb-Benford Law, also known as the First-Digit Law, is a statistical model that describes the frequency distribution of the digits 1 through 9 as the first digits in numerical datasets. The objective is to identify patterns and anomalies in the data, providing a detailed insight into the compliance of financial transactions with the expected distribution by the law.

The methodology involved collecting a samples of expenditures from 2023 and 2024 and analyzing the data using Excel and Jamovi software to verify adherence to Benford's distribution. The results indicated that most of the leading digits of the expenditures followed the expected distribution, confirming the integrity of the data. However, some discrepancies were identified, suggesting the need for further analysis to investigate potential irregularities .

This work highlights the importance of applying statistical methods in auditing and overseeing public resources. The approach provides an effective tool for detecting anomalies and ensuring transparency in the financial management of the public sector.

Keywords: Newcomb-Benford Law. Financial transparency. Public auditing

1 - INTRODUÇÃO

A Lei de Newcomb-Benford, também conhecida como Lei dos Primeiros Dígitos, é uma ferramenta estatística fundamental na análise de dados numéricos, amplamente aplicada em diversas áreas como auditoria financeira, detecção de fraudes e análise de conformidade. Esta lei estabelece que, em muitos conjuntos de dados reais, a distribuição dos algarismos de 1 a 9 nos primeiros dígitos não é uniforme, mas segue um padrão previsível, onde dígitos menores (como 1) tendem a ocorrer com maior frequência do que dígitos maiores (como 9). Matematicamente, a Lei de Newcomb-Benford (LNB) estabelece a seguinte distribuição de probabilidades para as ocorrências dos algarismos de 1 a 9 no primeiro dígito de um número:

$$P(d) = \log_{10} \left(1 + \frac{1}{d} \right) \forall d \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\} \quad (1)$$

Conforme indicado na Figura 1, as probabilidades de ocorrência dos algarismos no primeiro dígito de um número não é uniforme, mas decrescem com os valores dos algarismos.

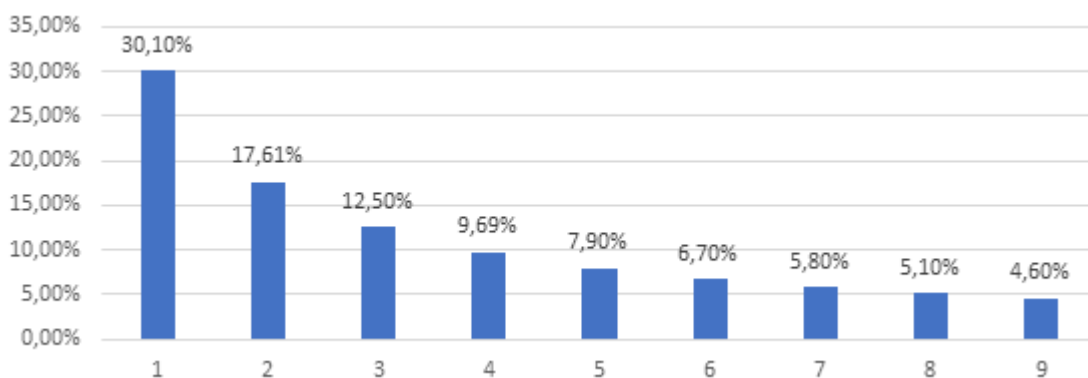


Figura 1- Distribuição de probabilidades dos algarismos segundo a Lei de Newcomb-Benford

Inicialmente proposta por Simon Newcomb no final do século XIX e formalizada por Frank Benford na década de 1930, a Lei de Benford se baseia na ideia

de que dados verdadeiros e naturalmente gerados tendem a seguir essa distribuição, independentemente da escala dos números envolvidos (BENFORD, 1938). Essa propriedade tem sido utilizada para verificar a integridade e autenticidade de conjuntos de dados financeiros, científicos e econômicos, proporcionando uma técnica não invasiva e estatisticamente robusta para identificar anomalias e potenciais irregularidades.

No contexto específico da gestão pública e fiscalização de recursos, a aplicação da Lei de Benford oferece uma ferramenta poderosa para auditores e gestores, permitindo a detecção de desvios significativos dos padrões esperados, indicando a possível necessidade de investigações mais detalhadas (CUNHA, 2013). Este artigo explora a aplicação da Lei de Benford na análise dos empenhos realizados pelo Estado do Rio de Janeiro de janeiro de 2023 a julho de 2024, destacando sua relevância na promoção da transparência e eficiência na administração pública.

Ao compreender e aplicar os princípios da Lei de Benford, os gestores públicos podem fortalecer suas práticas de controle interno e externo, garantindo uma gestão financeira mais responsável e alinhada com os princípios de governança e *accountability*.

A Lei de Newcomb-Benford tem sido aplicada em uma variedade de situações, por exemplo, na análise dos votos em eleições (FORSBERG, 2021), na contagem dos casos confirmados de COVID-19 (MENEZES, 2020) e até em casos onde se busca a sinalização de possíveis inconsistências no patrimônio declarado por políticos brasileiros (Sallaberry et al. 2019)

Mesclar conceitos de várias áreas do conhecimento possibilita o avanço da qualidade da informação, transparência e desenha novos caminhos para a tomada de decisão baseada em dados. Acredita-se que a Lei de Benford pode auxiliar na identificação de fatores que possam distorcer a qualidade da informação, em especial a fidedignidade dos volumes de dados (RODRIGUES et al. 2023)

2 - METODOLOGIA

2.1 Dados

As amostras dos empenhos nos anos de 2023 e 2024 foram obtidas a partir da base de dados públicos disponibilizada no portal de transparência da Secretaria de

Estado de Fazenda do Rio de Janeiro (SEFAZ), nos seguintes elementos de despesa: diárias, materiais de consumo e Auxílios. Ademais, também foram coletados dados dos valores totais dos processos das compras diretas de janeiro de 2024 a julho de 2024, retirados do Portal de Compras da Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão do Rio de Janeiro (SEPLAG).

2.2 Métodos

A análise dos dados coletados foi conduzida por meio dos testes qui-quadrado (χ^2) e teste Z (NIGRINI,2012).

Inicialmente, o teste qui-quadrado foi aplicado para avaliar se os dados analisados seguem a distribuição de probabilidades da Lei de Newcomb-Benford. Portanto, um teste de aderência com as seguintes hipóteses:

H0: os dados seguem a distribuição de probabilidades da LNB

H1: os dados não seguem a distribuição de probabilidades da LNB

A estatística teste é calculada a partir dos desvios entre as frequências absolutas dos algarismos nas primeiras posições dos dados (f_d) e as respectivas frequências esperadas segundo a LNB ($fLNB_d$). Matematicamente, a estatística teste é dada por:

$$\chi^2 = \sum_{d=1}^9 \frac{(f_d - fLNB_d)^2}{fLNB_d} \quad (2)$$

Assumindo um nível de significância de 5%, a hipótese nula é rejeitada se o valor da estatística teste superar 15,5073.

Na sequência, aplicou-se o teste Z para avaliar a significância estatística das diferenças nas distribuições dos algarismos. Diferentemente do teste qui-quadrado, o teste Z analisa separadamente a distribuição de cada algarismo, conforme indicado pelas hipóteses avaliadas a seguir:

H0 $\Rightarrow$ Probabilidade do algarismo d (p_d) = $\log_{10} \left(1 + \frac{1}{d} \right)$;

H1 $\Rightarrow$ Probabilidade do algarismo d (p_d) $\neq \log_{10} \left(1 + \frac{1}{d} \right)$

Denotando por $\widehat{p}_d$ a proporção amostral do dígito d em uma amostra aleatória de tamanho n e por $p_d = \log_{10}\left(1 + \frac{1}{d}\right)$ a probabilidade do dígito d segundo a LNB, a estatística teste é dada por:

$$Z = \frac{\widehat{p}_d - p_d}{\sqrt{\frac{p_d(1 - p_d)}{n}}} \tag{3}$$

Para amostras grandes ($n > 30$), o Teorema do Limite Central permite assumir a premissa de distribuição normal para a proporção amostral, logo sob H_0 a estatística teste tem distribuição $N(0,1)$. Assim, assumindo um nível de significância de 5% a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto da estatística teste superar 1,96.

3 - RESULTADO DOS TESTES: APLICAÇÃO DA LEI DE BENFORD NOS EMPENHOS

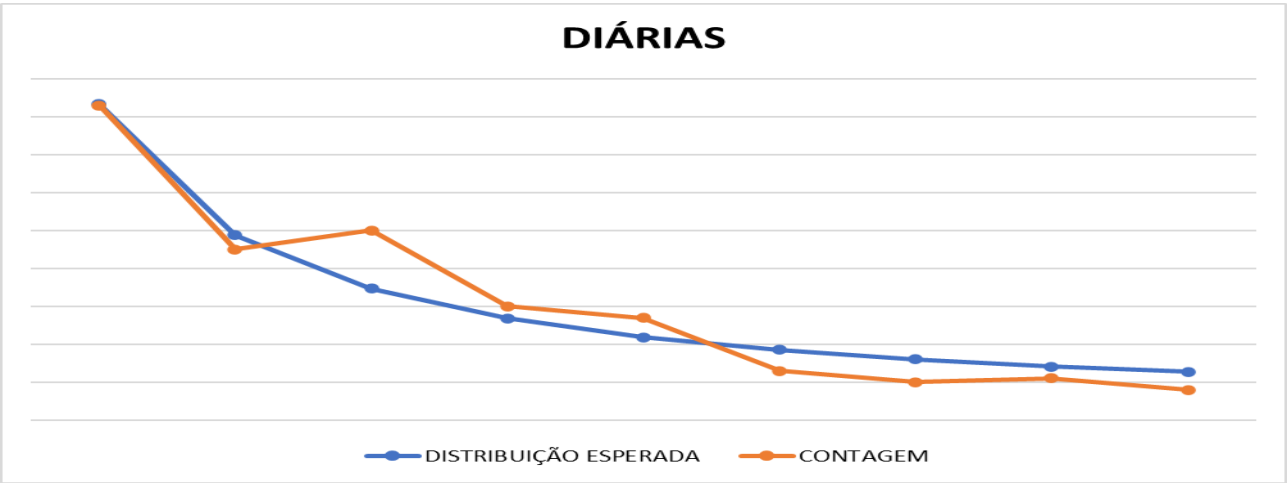


Figura 2 - lei de Benford aplicada aos empenhos das diárias no Estado do Rio de Janeiro no período de 2023 até junho de 2024. fonte dos dados: SEFAZ RJ

DÍGITOS	CONTAGEM	DISTRIBUIÇÃO ESPERADA	TESTE Z
1	83	83,377	2.094
2	45	48,7797	0.570
3	50	34,625	0.771
4	30	26,8413	-0.031
5	27	21,883	-0.151

6	13	18,559	-0.713
7	10	16,066	-0.833
8	11	14,127	-0.793
9	8	12,742	-0.913

Tabela 1 - contagem dos dígitos, distribuição esperada pela lei de Benford e o resultado do Teste Z nos empenhos das diárias. fonte: SEFAZ RJ.

P-valor do teste $\chi^2 = 0,057$

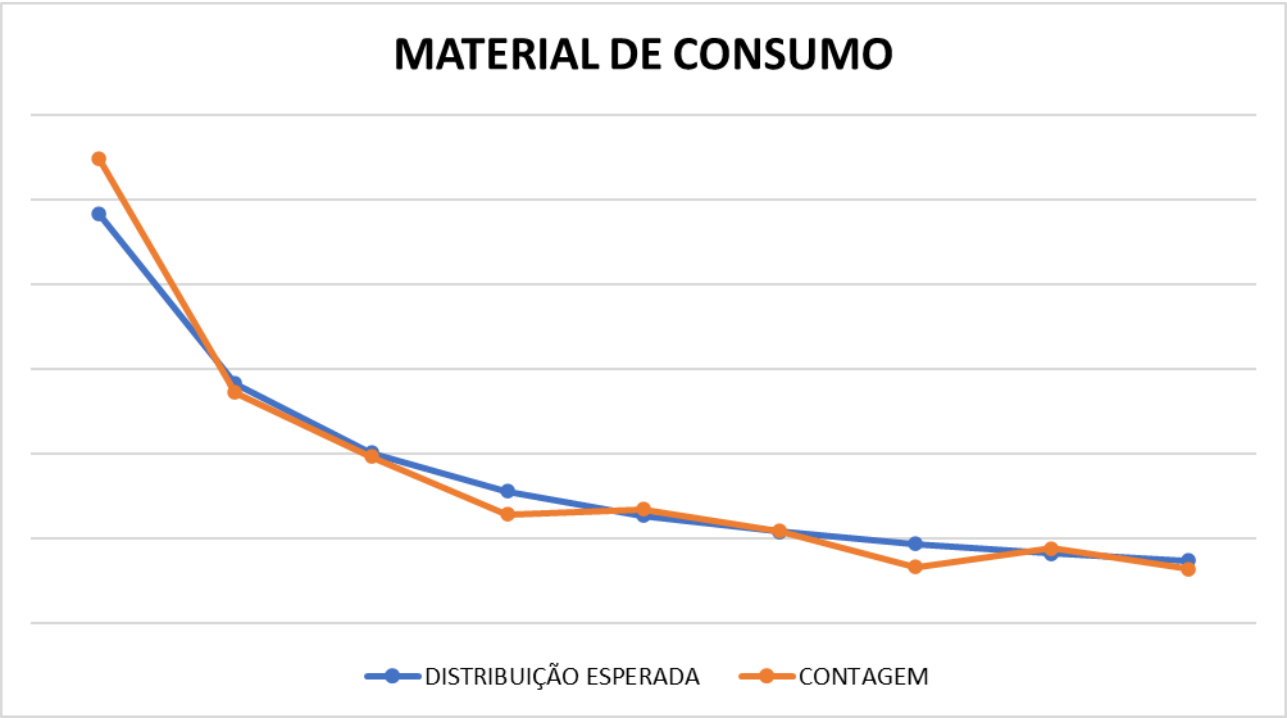


Figura 3- lei de Benford aplicada aos empenhos dos materiais de consumo no Estado do Rio de Janeiro no período de 2023 até junho de 2024. fonte dos dados: SEFAZ RJ

DÍGITOS	CONTAGEM	DISTRIBUIÇÃO ESPERADA	TESTE Z
1	274	241,402	2.405
2	136	141,2322	0.610
3	98	100,25	0.115
4	64	77,7138	-0.326
5	67	63,358	-0.287
6	54	53,734	-0.456

7	33	46,516	-0.730
8	44	40,902	-0.586
9	32	36,892	-0.743

Tabela 2 - contagem dos dígitos, distribuição esperada pela lei de Benford e o resultado do Teste Z nos empenhos de material de consumo. fonte: SEFAZ RJ

P-valor do teste $\chi^2 = 0,147$

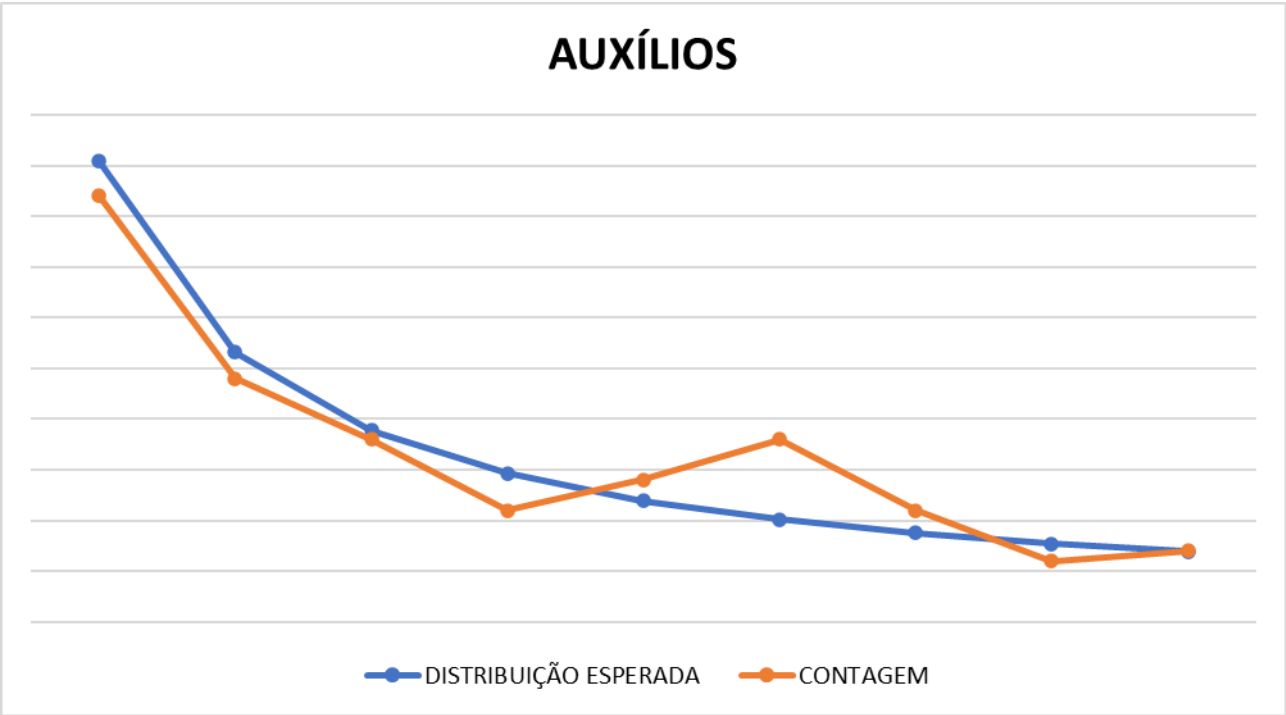


Figura 4 - lei de Benford aplicada aos empenhos dos auxílios no Estado do Rio de Janeiro no período de 2023 até junho de 2024. fonte dos dados: SEFAZ RJ

DÍGITOS	CONTAGEM	DISTRIBUIÇÃO ESPERADA	TESTE Z
1	42	45,451	2.405
2	24	26,5911	0.610
3	18	18,875	0.115
4	11	14,6319	-0.326
5	14	11,929	-0.287
6	18	10,117	-0.456
7	11	8,758	-0.730

8	6	7,701	-0.586
9	7	6,946	-0.743

Tabela 3 - contagem dos dígitos, distribuição esperada pela lei de Benford e o resultado do Teste Z nos empenhos dos auxílios. fonte: SEFAZ RJ

P-valor do teste $\chi^2 = 0,350$

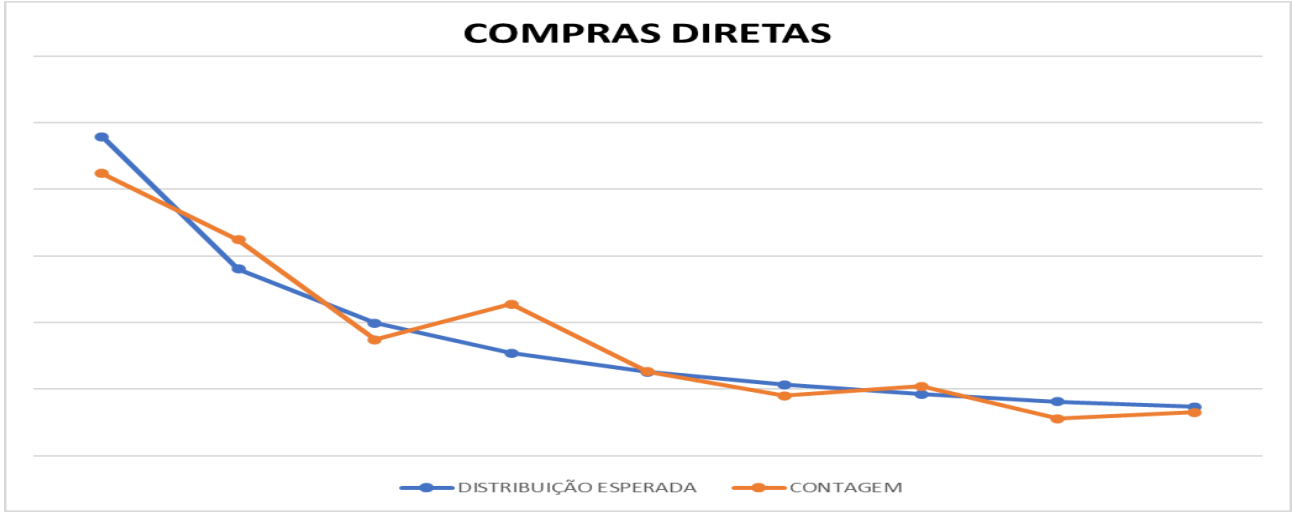


Figura 5 -lei de Benford aplicada aos valores totais nos processos de compra direta no período de janeiro a julho de 2024. fonte dos dados: PORTAL COMPRAS.RJ

DÍGITOS	CONTAGEM	DISTRIBUIÇÃO ESPERADA	TESTE Z
1	848	958,083	1.953
2	649	560,5263	1.167
3	349	397,875	-0.018
4	455	308,4327	0.400
5	252	251,457	-0.401
6	180	213,261	-0.686
7	209	184,614	-0.571
8	111	162,333	-0.959
9	130	146,418	-0.883

Tabela 4 - contagem dos dígitos, distribuição esperada pela lei de Benford e o resultado do Teste Z nos valores totais dos processos de compra direta no período de janeiro a julho de 2024. fonte: SEFAZ RJ

P-valor do teste $\chi^2 = 0,000$

4 – CONCLUSÃO

Na análise geral realizada por meio do Teste χ^2 , foi apontada a conformidade com a Lei de Benford em relação aos primeiros dígitos dos empenhos referentes às diárias, materiais de consumo e auxílios do Estado do Rio de Janeiro, no período de 01 de janeiro de 2023 a 01 de julho de 2024. De uma forma geral os valores dessas amostras apresentam aderência com os esperados pela Lei de Benford usando um nível de significância comumente utilizado de 5%.

No Teste Z, houve conformidade com a Lei de Benford em relação aos dígitos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 em todas as amostras analisadas das notas de empenho, com exceção do dígito 1 nas amostras de diárias, materiais de consumo e auxílios. A estatística do Teste Z no dígito 1 apresentou valores discrepantes ao ponto crítico de $\pm 1,96$.

Em relação aos valores dos processos das compras diretas (casos de dispensas e inexigibilidade) na figura 7, o Teste χ^2 apresentou um valor muito abaixo de 5%, como visto na tabela 4, fazendo com que se conclua que há diferença estatisticamente significativa entre as distribuições de probabilidades observadas e desejada, ou seja, as distribuições observadas não estão aderentes à Lei de Benford.

Afirmar que houve fraude baseando-se apenas sob à luz da Lei de Benford é uma conclusão errônea e precipitada, porém devido ao fato de ser uma ferramenta de fácil implementação e adaptação e não exigir grandes investimentos tecnológicos, ela pode ser amplamente utilizada para apontar quais notas de empenho, ou outros exemplos como notas de liquidação, notas fiscais, pagamentos realizados, etc; deveriam ser analisadas com mais afinco.

Os modelos aqui apresentados não substituem as técnicas utilizadas por auditores, contudo é uma proposta que pode apoiar as atividades de auditoria e controle e torná-las mais eficientes, eficazes e tempestivas.

5 - REFERÊNCIAS

BENFORD, F. The Law of Anomalous Numbers. *American Philosophical Society*, v. 78, n. 4, p. 551-572, 1938.

CUNHA, Flávia Ceccato Rodrigues da. Aplicações da lei Newcomb-Benford à auditoria de obras públicas. 2013. f. 486 Dissertação de Mestrado em Regulação e Gestão de Negócios Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/aplicacoes-da-lei-newcomb-benford-a-auditoria-de-obras-publicas.htm>>

FORSBERG, O.J. Understanding elections through statistics: polling, prediction and testing, CRC Press, 2021.

MENEZES, Rhômulo Oliveira. Aplicação da Lei de Benford nos números de casos confirmados de COVID-19 em diferentes países. REMAT:Revista Eletrônica da Matemática, Bento Gonçalves, RS,v.7,n.1,p.e3005, 5 de fev.2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.35819/remat2021v7i1id4586>>

NIGRINI, M. J. Applications for forensic accounting, auditing, and fraud detection. John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey. 2012.

Portal de compras Públicas do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.compras.rj.gov.br/Principal/extracaoTotal.action>>

Portal da Secretaria de Fazenda do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://portal.fazenda.rj.gov.br/transparencia/receitas-e-despesas/>>

RODRIGUES, Leandro Menezes; MIRANDA, Crislaine de Fátima Gonçalves de; MUSIAL, Nayane Thais Krespi; BARRO, Claudio Marcelo Edwards. Benford como ferramenta de auditoria: Uma análise das despesas orçamentárias nos municípios paranaenses. Disponível em: <<https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/2025/1954>>.

SALABERRY, Jonatas Dutra; FLACH, Leonardo; CODESSO, Maurício Mello; RODRIGUES, Luiz Fernando: Sinalização de inconsistências a partir do patrimônio declarado de políticos no Brasil: Aplicação da Lei Newcomb-Benford. Disponível em: <<https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/recfin>>