



Universidade de Brasília (UnB)
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas
(FACE)
Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais (CCA)
Bacharelado em Ciências Contábeis

IGOR RODRIGUES CAVALCANTI

APLICAÇÃO DA LEI DE BENFORD NA AUDITORIA DE CONTRATOS PÚBLICOS:
Uma Análise com Olhar do Usuário Externo a Partir dos Contratos Disponíveis no Portal
Nacional de Contratações Públicas (PNCP)

Brasília, DF
2025

IGOR RODRIGUES CAVALCANTI

APLICAÇÃO DA LEI DE BENFORD NA AUDITORIA DE CONTRATOS PÚBLICOS:
Uma Análise com Olhar do Usuário Externo a Partir dos Contratos Disponíveis no Portal
Nacional de Contratações Públicas (PNCP)

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia ou Artigo) apresentado ao Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de Brasília como requisito parcial de obtenção do grau de Bacharel em Ciências Contábeis.

Prof. Responsável:
Prof. Dr. Rodrigo de Souza Gonçalves

Linha de pesquisa:
Auditoria e Controle de Gestão

Área:
Finanças Públicas e Auditoria Governamental

Brasília, DF
2025

CIP - Catalogação na Publicação

CC377a Cavalcanti, Igor Rodrigues.
Aplicação da Lei de Benford na auditoria de contratos públicos : uma análise com olhar do usuário externo a partir dos contratos disponíveis no Portal Nacional de Contratações Públicas (PNCP) / Igor Rodrigues Cavalcanti;

Orientador: Rodrigo de Souza Goncalves. -- Brasília, 2025.
58 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - CIÊNCIAS CONTÁBEIS) -- aqui Universidade de Brasília, 2025.

1. Lei de Benford. 2. Auditoria. 3. Contratos Públicos. 4. Detecção de Fraudes. 5. Controle de Gastos. I. Goncalves, Rodrigo de Souza, orient. II. Título.

Professora Doutora Rozana Reigota Naves
Reitora da Universidade de Brasília

Professor Doutor Marcio Muniz de Farias
Vice-Reitor da Universidade de Brasília

Professor Tiago Araújo Coelho de Souza
Decano de Ensino de Graduação

Professor Doutor José Márcio Carvalho
Diretor da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas
Públicas

Professor Doutor Wagner Rodrigues dos Santos
Chefe do Departamento de Ciências Contábeis e Atuarias

Professora Francisca Aparecida de Souza
Coordenador de Graduação do curso de Ciências Contábeis - Diurno

Professor Edmilson Soares Campos
Coordenador de Graduação do curso de Ciências Contábeis - Noturno

IGOR RODRIGUES CAVALCANTI

APLICAÇÃO DA LEI DE BENFORD NA AUDITORIA DE CONTRATOS PÚBLICOS:
uma Análise com Olhar do Usuário Externo a Partir dos Contratos Disponíveis no Portal
Nacional de Contratações Públicas (PNCP)

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia ou Artigo) apresentado ao Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de Brasília como requisito parcial de obtenção do grau de Bacharel em Ciências Contábeis.

Prof. Dr. Rodrigo de Souza Gonçalves
Orientador
Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais
Universidade Brasília (UnB)

Dr. Rafael Sousa Lima
Examinador
Polícia Federal

BRASÍLIA
2025

A meu Deus, quem me capacita e me sustenta, por sua fidelidade e amor em todas as etapas da minha vida, inclusive neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu Deus, também à minha esposa, por sua paciência, amor e apoio incondicional nesta etapa de nossas vidas, e ao meu orientador, por sua orientação dedicada e exemplo constante de excelência.

RESUMO

Este estudo explora a aplicação da Lei de Benford na auditoria de contratos públicos vigentes no Portal Nacional de Contratações Públicas (PNCP). O problema investigado é a detecção de anomalias em dados financeiros, o que pode indicar potenciais fraudes ou irregularidades na gestão de recursos públicos. O objetivo é verificar a conformidade dos valores contratuais analisados com a distribuição teórica da Lei de Benford, contribuindo para a melhoria da transparência e do controle das contas públicas. A pesquisa fundamenta-se principalmente em Nigrini (2012, 2020) e na abordagem de seleção de dígitos críticos de Bugarin e Cunha (2015, 2017), que complementam o arcabouço metodológico. Utilizou-se uma metodologia quantitativa baseada em testes estatísticos da Lei de Benford, aplicada a uma amostra de 4.059 contratos extraídos do PNCP. Foram implementados testes do primeiro e segundo dígitos, dos dois primeiros dígitos, da soma, e dos últimos dois dígitos, bem como análises de desvios absolutos médios (MAD). Os resultados demonstram que, embora a maioria dos dados analisados esteja em conformidade com a distribuição esperada, desvios significativos foram observados em determinados dígitos. Essas discrepâncias apontam para potenciais inconsistências que requerem maior investigação. A discussão dos resultados destaca a relevância da Lei de Benford como ferramenta prática na auditoria pública e enfatiza a necessidade de expandir sua aplicação em análises futuras, abrangendo outros períodos e categorias contratuais. Este trabalho contribui para o fortalecimento do controle público ao apresentar uma abordagem robusta para a detecção de anomalias financeiras em contratos públicos, promovendo uma gestão mais eficiente e ética dos recursos públicos.

Palavras-chaves: Lei de Benford, Auditoria, Contratos Públicos, Detecção de Fraudes, Controle de Gastos.

ABSTRACT

This study examines the application of Benford's Law in auditing public procurement contracts listed on the Brazilian National Public Procurement Portal (PNCP). The problem addressed is the detection of anomalies in financial data, which may indicate potential fraud or irregularities in the management of public resources. The objective is to verify the conformity of the analyzed contract values with the theoretical distribution of Benford's Law, contributing to enhanced transparency and public accountability. The research is primarily grounded in the methodologies outlined by Nigrini (2012, 2020) and the critical digit selection approach proposed by Bugarin and Cunha (2015, 2017), providing a comprehensive theoretical framework. A quantitative methodology was employed, based on statistical tests derived from Benford's Law, applied to a sample of 4,059 contracts retrieved from PNCP. The analysis involved first-digit, second-digit, two-digit combinations, sum, and last-two-digit tests, along with assessments using the Mean Absolute Deviation (MAD) measure. The results reveal that, while most data conform to the expected distribution, significant deviations were observed in specific digits. These discrepancies indicate potential inconsistencies requiring further investigation. The discussion underscores the practical value of Benford's Law as an auditing tool, highlighting the need to extend its application to additional periods and contract categories. This work contributes to strengthening public oversight by presenting a robust framework for detecting financial anomalies in public procurement contracts, thereby fostering more efficient and ethical resource management.

Keywords: Benford's Law, Auditing, Public Contracts, Fraud Detection, Government Oversight.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos dados adquiridos no PNCP.	16
Tabela 2 – Perfil dos Dados dos valores dos contratos vigentes no PNCP.	17
Tabela 3 – Distribuição por Modalidade dos contratos vigentes no PNCP.	18
Tabela 4 – Distribuição por Região dos contratos vigentes no PNCP.	19
Tabela 5 – Teste do Primeiro Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	30
Tabela 6 – Teste do Segundo Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	31
Tabela 7 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para valores dos contratos vigentes no PNCP.	34
Tabela 8 – Teste da Soma para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	37
Tabela 9 – Resultado Teste do Arco das Mantissas output do R.	42
Tabela 10 – Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Frequência de incidência do primeiro dígito na Lei de Benford.	22
Figura 2 – Frequência de incidência do segundo dígito na Lei de Benford.	23
Figura 3 – Frequência de incidência dos dois primeiros dígitos na Lei de Benford.	24
Figura 4 – Valores críticos e conclusões para vários valores de MAD.	26
Figura 5 – Teste do Primeiro Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	32
Figura 6 – Teste do Segundo Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	33
Figura 7 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para valores dos contratos vigentes no PNCP.	36
Figura 8 – Teste da Soma para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	40
Figura 9 – Últimos valores dos contratos vigentes no PNCP.	41
Figura 10 – Teste dos Últimos Dois Dígitos (centavos) para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	43
Figura 11 – Teste dos Últimos Dois Dígitos (dezenas e unidades) para os valores dos contratos vigentes no PNCP.	44

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Primeiro Dígito	22
Equação 2 – Segundo Dígito	22
Equação 3 – Dois Primeiros Dígitos	23
Equação 4 – Média dos Desvios Absolutos (MAD)	25
Equação 5 – Teste Z	26
Equação 6 – Qui-Quadrado	27
Equação 7 – Coordenada X do Arco das Mantissas	28
Equação 8 – Coordenada X do Arco das Mantissas	28
Equação 9 – Upper Bound	29
Equação 10 – Lower Bound	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3 PROCEDER METODOLÓGICO	16
4 RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÃO	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A relevância das licitações e contratos públicos no Brasil é inegável, dada a magnitude dos recursos envolvidos e a importância desses processos para a economia e a administração pública. As licitações públicas são fundamentais para o funcionamento do Estado brasileiro, sendo um dos principais mecanismos de alocação de recursos públicos para a aquisição de bens, serviços e obras. A importância das licitações reside em sua capacidade de promover a concorrência, garantir a economicidade e assegurar a qualidade das contratações, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país (CARRARO; MARRARA, 2019).

A motivação para esta pesquisa é impulsionada pela necessidade de aprimorar a transparência e a eficiência na gestão dos recursos públicos. No Brasil, a corrupção e a má gestão de recursos são desafios persistentes que minam a confiança da população nas instituições públicas, assumindo um caráter sistêmico (SACRAMENTO e PINHO, 2018). Esta percepção é alimentada pela constante exposição a escândalos envolvendo tanto o setor público quanto o privado em diversas esferas de governo. Segundo Rose-Ackerman (1997), o problema da corrupção surge da divergência entre a função utilidade do principal (governo) e do agente (funcionário público). Enquanto o governo busca o ótimo social, o funcionário busca o ótimo privado, frequentemente em detrimento do interesse coletivo. A corrupção sistêmica compromete a legitimidade dos governos, especialmente nas democracias, onde pode até levar a golpes de estado. Em regimes não democráticos, a corrupção pode ser usada para manter o poder através da distribuição de favores (SAMPAIO et al., 2018).

Nesse contexto, o Portal Nacional de Contratações Públicas (PNCP) foi criado para centralizar e democratizar o acesso a informações sobre licitações e contratos públicos, facilitando a fiscalização e o controle social. No entanto, há uma lacuna significativa na literatura quanto ao uso de ferramentas analíticas, como a Lei de Benford, para monitorar e avaliar esses contratos (OLIVEIRA; SÁ; BARBOSA, 2024). O PNCP, conforme dispõe o art. 174 da Lei nº 14.133/2021, é o sítio eletrônico oficial destinado à divulgação centralizada e obrigatória dos atos exigidos pela Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos e realização facultativa das contratações pelos órgãos e entidades dos Poderes Executivo, Legislativo e Judiciário de todos os entes federativos do Brasil. Além disso, o portal adota o formato de dados abertos e observa as exigências previstas na Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, o que facilita o acesso aos dados necessários para análise por meio de APIs (*Application Programming Interface*)¹. Essa abordagem proporciona um acesso mais eficiente e, ao apresentar as informações de maneira estruturada, facilita a aquisição, visualização e compreensão dos dados. O portal representa um avanço para a transparência e a responsabilidade pública no Brasil. Ao centralizar as informações sobre licitações e contratos públicos, o portal facilita o acesso de cidadãos, empresas e órgãos de controle aos dados, promovendo melhor fiscalização e participação social. Essa centralização é essencial para identificar irregularidades e melhorar a eficiência dos processos licitatórios (BRASIL, 2020).

Nesse sentido, esta pesquisa possui a auditoria e a análise forense aplicada às contratações públicas como objeto de estudo (Ozili, 2023). Este estudo integra métodos matemáticos, especificamente a Lei de Benford, para identificar possíveis irregularidades e fraudes em licitações e contratos públicos. Envolve a aplicação de técnicas de análise de dados com vistas a busca por maior transparência, eficiência e integridade na gestão dos recursos públicos, com foco nos contratos disponíveis no PNCP. Este campo abrange aspectos de contabilidade forense, administração pública e ciência de dados, com ênfase na melhoria da governança e na redução da corrupção através de métodos analíticos empíricos (Ozilim 2023).

¹ Interfaces de Programação de Aplicativos.

Portanto, o objetivo principal desta pesquisa é **analisar a conformidade dos contratos vigentes disponíveis no PNCP com o uso da Lei de Benford, com vistas a identificar possíveis anomalias como indicadores de risco de fraudes.**

A literatura existente inclui estudos que aplicam a Lei de Benford para identificar anomalias em dados financeiros e orçamentários. Bello e Chaves Neto (2023), por exemplo, aplicaram essa lei para analisar gastos públicos durante a pandemia de COVID-19, evidenciando discrepâncias que sugerem a necessidade de maior investigação. No entanto, a aplicação específica da Lei de Benford aos contratos do PNCP é um campo relativamente novo e pouco explorado, o que destaca a originalidade e a relevância deste estudo.

Este estudo avança ao realizar a aplicação da Lei de Benford especificamente aos valores globais dos contratos públicos disponíveis no PNCP, que no caso de estudos anteriores focaram-se em análises mais amplas de dados orçamentários ou em contextos específicos, como crises sanitárias, mas não exploraram de modo mais aprofundada as contratações centralizadas no PNCP (NIGRINI, 2012; JOHNSON; WEGGENMANN, 2013). Sampaio (2022), por exemplo, fez uma análise empírica exploratória dos valores de pregões eletrônicos ocorridos no Portal de Compras do Governo Federal brasileiro à Lei de Benford, visando a verificar anomalias que representam indícios de fraude.

Adicionalmente, diversos estudos técnicos aplicaram a Lei de Benford em diferentes contextos de auditoria pública. No caso de Cunha e Bugarin (2015) analisaram o sobrepreço na construção da Arena da Amazônia, utilizando a Lei de Benford para identificar irregularidades nos valores contratados. A aplicação deste método foi aprimorada na seleção de amostras de auditoria de obras públicas, proporcionando uma metodologia mais eficiente para o controle de gastos (CUNHA; BUGARIN; PORTUGAL, 2016). Bugarin e Cunha (2017) demonstraram a eficácia da Lei de Benford ao aplicá-la na auditoria da reforma do Aeroporto Internacional de Minas Gerais, identificando discrepâncias nos dados de despesas. Café (2015) também utilizou essa lei na auditoria de obras públicas, especificamente no caso do VLP, destacando a capacidade da Lei de Benford em detectar anomalias nos custos de obras públicas.

Também, Cunha et al. (2018) aplicaram a Lei de Benford na detecção de manipulação de planilhas no caso do Estádio Nacional de Brasília, evidenciando a utilidade da lei em contextos de grandes projetos de infraestrutura. Em comum, verifica-se que esses estudos ressaltam a aplicabilidade da Lei de Benford em valores unitários de contratos de projetos de infraestrutura de grandes valores e sugerem métodos para análise e aquisição de amostras de auditoria de contratos de engenharia.

Este estudo avança em relação aos ora mencionados ao fazer uma análise empírica exploratória dos valores globais dos contratos em todas as modalidades e regiões brasileiras para detectar anomalias em um conjunto de dados específico e contemporâneo, proporcionando insights que podem ser úteis para detecção de fraudes contábeis ou financeiras no setor público.

Portanto, o estudo traz contribuições para a literatura sobre detecção de fraudes no setor público e para a prática da fiscalização na gestão pública, aprimorando as medidas de combate à corrupção na busca da promoção de maior eficiência e transparência nos gastos públicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LEI DE BENFORD

A Lei de Benford, também conhecida como Lei do Primeiro Dígito, descreve a frequência de ocorrência dos dígitos iniciais em muitos conjuntos de dados naturais. Este fenômeno foi nomeado em homenagem ao físico Frank Benford, que confirmou empiricamente este modelo matematicamente em 1938. No entanto, a observação inicial foi feita pelo astrônomo e matemático Simon Newcomb em 1881, quando notou que as páginas dos livros de logaritmos, utilizados para cálculos na época, estavam mais desgastadas no início, sugerindo que os dígitos menores eram usados com mais frequência (NEWCOMB, 1881). Newcomb publicou um artigo sobre a distribuição estatística dos primeiros dígitos, mas seu trabalho não recebeu muita atenção até que Benford redescobriu e testou o fenômeno em uma ampla variedade de conjuntos de dados, como áreas de rios, populações, constantes físicas e dados financeiros. Os testes extensivos de Benford deram credibilidade à lei e levaram ao seu reconhecimento mais amplo (BENFORD, 1938).

A Lei de Benford estabelece que, em muitos conjuntos de dados naturais, o primeiro dígito de um número ocorre com uma probabilidade específica, que pode ser calculada por meio de uma fórmula logarítmica. Em termos gerais, os dígitos menores têm uma probabilidade significativamente maior de aparecer como o primeiro dígito em comparação com os dígitos maiores (HILL, 1995). Esta distribuição segue uma curva logarítmica, onde aproximadamente 30,1% dos números começam com o dígito 1, enquanto apenas cerca de 4,6% começam com o dígito 9. Essa regularidade matemática se aplica a diversos contextos, especialmente em conjuntos de dados que abrangem várias ordens de magnitude.

A aplicação da Lei de Benford é particularmente eficaz na detecção de anomalias em conjuntos de dados. Ela é invariável em relação à escala, o que significa que a lei se mantém verdadeira independentemente da unidade de medida utilizada. Essa característica a torna aplicável a uma ampla gama de conjuntos de dados, desde transações financeiras e preços de ações até endereços e dados científicos (NIGRINI, 2012). Além disso, muitos processos naturais e humanos envolvem fatores multiplicativos, como taxas de juros e crescimento populacional, que produzem números que seguem a distribuição de Benford (RAIMI, 1969).

Essa propriedade da Lei de Benford tem se mostrado relevante em diversas áreas, incluindo contabilidade e detecção de fraudes, pesquisa científica e epidemiologia. Na contabilidade forense, por exemplo, a lei é utilizada para identificar anomalias em demonstrações financeiras e declarações fiscais, onde desvios da distribuição esperada podem indicar possíveis fraudes ou manipulações (DURTSCHI; HILLISON; PACINI, 2004). Na pesquisa científica, a lei auxilia na verificação da autenticidade dos dados, enquanto na epidemiologia pode ser empregada para detectar irregularidades em casos relatados de doenças e estatísticas de saúde. Assim, a Lei de Benford é uma ferramenta na análise e verificação de dados em múltiplos domínios (VARIAN, 1972).

2.2 APLICAÇÃO DA LEI DE BENFORD EM AUDITORIA

A aplicação da Lei de Benford na auditoria de dados financeiros é uma técnica reconhecida para a detecção de fraudes e irregularidades. Nigrini (1996) foi um dos pioneiros na utilização desta lei para identificar anomalias em dados contábeis, demonstrando que desvios significativos da distribuição esperada que podem indicar manipulação ou erro. Estudos posteriores, como os de Durtschi, Hillison e Pacini (2004), corroboram essa aplicação, destacando a eficácia da Lei de Benford na auditoria forense.

Além dos referidos estudos de Bugarin e Cunha (2015), Varma et al. (2020) aplicaram a Lei de Benford como ferramenta no auxílio do processo de auditoria dados de saúde pública durante a pandemia de COVID-19. Os pesquisadores analisaram os números de casos e óbitos

reportados por diferentes países e identificaram desvios significativos que sugeriam subnotificações ou manipulações de dados em algumas regiões, e ainda evidenciam como a Lei de Benford contribui no monitoramento da integridade de dados críticos em tempos de crise.

Para Singh e Best (2019), que utilizaram a Lei de Benford para auditar transações de comércio eletrônico em grandes plataformas de vendas online, o uso dos dígitos das transações ajudou a identificar padrões anômalos que apontam para possíveis fraudes, como vendas fictícias ou manipulação de preços. Desse modo, aplicação da Lei de Benford, neste contexto, mostrou-se eficaz para detectar comportamentos fraudulentos em um ambiente digital em constante crescimento.

Marrero e Rojas (2021) aplicaram a Lei de Benford para auditar as despesas eleitorais de campanhas políticas na América Latina. Com o uso da Lei de Benford, os autores examinaram os relatórios financeiros de várias campanhas e identificaram discrepâncias que sugeriam a existência de gastos não declarados ou superfaturados. Este estudo demonstrou que a Lei de Benford pode ser uma ferramenta importante na busca da transparência e a legalidade no financiamento de campanhas eleitorais.

Ferreira e Silva (2021) utilizaram a Lei de Benford para auditar subsídios governamentais concedidos a empresas durante a pandemia de COVID-19 no Brasil. A análise dos dígitos permitiu identificar empresas que receberam valores discrepantes em comparação com a distribuição esperada, sugerindo possíveis casos de corrupção ou favoritismo. Este estudo reforçou a aplicabilidade da Lei de Benford na auditoria de programas governamentais de grande escala.

Zhao e Zhang (2022) aplicaram a Lei de Benford para auditar dados contábeis de bancos na China. Os pesquisadores analisaram os registros financeiros de várias instituições bancárias e identificaram discrepâncias que indicavam possíveis fraudes ou erros contábeis. A utilização da Lei de Benford neste contexto mostrou-se relevante para a identificação precoce de problemas que poderiam afetar a estabilidade financeira das instituições (ZHAO; ZHANG, 2022).

2.3 AUDITORIA DE CONTRATOS PÚBLICOS NO BRASIL

A transparência e a integridade na gestão dos recursos públicos são questões centrais na administração pública brasileira. O Portal Nacional de Contratações Públicas (PNCP) surgiu como uma plataforma para a centralização e democratização do acesso a informações sobre licitações e contratos públicos, conforme disposto na Lei nº 14.133/2021. Este portal visa promover a fiscalização e o controle social, facilitando o acesso aos dados necessários para análises detalhadas (BRASIL, 2020).

A auditoria de contratos públicos é o processo que envolve a verificação sistemática de documentos, procedimentos e resultados relacionados às contratações governamentais, com o objetivo de assegurar que os recursos públicos sejam utilizados de maneira correta e eficiente. Dentre seus objetivos, a auditoria de contratos públicos, consiste na análise detalhada de todas as etapas do processo de contratação, desde a fase de licitação até a execução dos serviços ou entrega dos produtos contratados. Conforme destaca Pinto (2021), esse tipo de atividade desenvolvida pela auditoria visa detectar possíveis irregularidades, prevenir fraudes e assegurar a conformidade com a legislação vigente. Entre os principais objetivos, encontram-se a verificação da legalidade dos processos, a conformidade dos contratos com as normas e diretrizes estabelecidas e a avaliação da economicidade e eficiência das contratações (PINTO, 2021).

Diversas metodologias são empregadas na auditoria de contratos públicos, variando de análises documentais a procedimentos mais avançados, como a aplicação de técnicas estatísticas e de ciência de dados. Segundo Souza e Silva (2022), dentre os métodos e técnicas de auditoria de contratos públicos, a aplicação da Lei de Benford tem se mostrado uma

ferramenta importante na detecção de anomalias em dados financeiros, auxiliando na identificação de possíveis fraudes.

Além disso, a utilização de softwares de auditoria e análise de dados tem sido cada vez mais comum, ao passo que esses sistemas permitem a automatização de várias etapas do processo de auditoria, facilitando a identificação de padrões suspeitos e agilizando a verificação de grandes volumes de dados (ALMEIDA; GONÇALVES, 2023).

Iniciativas de capacitação e formação de auditores, bem como o fortalecimento dos órgãos de controle interno e externo, têm contribuído para uma melhoria gradual nesse cenário. Segundo Santos e Pereira (2023), a formação contínua dos profissionais de auditoria e a adoção de melhores práticas internacionais são importantes para a consolidação de um sistema de controle mais robusto e eficiente.

O futuro da auditoria de contratos públicos no Brasil indica uma crescente integração entre tecnologia e procedimentos de controle. A expectativa é que ferramentas de inteligência artificial e aprendizado de máquina sejam incorporadas aos processos de auditoria, possibilitando uma análise mais precisa e em tempo real dos dados (OLIVEIRA; SILVA, 2023). Ademais, a participação cidadã e o controle social, impulsionados pelas plataformas de transparência e acesso à informação, devem continuar a desempenhar um papel fundamental na fiscalização das contratações públicas. A interação entre governo, sociedade civil e órgãos de controle, aliado a ferramentas analíticas de monitoramento podem ser cada vez mais úteis e relevantes para assegurar que os recursos públicos sejam geridos de forma transparente, eficiente e ética.

2.4 GOVERNANÇA, CONTROLE SOCIAL E CORRUPÇÃO

Ao explorar a contribuição da Lei de Benford, é relevante discutir também as considerações sobre a corrupção, que pode comprometer a integridade dos processos de contratação pública. A corrupção, pode ser definida como o abuso de poder público em favor do interesse privado, visando ganhos ilícitos (ROSE-ACKERMAN, 1999; ANDERSSON, 2017).

Portanto, pode-se assumir que a corrupção é um fenômeno multidimensional, pois pode ocorrer em organizações de qualquer natureza, manifestando-se tanto no setor público quanto no privado (KLITGGARD, 1998, p. xi; MACEDO, S. V.; VALADARES, J. L., 2021, p. 402)². No Brasil, a corrupção pode ser classificada como ativa ou passiva, com o envolvimento de servidores públicos sendo central em ambos os casos. No caso de corrupção passiva, descrito no artigo 317 do Código Penal Brasileiro (BRASIL, 1940), o servidor público solicita ou recebe vantagem indevida em razão de suas funções. Já a corrupção ativa, prevista no artigo 333 do mesmo código, envolve aquele que oferece ou promete tal vantagem (BRASIL, 1940).

A corrupção mina a legitimidade dos governos e é especialmente perniciosa em democracias, podendo levar a golpes por líderes não democráticos (ROSE-ACKERMAN, 1997). Em contextos em que a corrupção é difundida, as compras públicas são frequentemente projetadas não para selecionar os fornecedores mais eficientes, mas para maximizar benefícios privados através de práticas corruptas (ALBANO et al., 2006). Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2008), a contratação eletrônica desempenha um papel importante na minimização do risco de corrupção em contratos públicos, destacando-se como uma medida essencial na luta contra a corrupção nos últimos anos.

O pregão eletrônico, uma modalidade de licitação que substitui métodos tradicionais como a concorrência e a tomada de preços, é um exemplo de prática que visa aumentar a transparência e a eficiência na gestão dos recursos públicos (EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO, 2017). Essa modalidade permite uma competição mais justa e reduz o risco

² It can occur in the private sector or in the public one—and often occurs in both simultaneously.

de fraudes ao garantir maior visibilidade dos processos licitatórios. No entanto, mesmo com essas vantagens, irregularidades como a utilização de robôs para dar lances, superfaturamento e combinações prévias entre licitantes ainda podem ocorrer (CONTAS ABERTAS, 2017). Sampaio, Figueiredo e Loiola (2022) utilizaram a Lei de Benford para analisar pregões eletrônicos no Brasil, identificando padrões que sugerem a presença de fraudes. Os resultados indicaram anomalias significativas nos valores licitados, particularmente em pregões com primeiros dígitos 4, 8 e 9, fortalecendo a hipótese de desvios. Diz Sampaio et al. (2022, p.15):

As principais formas existentes de práticas anticoncorrenciais ou corrupção nas licitações em pregão eletrônico incluem o uso de programas de computador que enviam lances de forma automática, o acerto de preços entre licitantes, o uso de empresas constituídas com o fim de frustrar a concorrência nas disputas e favorecer determinados licitantes, e a associação entre agentes públicos e fornecedores com o fim de burlar o procedimento legal (Albano et al. (2006); Lengwiler & Wolfstetter (2006); Hanák (2018); Lima (2016), TCU (2018); Campana, 2018).

Nesse contexto, a utilização de ferramentas analíticas avançadas, como a Lei de Benford, pode trazer contribuições no que tange a governança e controle social das contratações públicas (SANTOS; ALMEIDA, 2022), pois ao identificar possíveis anomalias e fraudes, essas técnicas contribuem para a transparência, eficiência e integridade na gestão dos recursos públicos.

A implementação de medidas de fiscalização rigorosas e a promoção da transparência são relevantes para combater a corrupção. A Transparência Internacional (2018) destaca que a percepção de corrupção no Brasil ainda é alta, evidenciando a necessidade de aprimorar os mecanismos de controle e auditoria. Sampaio, Figueiredo e Loiola (2022) apresentam contribuições para a literatura focada na detecção de fraudes contábeis e financeiras no setor público, oferecendo uma base empírica que pode auxiliar na formulação de políticas mais eficazes.

O combate à corrupção e a promoção da transparência na gestão dos recursos públicos são desafios contínuos que exigem a adoção de tecnologias avançadas e práticas de fiscalização robustas. A aplicação da Lei de Benford em auditorias de licitações públicas pode ser uma ferramenta útil e relevante na detecção de fraudes e nas rotinas das auditorias no setor público, contribuindo para a integridade e a eficiência dos processos licitatórios, para assegurar que os recursos públicos sejam utilizados de maneira justa e eficiente.

3 PROCEDER METODOLÓGICO

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os testes descritos por Nigrini (2012) e uma adaptação do algoritmo proposto por Bugarin e Cunha (2015). Antes de submeter os dados aos testes da Lei de Benford, foi realizada uma análise do perfil dos dados, destacando as considerações importantes.

Os testes da Lei de Benford aplicados são:

- o Teste do Primeiro Dígito;
- o Teste do Segundo Dígito;
- o Teste dos Dois Primeiros Dígitos;
- o Teste da Soma;
- o Teste dos Últimos Dois Dígitos;
- o Teste da Média dos Desvios Absolutos (MAD);
- o Teste Z e Significância;
- o Teste Qui-Quadrado;
- o Teste do Arco das Mantissas.

3.1 PERFIL DOS DADOS E CONSIDERAÇÕES DOS DADOS

Foram coletados um total de 4.076 linhas de dados para análises (corte dos dados: às 14h55min52seg de 16/04/2024, no PNCP (<https://pncp.gov.br/app/contratos/>)). Cada linha representa um contrato vigente. Dentre esses, 38 estavam sem valores globais disponíveis durante a aquisição, sendo necessária uma pesquisa mais detalhada dos valores desses contratos. A maioria dos valores foi encontrada ao pesquisar os IDs dos contratos no PNCP, com exceção dos contratos com IDs 91693317000106-2-000016/2024 e 91693317000106-2-000014/2024, que não possuem valores de contrato fixos, pois trata-se de credenciamento de profissionais do tipo leiloeiros, os quais recebem uma porcentagem, nesses casos 5%, do valor leiloado. Portanto, esses contratos foram excluídos da análise.

A lista foi organizada em ordem crescente de valores. Apenas 15 valores são menores que R\$ 10,00. Conforme Nigrini (2012, p. 71), uma etapa opcional de filtragem em auditorias é excluir números menores que 10, por serem geralmente considerados irrelevantes. Esses números, embora sem segundo dígito explícito, possuem um dígito implícito (0), portanto, não serão considerados na presente análise.

Uma vez definido o universo de contratos a serem analisado, há necessidade de compreender o perfil dos dados e suas características (Café, 2015). O objetivo dessa análise é apontar quaisquer anomalias importantes nos dados, conforme apontado por Café (2015, p. 11):

A verificação do perfil dos dados permite que o usuário entenda melhor a composição da base de dados, evita erros e detecta problemas sérios que apontem para o abandono da abordagem de planejamento da auditoria por Benford.

A Tabela 1 – Características dos dados adquiridos no PNCP fornece um resumo dos principais aspectos dos contratos objeto de análise do estudo, destacando a classificação e quantidade de contratos, além de detalhes sobre os valores analisados. A primeira linha da tabela informa o "Término da Aquisição dos dados", que ocorreu em 16/04/2024, às 15:23:57, marcando o momento em que os dados foram obtidos do sistema.

Tabela 1 – Características dos dados adquiridos no PNCP.

Término da Aquisição dos dados	Contratos com Valores Globais	Contratos sem Valores Globais	Total de linhas	Menores que R\$ 10,00	Valores Analisados
--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------	-----------------------	--------------------

16/04/2024 15:23:57	4.038	38	4.076	15	4.059
------------------------	-------	----	-------	----	-------

Fonte Elaboração própria.

A tabela está organizada em três categorias principais de contratos: "Contratos com Valores Globais", que representam aqueles contratos que possuem um valor global claramente definido, "Contratos sem Valores Globais", que incluem os contratos que não possuem essa informação, e o "Total de linhas", que corresponde à soma de todas as linhas de contratos, somando tanto os contratos com quanto sem valores globais.

Além disso, a tabela destaca uma coluna com o número de contratos com valores extremamente baixos, classificados como "Menores que R\$ 10,00", evidenciando a quantidade de contratos que se enquadram nessa categoria específica. É importante esclarecer que dois contratos foram excluídos dessa análise por não possuírem valores fixos, pois se tratam de contratos de credenciamento para leilões. Nesses contratos, o valor de comissão de 5% (cinco por cento) sobre o bem arrematado deve ser pago pelo arrematante ao leiloeiro, e não há um valor preestabelecido. Por fim, a linha "Valores Analisados" apresenta o número total de contratos que foram efetivamente analisados após a exclusão daqueles com valores muito pequenos, totalizando 4.059 contratos.

A Tabela 2 – Perfil dos Dados dos valores dos contratos vigentes no PNCP apresenta uma análise detalhada da distribuição dos contratos públicos de acordo com diferentes faixas de valores, tanto em termos de quantidade quanto de montantes financeiros. A estrutura da tabela é composta por quatro colunas principais: a primeira coluna, intitulada "Detalhes", descreve as faixas de valores dos contratos. A segunda coluna, "Quantidade", lista o número de contratos presentes em cada uma dessas faixas, permitindo uma visualização da concentração de contratos em diferentes escalas de valores. A terceira coluna, "% da Quant.", mostra o percentual que a quantidade de contratos em cada faixa representa em relação ao total de contratos vigentes. A quarta coluna, "R\$", exibe o valor total em reais dos contratos dentro de cada faixa, enquanto a quinta coluna, "% do R\$", indica o percentual desse valor em relação ao valor global dos contratos analisados.

Além das faixas principais de valores, a tabela inclui seções específicas que detalham contratos com valores extremamente baixos e muito altos. Na seção de "Valores Pequenos", são apresentados contratos "Maiores que 0 e menores que R\$ 1.000,01" e "Menores que R\$ 100,00", com suas respectivas quantidades e valores. Já na seção de "Valores Grandes", os contratos "Iguais ou maiores que R\$ 50.000.000,00" são destacados, evidenciando a pequena quantidade desses contratos, mas a sua expressiva participação no valor total, reforçando o impacto financeiro dos contratos de maior porte.

Ao final, a tabela apresenta o total consolidado de contratos, indicando tanto a quantidade total de contratos vigentes no PNCP quanto o valor global desses contratos, juntamente com as porcentagens que cada faixa representa em relação a esses totais. Isso proporciona uma visão completa da distribuição dos contratos em termos de quantidade e impacto financeiro.

Tabela 2 – Perfil dos Dados dos valores dos contratos vigentes no PNCP.

Detalhes	Quantidade	% da Quant.	R\$	% do R\$
Iguais ou maiores que R\$ 10.000.000,00	29	0,71	1.560.495.231,92	80,34
Maiores que R\$ 1.000.000,00 menores que R\$ 10.000.000,00	72	1,77	229.081.107,96	11,79
Maiores que R\$ 100.000,00 e menores que R\$ 1.000.000,00	361	8,89	113.994.509,54	5,87
Menores que R\$ 100.000,00	3.597	88,62	38.709.023,66	1,99
Total	4.059	100,00	1.942.279.873,08	100,00

Valores pequenos				
Maiores que 0 e menores que R\$ 1.000,01	1.354	33,36	486.773,71	0,03
Menores que R\$ 100,00	97	2,39	5.942,69	0,000306
Valores grandes				
Iguais e maiores que R\$ 50.000.000,00	5	0,12	933.994.269,32	48,09

Fonte Elaboração própria.

Observa-se na Tabela 2 uma possível distribuição de Pareto (BLANCHET, 2022), onde 11,37% dos contratos representam aproximadamente 98% do valor total da amostra. Contratos com valores menores que R\$ 100.000,00, que somam 3.597 contratos, correspondem a aproximadamente 1,99% da quantidade total valores monetários. A Tabela 2 fornece detalhes relacionados ao perfil dos dados, destacando a concentração significativa de valores em uma pequena proporção dos contratos

A Tabela 3 – Distribuição por Modalidade dos contratos vigentes no PNCP apresenta a classificação dos contratos públicos de acordo com suas modalidades de licitação, fornecendo tanto a quantidade de contratos em cada modalidade quanto os valores correspondentes. A tabela está organizada em três colunas principais: a primeira coluna, intitulada "Modalidade", descreve os diferentes tipos de licitação ou procedimentos adotados, como "Concorrência - Eletrônica", "Pregão - Eletrônico", "Dispensa", entre outros. A segunda coluna, "Quantidade", exibe o número de contratos em cada modalidade, enquanto a terceira coluna, "% do Total", apresenta a porcentagem que essa quantidade representa em relação ao número total de contratos vigentes. A quarta coluna, "R\$", informa o valor total em reais dos contratos para cada modalidade específica.

Tabela 3 – Distribuição por Modalidade dos contratos vigentes no PNCP.

Modalidade	Quantidade	% do Total	R\$
Concorrência - Eletrônica	38	0,936%	R\$ 61.173.340,78
Concorrência - Presencial	13	0,320%	R\$ 65.687.629,10
Credenciamento	69	1,700%	R\$ 26.665.480,30
Leilão - Eletrônico	38	0,936%	R\$ 3.521.658,00
Pregão - Eletrônico	2418	59,571%	R\$ 1.441.686.525,51
Pregão - Presencial	13	0,320%	R\$ 897.144,96
Dispensa	1027	25,302%	R\$ 260.347.317,87
Inexigibilidade	443	10,914%	R\$ 82.300.776,56
Total	4059	100,000%	R\$ 1.942.279.873,08
Total modalidades menos Disp. e Inex.		63,784%	R\$ 1.599.631.778,65
Total Dispensa e Inexigibilidade		36,216%	R\$ 342.648.094,43

Fonte Elaboração própria.

Na Tabela 3, ressalta-se a distribuição dos valores analisados por modalidade de contratação.

A Tabela 4 – Distribuição por Região dos contratos vigentes no PNCP apresenta a alocação dos contratos públicos em diferentes regiões do Brasil, indicando tanto a quantidade de contratos quanto o valor financeiro correspondente a cada região e seus respectivos estados. A tabela está organizada em quatro colunas: a primeira, intitulada "Região", lista as cinco regiões brasileiras (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e seus estados, especificando a localização dos contratos. A segunda coluna, "Quantidade", apresenta o número de contratos

vigentes em cada região e estado. A terceira coluna, "% da Quant.", informa a porcentagem que essa quantidade de contratos representa em relação ao total de contratos. A quarta coluna, "R\$", exhibe o valor total em reais dos contratos para cada região e estado, enquanto a última coluna, "% do Valor", mostra o percentual desse valor em relação ao valor total dos contratos.

Tabela 4 – Distribuição por Região dos contratos vigentes no PNCP.

Região	Quantidade	% da Quant.	R\$	% do Valor
Norte	67	1,651%	R\$ 26.979.882,94	1,389%
AM	7	0,172%	R\$ 14.907.225,50	0,768%
RR	3	0,074%	R\$ 1.905.002,00	0,098%
AP	3	0,074%	R\$ 87.481,40	0,005%
PA	32	0,788%	R\$ 8.102.854,46	0,417%
TO	10	0,246%	R\$ 256.075,10	0,013%
RO	10	0,246%	R\$ 1.631.812,48	0,084%
AC	2	0,049%	R\$ 89.432,00	0,005%
Nordeste	389	9,584%	R\$ 147.573.341,26	7,598%
MA	23	0,567%	R\$ 9.161.178,40	0,472%
PI	14	0,345%	R\$ 450.070,97	0,023%
CE	58	1,429%	R\$ 5.058.950,96	0,260%
RN	50	1,232%	R\$ 22.114.024,95	1,139%
PE	31	0,764%	R\$ 5.938.845,17	0,306%
PB	40	0,985%	R\$ 18.800.957,97	0,968%
SE	10	0,246%	R\$ 991.824,10	0,051%
AL	11	0,271%	R\$ 3.222.300,80	0,166%
BA	152	3,745%	R\$ 81.835.187,94	4,213%
Centro-Oeste	257	6,332%	R\$ 108.482.365,32	5,585%
MT	34	0,838%	R\$ 5.467.702,37	0,282%
MS	45	1,109%	R\$ 11.511.458,63	0,593%
GO	89	2,193%	R\$ 7.756.359,54	0,399%
DF	89	2,193%	R\$ 83.746.844,78	4,312%
Sudeste	925	22,789%	R\$ 839.705.245,56	43,233%
SP	461	11,357%	R\$ 583.985.890,58	30,067%
RJ	89	2,193%	R\$ 178.985.008,78	9,215%
ES	47	1,158%	R\$ 15.139.882,13	0,779%
MG	328	8,081%	R\$ 61.594.464,07	3,171%
Sul	2421	59,645%	R\$ 819.539.038,00	42,195%
PR	173	4,262%	R\$ 66.604.716,74	3,429%
RS	402	9,904%	R\$ 694.105.437,30	35,737%
SC	1846	45,479%	R\$ 58.828.883,96	3,029%
Total	4059	100%	R\$ 1.942.279.873,08	100%

Fonte Elaboração própria.

Por fim, a Tabela 4 apresenta a distribuição por região. Os dados revelam que a Região Sul é a mais representativa em termos de quantidade de contratos, com 2.421 contratos, correspondendo a 59,65% do total. No entanto, o Sudeste lidera em termos de valor financeiro,

com R\$ 839.705.245,56, o que representa 43,23% do valor total dos contratos vigentes no PNCP. A distribuição dentro da região Sudeste mostra que o estado de São Paulo se destaca, com 461 contratos, representando 11,36% do total e R\$ 583.985.890,58 em valores, o equivalente a 30,07% do valor total. É importante ressaltar que nem todos os contratos dos estados estão sendo contemplados neste estudo, pois foram considerados apenas os contratos que estavam disponíveis no PNCP na época da aquisição dos dados.

A Região Nordeste aparece com 389 contratos, representando 9,58% da quantidade total, com um valor de R\$ 147.573.341,26 (7,60% do valor total). Dentro dessa região, a Bahia se destaca com 152 contratos e um valor de R\$ 81.835.187,94, que representa 4,21% do valor total. A Região Norte, embora tenha a menor quantidade de contratos (67 contratos, 1,65% do total), também é mencionada com um valor total de R\$ 26.979.882,94, representando 1,39% do valor global. O estado do Amazonas, dentro dessa região, se destaca com 7 contratos e um valor de R\$ 14.907.225,50 (0,77% do valor total). Na Região Centro-Oeste, com 257 contratos (6,33% do total), o Distrito Federal lidera em termos de valor, com R\$ 83.746.844,78 (4,31% do total), mesmo que possua o mesmo número de contratos (89) que Goiás. Por fim, a Região Sul concentra a maior quantidade de contratos, especialmente em Santa Catarina, que sozinha detém 1.846 contratos, representando 45,48% do total de contratos no PNCP. No entanto, o maior valor na região é encontrado no estado do Rio Grande do Sul, com R\$ 694.105.437,30, representando 35,74% do valor total.

A tabela termina com o total consolidado de 4.059 contratos e um valor global de R\$ 1.942.279.873,08, proporcionando uma visão ampla da distribuição geográfica e financeira dos contratos públicos vigentes no PNCP.

Os valores globais contratados, extraídos do PNCP, refletem uma variedade de transações realizadas através de processos de licitação pública. Esses dados são similares a contas a pagar, uma vez que representam compromissos financeiros firmados pelo setor público com fornecedores após processos licitatórios. Analisar esses valores é relevante para garantir a transparência, a eficiência e a conformidade nas contratações públicas.

Uma característica dos dados de preços, como os valores globais contratados, é a tendência ao arredondamento. Em muitos casos, valores são arredondados para números terminando em 0 ou 5, como R\$10,00 ou R\$15,00, por facilitar a percepção e o manejo desses valores. (Nigrini, 2012, p. 75). Outra prática comum é o uso de preços psicológicos, onde os valores são ajustados ligeiramente abaixo de um número inteiro, como R\$19,99, para criar uma percepção de custo menor para o comprador.

Segundo Nigrini (2012, p. 76) essa prática é denominada como viés ou tendências (*bias*): “Uma tendência surge quando as pessoas buscam números específicos ou intervalos de números para contornar os limites de controle interno reais ou percebidos”. Além disso, a distribuição dos primeiros dígitos desses valores não é uniforme, seguindo a Lei de Benford, que postula que dígitos menores aparecem com mais frequência como o primeiro dígito em muitos conjuntos de dados financeiros. Essa característica é essencial para análises de conformidade, pois desvios significativos da distribuição esperada podem indicar manipulações ou erros nos dados.

Adicionalmente, segundo Nigrini (2012, p. 199) as tendências de precificação e regulamentação também exercem influência:

Tendências numéricas são inclinações para certos números ou intervalos numéricos, possivelmente por alguma vantagem psicológica. Por exemplo, os preços em lojas de varejo tendem a ser ligeiramente abaixo de valores inteiros, enquanto nos Estados Unidos os preços da gasolina frequentemente terminam com o dígito 9. Além disso, empresas listadas em

bolsa muitas vezes recorrem a um desdobramento reverso de ações quando o preço de mercado por ação cai abaixo de US\$ 5,00.³

Ainda sobre as considerações para precificação, Nigrini (2012, p. 224) considerando o teste dos dois últimos dígitos:

A duplicação excessiva, por si só, não prova fraude. Por exemplo, supermercados precificam produtos de forma que os dígitos finais sejam números ímpares. Essa preferência não indica fraude, mas sim que houve uma estratégia humana ao definir o preço de venda como parte de uma estratégia de marketing. A questão com os números em demonstrações financeiras é se a manipulação dos números foi feita com a intenção de enganar e se o nível de erro foi significativo.⁴

Características dos valores globais contratados devem ser cuidadosamente consideradas ao analisar conjuntos de dados de preços, especialmente em contextos de auditoria e conformidade financeira. Compreender essas nuances é fundamental para interpretar padrões de conformidade e identificar possíveis anomalias, garantindo a integridade e a transparência nas contratações públicas.

Segundo Nigrini (2020, p. 164), para que os dados contábeis ou financeiros estejam em conformidade com a Lei de Benford, eles devem ser uma amostra aleatória de uma sequência geométrica ou aproximadamente geométrica, representando tamanhos de fatos ou eventos. Além disso, não deve haver valores mínimos ou máximos incorporados nos dados, exceto um mínimo de zero. Os dados também não devem incluir números usados como identificadores ou rótulos, como números de segurança social ou placas de veículos, e deve haver uma maior quantidade de itens pequenos do que grandes. Na análise do perfil dos dados, observando as Tabelas 1 e 2 e considerando que 88,62% dos contratos com valores menores que R\$ 100.000,00, observou-se que essas condições são atendidas, o que nos permite prosseguir com a aplicação dos testes da Lei de Benford.

3.2 TESTES DA LEI DE BENFORD

3.2.1 Testes do Primeiro e Segundo Dígito

O teste do primeiro dígito compara a frequência esperada do primeiro dígito e a frequência real encontrada no conjunto de dados, separado os dados em 9 grupos, pertence ao conjunto {1, 2, ..., 9}. Nigrini (2012) afirma que o teste do primeiro dígito é muito superficial para permitir uma avaliação visual precisa sobre a conformidade dos dados com a Lei de Benford, a menos que se tenha uma referência de conjuntos de dados que claramente atendam à lei. Já o teste do segundo dígito separa em 10 grupos {0, 1, ..., 9}, segundo ele, que embora seja considerado um teste de alto nível em algumas circunstâncias, o teste do segundo dígito é útil para detectar vieses nos dados, especialmente para identificar comportamentos de arredondamento em relatórios de ganhos corporativos.

Ele ressalta que, em situações específicas, o teste do segundo dígito pode ser valioso, apesar de ser considerado muito abstrato em geral, mas afirma que “[o] teste pode ser útil com

³ Biases are gravitations to some numbers or number ranges, possibly for some psychological advantage. For example, retail store prices are biased toward being slightly below whole-dollar amounts while gasoline prices in the United States are biased toward having a last digit 9. Also, listed companies often resort to a reverse stock split when the market price per share falls below \$5.00.

⁴ Excessive duplication by itself does not prove fraud. For example, grocery stores price goods so that the ending digits are odd numbers. This preference does not signal fraud but rather that some human thought has gone into setting a selling price as a part of a marketing strategy. The question with financial statement numbers is whether the number invention was done with the intent to deceive and whether the level of error was material.

um conjunto de dados com poucos registros (talvez 300 registros)” (Nigrini (2012, p. 74)⁵. Além disso, observa que, ao analisar o gráfico do segundo dígito e identificar um excesso de um dígito específico, é comum recorrer ao gráfico dos dois primeiros dígitos para uma revisão mais ajustada dos registros suspeitos, permitindo uma análise mais precisa e eficiente dos dados. As fórmulas para as proporções do primeiro (D1) e segundo (D2) dígitos são apresentadas a seguir, seguidas pela apresentação dos gráficos das frequências esperadas após a aplicação destas fórmulas:

Equação 1 – Primeiro Dígito

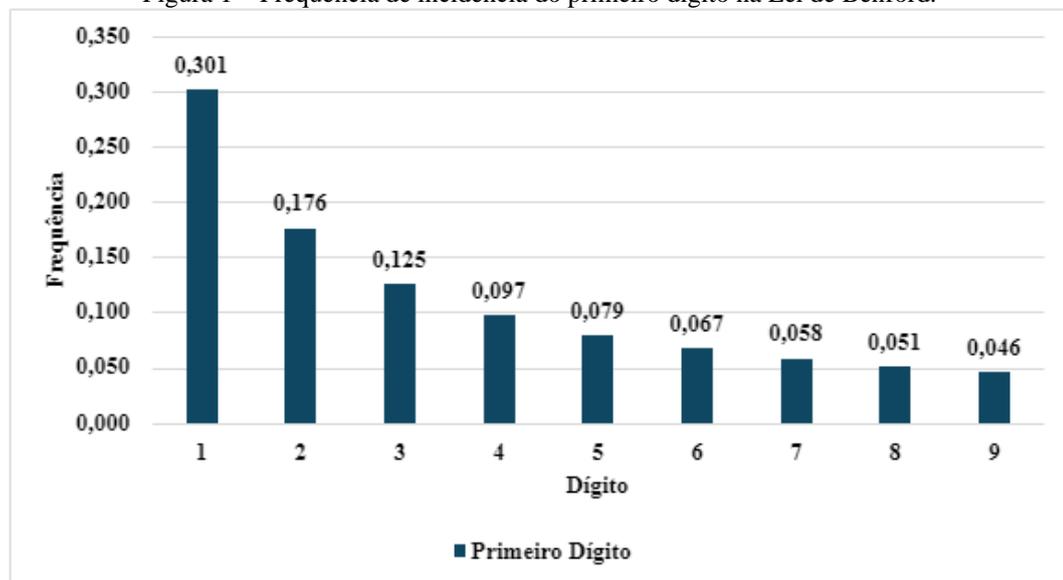
$$\text{Pr o b}(D1 = d1) = \log\left(1 + \frac{1}{d1}\right), \quad \text{onde } d1 \in \{1,2, \dots, 9\}$$

Equação 2 – Segundo Dígito

$$\text{Pr o b}(D2 = d2) = \sum_{d1=1}^9 \log\left(1 + \frac{1}{d1d2}\right), \quad \text{onde } d2 \in \{0, 1, \dots, 9\}$$

A Figura 1 – Frequência de incidência do primeiro dígito na Lei de Benford ilustra a distribuição esperada dos primeiros dígitos em conjuntos de dados numéricos conforme a Lei de Benford. De acordo com essa lei, os dígitos não ocorrem com a mesma frequência, e o número 1 aparece como o primeiro dígito em aproximadamente 30,1% das observações, seguido pelo número 2 com 17,6%, e assim por diante, até o número 9, que aparece em cerca de 4,6% das vezes. A figura apresenta essa distribuição de maneira visual em forma de gráfico de barras, mostra a curva decrescente da frequência de incidência à medida que o valor do primeiro dígito aumenta.

Figura 1 – Frequência de incidência do primeiro dígito na Lei de Benford.



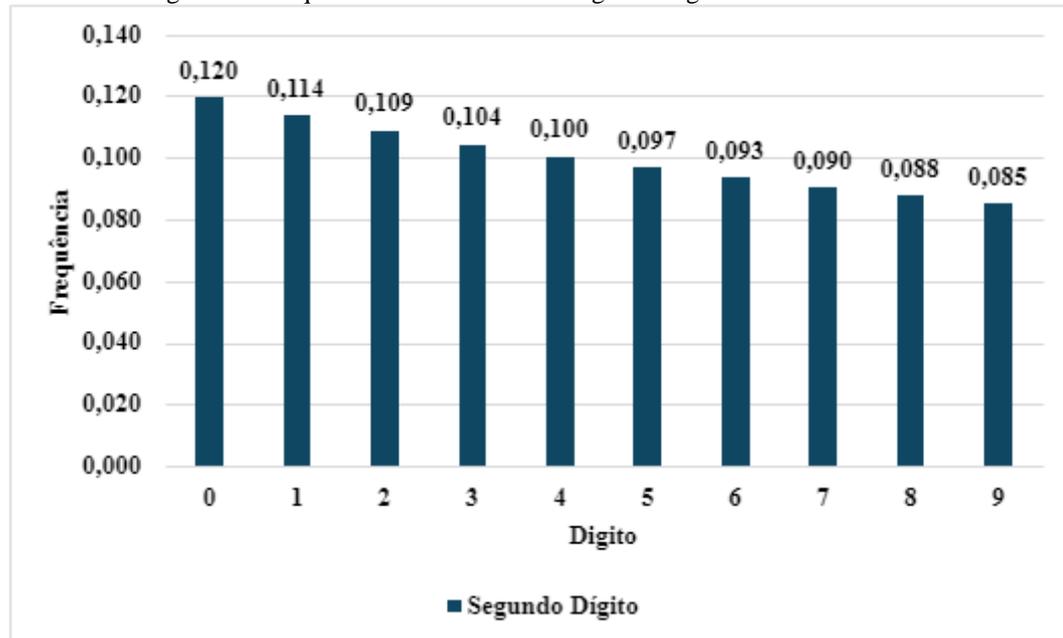
Fonte Elaboração própria.

A Figura 2 – Frequência de incidência do segundo dígito na Lei de Benford representa a distribuição esperada dos segundos dígitos em conjuntos de dados numéricos, conforme a Lei de Benford. Ao contrário dos primeiros dígitos, a distribuição dos segundos dígitos é mais equilibrada, mas ainda assim não uniforme. De acordo com essa lei, o dígito 0 é o mais comum, aparecendo como o segundo dígito em cerca de 12% das observações, enquanto os outros

⁵ The test might be useful with a data set with very few records (perhaps 300 records).

dígitos, de 1 a 9, têm frequências variando de 8% a 11%. A figura é apresentada como um gráfico de barras, mostrando que, embora as diferenças sejam menores do que no caso do primeiro dígito, os dígitos menores ainda tendem a ocorrer com maior frequência do que os maiores.

Figura 2 – Frequência de incidência do segundo dígito na Lei de Benford.



Fonte Elaboração própria.

3.2.2 Teste dos Dois Primeiros Dígitos

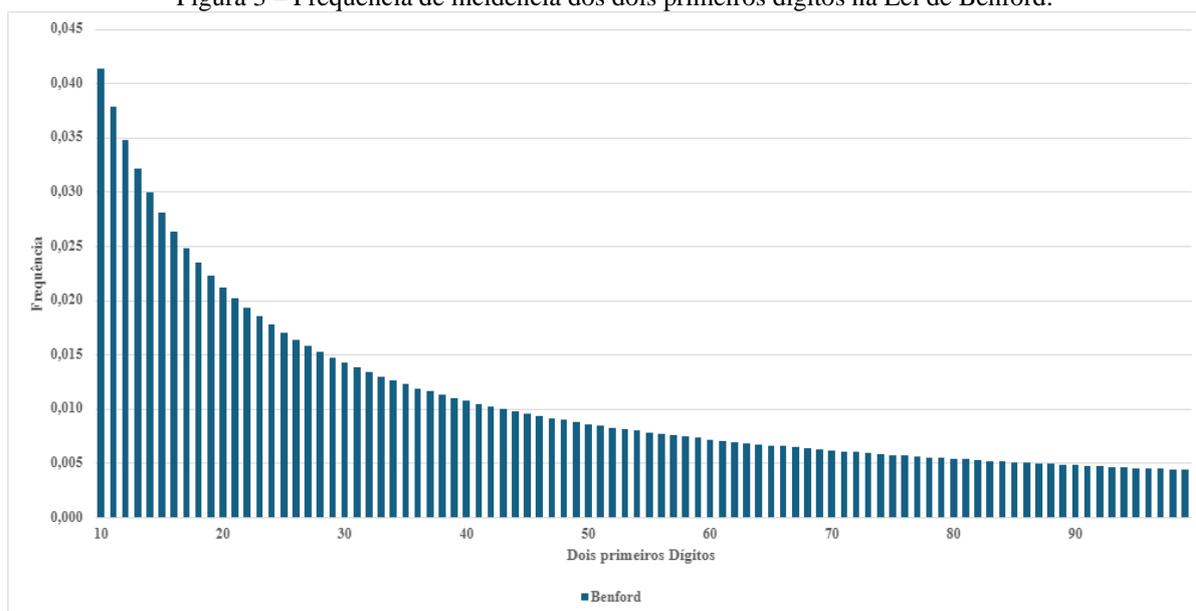
Conforme Nigrini (2012), o teste dos dois primeiros dígitos deve ser utilizado, a menos que o conjunto de dados seja relativamente pequeno, o que não é o caso dessa análise. Este teste é mais adequado do que o teste do primeiro dígito e serve para detectar duplicações anormais de dígitos e possíveis vieses nos dados. Os vieses ocorrem porque as pessoas tendem a se concentrar em certos números devido a limiares psicológicos ou devido a limites nos quais controles internos adicionais são ativados. Este teste também é útil para detectar números inventados. Uma adequação fraca à Lei de Benford geralmente sugere um risco aumentado de erros ou fraudes. Também pode simplesmente indicar que os dados não são do tipo que se conformaria à Lei de Benford. O gráfico dos dois primeiros dígitos contém todas as informações presentes nos gráficos dos primeiros e segundos dígitos, sendo possível criar gráficos separados para cada um a partir dos números utilizados na preparação do gráfico dos dois primeiros dígitos. Nigrini (2012) ressalta que, enquanto os gráficos dos primeiros e segundos dígitos são altamente agregados, o gráfico dos dois primeiros dígitos fornece mais informações do que ambos. A fórmula para a proporção dos dois primeiros dígitos (D1D2) é fornecida abaixo, seguida pela apresentação do gráfico da frequência esperada após a aplicação desta fórmula:

Equação 3 – Dois Primeiros Dígitos

$$Pr o b(D1D2 = d1d2) = \log \left(1 + \frac{1}{d1d2} \right), \quad \text{onde } d1d2 \in \{10,11, \dots, 99\}$$

A Figura 3 – Frequência de incidência dos dois primeiros dígitos na Lei de Benford ilustra a distribuição esperada da combinação dos dois primeiros dígitos em conjuntos de dados numéricos, conforme a Lei de Benford.

Figura 3 – Frequência de incidência dos dois primeiros dígitos na Lei de Benford.



Fonte Elaboração própria.

3.2.3 Teste da Soma

Conforme Nigrini (2012), o teste da soma busca identificar números excessivamente grandes em um campo de dados. Este teste é projetado para detectar números que são grandes em comparação com a norma para aquele conjunto de dados. O teste da soma baseia-se no fato de que a soma de todos os números em um conjunto de Benford com os dois primeiros dígitos variando de 10 a 99 deve ser igual, ou seja, $1/90$ ou aproximadamente 0,011. Este teste é particularmente eficaz na detecção de grandes erros, pois identifica transações anormalmente grandes, ou seja, grandes em relação ao restante dos dados. Ao analisar as somas dos números com os diferentes dígitos iniciais (10, 11, 12, ..., 99), espera-se que as somas sejam iguais, e picos significativos indicam a presença de números individuais grandes ou grupos de números grandes.

Nigrini (2020) sugere que os usuários identifiquem os maiores picos e aqueles que se destacam em relação aos seus vizinhos imediatos. A quantidade de picos a ser investigada dependerá dos objetivos da auditoria e da confiança no sistema de controles internos operando naquele ambiente.

Já Bugarin e Cunha (2015) confrontam os dígitos que tiveram picos nesse teste com os resultados anômalos no teste dos dois primeiros dígitos. Para a seleção dos dígitos críticos, eles consideram os valores absolutos superiores a 0,011, a fim de realizar a comparação com o Teste dos Dois Primeiros Dígitos. No entanto, no contexto do teste da soma isolada, pode ser necessário analisar os dígitos que excedem a área de conformidade de Benford (0,011).

3.2.4 Teste dos Últimos Dois Dígitos

O teste dos dois últimos dígitos é importante para detectar a invenção de números, sendo particularmente útil em situações em que não se deseja a criação ou a manipulação criativa de números. A base teórica deste teste é o fato de que as frequências dos dígitos se tornam uniformes (iguais) à medida que nos movemos para a direita em um número (NIGRINI, 2012, p. 129).

Os testes de invenção de números, incluindo os específicos para números arredondados, geralmente são menos eficazes para dados de contas a pagar, pois muitos valores tendem a terminar em 00. Conforme Nigrini (2020, p. 213) “[c]om 100 combinações possíveis de dois

últimos dígitos (00, 01, 02, ..., 99), espera-se que a proporção para cada combinação seja igual a 0,01 (1 dividido por 100)”⁶. No contexto de análise de dados de compras, esses testes podem ser pouco úteis devido à prevalência de valores arredondados, como 10, 20, ..., 90. No entanto, é interessante examinar os demais valores para detectar possíveis anomalias nessa análise. O teste dos dois últimos dígitos pode ser subdividido em duas categorias: a) considerando os centavos e b) considerando a dezena, possibilitando uma análise mais precisa das possíveis manipulações nos dados financeiros.

3.2.5 Teste da Média dos Desvios Absolutos (MAD)

O Teste da Média dos Desvios Absolutos (MAD) é uma ferramenta que ignora o número total de registros ao avaliar a conformidade dos dados com a Lei de Benford (NIGRINI, 2012, p. 158). A fórmula para o MAD é apresentada na seguinte equação:

Equação 4 – Média dos Desvios Absolutos (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^K |AP - EP|}{K},$$

onde K representa o número de intervalos (que é igual a 90 para os dois primeiros dígitos), AP denota a proporção real e EP a proporção esperada.

Um problema identificado com este teste é a ausência de valores críticos objetivos (NIGRINI, 2012, p. 170). De acordo com Nigrini, não há pontuações críticas objetivas para indicar conformidade, não conformidade ou categorias intermediárias. Drake e Nigrini (2000) propõem algumas diretrizes baseadas na experiência pessoal com tabelas de dados cotidianas testadas contra a Lei de Benford. Com base na análise de 25 conjuntos de dados, um conjunto de valores críticos foi desenvolvido para guiar a interpretação dos resultados do MAD (NIGRINI, 2012, p. 159). Estes valores críticos ajudam a determinar se os dados estão em conformidade com a Lei de Benford, fornecendo um padrão para a identificação de possíveis irregularidades ou manipulações nos conjuntos de dados analisados. É possível que as conclusões de conformidade sejam diferentes para os testes de primeiro, segundo e primeiros dois. Nestes casos será necessário algum julgamento profissional. Uma abordagem conservadora seria usar a conclusão mais pessimista.

A Figura 4 – Valores críticos e conclusões para vários valores de MAD é composta por três colunas que organizam os dados em categorias. A primeira coluna identifica o tipo de dígitos analisados, como o primeiro dígito, segundo dígito, dois primeiros dígitos e três primeiros dígitos. A segunda coluna apresenta o intervalo (range) de valores de MAD para cada tipo de dígito, refletindo a magnitude do desvio dos dados em relação à média esperada pela Lei de Benford. A terceira coluna indica a conclusão correspondente, classificando os dados em diferentes níveis de conformidade, que variam de conformidade próxima, aceitável, marginalmente aceitável até a não conformidade, dependendo da faixa de valores de MAD analisada.

⁶ There are 100 possible last-two digits (00, 01, 02, ..., 99) and the expected proportions are usually equal at 0.01 (1 divided by 100) for each possible last-two digit combination.

Figura 4 – Valores críticos e conclusões para vários valores de MAD.

Digits	Range	Conclusion
First Digits	0.000 to 0.006	Close conformity
	0.006 to 0.012	Acceptable conformity
	0.012 to 0.015	Marginally acceptable conformity
	Above 0.015	Nonconformity
Second Digits	0.000 to 0.008	Close conformity
	0.008 to 0.010	Acceptable conformity
	0.010 to 0.012	Marginally acceptable conformity
	Above 0.012	Nonconformity
First-Two Digits	0.0000 to 0.0012	Close conformity
	0.0012 to 0.0018	Acceptable conformity
	0.0018 to 0.0022	Marginally acceptable conformity
	Above 0.0022	Nonconformity
First-Three Digits	0.00000 to 0.00036	Close conformity
	0.00036 to 0.00044	Acceptable conformity
	0.00044 to 0.00050	Marginally acceptable conformity
	Above 0.00050	Nonconformity

Fonte: Benford's Law, 2012, pg. 160.

3.2.6 Teste Z e Significância

A estatística Z é o teste adequado para verificar se a proporção real de um dígito difere significativamente da expectativa da Lei de Benford. A fórmula da estatística Z considera a magnitude absoluta da diferença (a distância numérica entre o real e o esperado), o tamanho do conjunto de dados e a proporção esperada (NIGRINI, 2012, p. 150). Dessa forma, a estatística Z informa se a proporção real para um dígito específico se desvia significativamente (no sentido estatístico) da proporção esperada. Para os trabalhos relacionados à Lei de Benford, é comum adotar um nível de significância de 5% (NIGRINI, 2012, p. 151). Calculado utilizando a seguinte equação:

Equação 5 – Teste Z

$$Z = \frac{|AP - EP| - \left(\frac{1}{2N}\right)}{\sqrt{\frac{EP(1 - EP)}{N}}}$$

onde AP denota a proporção real, EP a proporção esperada e N o número de registros. O último termo no numerador ($1/2N$) é um termo de correção de continuidade e é usado somente quando é menor que o primeiro termo no numerador.

A estatística Z sofre do problema de excesso de poder, onde, para grandes conjuntos de dados, até mesmo um pequeno pico é provavelmente considerado significativo (NIGRINI, 2012, p. 151). Assim, para evitar a identificação errônea de anomalias que podem não ser significativas, uma extensão para a estatística Z é um teste combinado para os dígitos, utilizando o teste qui-quadrado, proporcionando uma análise mais robusta e abrangente das discrepâncias numéricas⁷.

Quando um resultado é considerado estatisticamente significativo, isso indica uma baixa probabilidade de que tenha ocorrido por acaso ou fatores aleatórios. A análise estatística baseia-se na formulação da hipótese nula (H₀), que pressupõe a ausência de desvios ou irregularidades

⁷ An extension to the Z-statistic is a combined test for the digits using either the chi-square [...] test. (Nigrini et al, p. 153)

no conjunto de dados, ou seja, assume que os dados seguem o padrão esperado. A hipótese alternativa (H1) sugere a existência de desvios significativos nos dados, indicando uma discrepância em relação ao comportamento previsto pela Lei de Benford.

Adotou-se um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), o que significa que há uma probabilidade de 5% de cometer um erro do tipo I, rejeitando H0 quando ela é verdadeira. No caso dos dois primeiros dígitos, o valor de Z não deve exceder 1,96 para que H0 não seja rejeitada. Valores de Z superiores a 1,96 ou p-valores inferiores a 0,05 levam à rejeição de H0 e aceitação de H1, sugerindo a presença de desvios significativos nos dados.

Assim, quando o teste é estatisticamente significativo, com um valor de Z superior a 1,96 ou p-valor inferior a 0,05, conclui-se que os dados apresentam discrepâncias em relação à Lei de Benford. O teste de significância avalia a improbabilidade de um resultado, dado que a hipótese nula é verdadeira, e a estatística Z é utilizada para verificar a conformidade dos dados, sempre considerando o tamanho do conjunto de dados e os parâmetros de significância estatística apropriados.

3.2.7 Teste Qui-Quadrado

O teste qui-quadrado é utilizado para comparar um conjunto de resultados reais com os resultados esperados. Neste contexto, o resultado esperado é que os dados estejam em conformidade com a Lei de Benford. A hipótese nula é que os dígitos conformam à Lei de Benford. A estatística qui-quadrado é calculada conforme a seguinte equação:

Equação 6 – Qui-Quadrado

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(AC-EC)^2}{EC},$$

onde AC e EC representam a contagem real e a contagem esperada, respectivamente, e K representa o número de categorias. O número de graus de liberdade é K-1, o que significa que, para os dois primeiros dígitos, o teste é avaliado utilizando 89 graus de liberdade⁸ (NIGRINI, 2012, p. 153), assim, para o primeiro e segundo dígito, o teste é avaliado utilizando 8 e 9 graus de liberdade respectivamente.

Uma estatística qui-quadrado calculada é comparada a um valor crítico. O teste qui-quadrado também sofre do problema de excesso de poder, ou seja, quando o número de registros se torna grande, o qui-quadrado calculado quase sempre será maior que o valor crítico, levando a concluir que os dados não estão em conformidade com a Lei de Benford.

Este problema começa a ser identificado para conjuntos de dados com mais de 5.000 registros, enquanto que, por outro lado “[s]e a amostra for pequena, o teste qui-quadrado tolerará alguns desvios” (NIGRINI et al. 2012, p. 154). Para conjuntos de dados grandes, o teste qui-quadrado é muito sensível a pequenos desvios da Lei de Benford para ser útil na avaliação da conformidade. Esse teste não é realmente de grande ajuda na análise forense, pois geralmente se lida com grandes conjuntos de dados⁹ (NIGRINI, 2012, P. 154). Portanto, Nigrini et al. (2012) conclui que a utilidade do teste qui-quadrado diminui significativamente em grandes conjuntos de dados devido à sua sensibilidade excessiva a pequenas variações.

A aplicação prática deste teste na análise forense de dados deve, portanto, ser feita com cautela e com uma compreensão clara de suas limitações. Para análises de conformidade mais robustas em grandes conjuntos de dados, pode ser necessário complementar o teste qui-quadrado com outras técnicas que considerem a estrutura e as características específicas dos dados analisados. A compreensão dessas limitações é importante para evitar conclusões

⁸ The number of degrees of freedom is K-1, which means that for the first-two digits, the test is evaluated using 89 degrees of freedom.

⁹ The test is not really of much help in forensic analytics because usually we are dealing with large data sets.

errôneas sobre a conformidade dos dados com a Lei de Benford (NIGRINI, 2012). Portanto, nesse trabalho foi utilizado o teste para demonstração do resultado encontrado e sua eventual não conformidade com a Lei de Benford.

3.2.8 Teste do Arco Das Mantissas

Utilizou-se o pacote `benford.analysis` em R (CINELLI, 2018) para realizar a análise, do Teste do Arco Das Mantissas, que avalia a distribuição dos valores de mantissa contra as expectativas da Lei de Benford.

O Teste do Arco Das Mantissas, conforme descrito por Nigrini (2012, p. 165-168), é uma metodologia utilizada para avaliar a conformidade de um conjunto de dados com a Lei de Benford por meio da análise das mantissas dos logs dos números. A mantissa, nesse contexto, é a parte fracionária do logaritmo de um número. A Lei de Benford prevê que as mantissas de um conjunto de dados devem ser distribuídas uniformemente entre 0 e 1.

O procedimento do Teste do Arco Das Mantissas envolve a ordenação e plotagem das mantissas. As mantissas dos dados são ordenadas do menor para o maior valor e plotadas no círculo unitário, com raio 1 e centrado na origem (0,0). Em um conjunto conforme à Lei de Benford, os pontos plotados devem ser distribuídos uniformemente ao redor do círculo. Para o cálculo das coordenadas, cada mantissa é convertida em coordenadas x e y no círculo unitário utilizando as fórmulas:

Equação 7 – Coordenada X do Arco das Mantissas

$$x - coordenada = \cos(2\pi \cdot (\log(xi) \text{ mod } 1))$$

Equação 8 – Coordenada Y do Arco das Mantissas

$$y - coordenada = \sin(2\pi \cdot (\log(xi) \text{ mod } 1))$$

Na interpretação dos resultados, um conjunto de dados conforme apresenta pontos uniformemente distribuídos no círculo unitário, resultando em um centro de gravidade na origem (0,0). Qualquer desvio significativo do centro de gravidade em relação à origem indica não conformidade com a Lei de Benford.

3.2.9 Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma

Nesta etapa, o algoritmo de Bugarin e Cunha (2015) foi adaptado para confrontar as categorias de dígitos identificadas como críticas nos Testes dos Dois Primeiros Dígitos e da Soma. Os resultados desses testes foram comparados para confirmar a criticidade dos dígitos selecionados, com o objetivo de determinar uma possível amostra de auditoria. Devido à ausência de auditorias anteriores para comparação com os resultados desta análise, o confronto foi realizado para indicar possíveis contratos a serem analisados.

No Teste dos Dois Primeiros Dígitos, foram selecionados os dígitos que estavam acima do limite superior (Upper Bound) e aqueles abaixo do limite inferior (Lower Bound). No Teste da Soma, foram analisados todos os picos que se destacaram. Conforme descrito por Nigrini (2012, p. 152), os limites superiores e inferiores são calculados de forma a incluir as proporções para as quais o Teste Z é igual a 1,96, correspondendo a um nível de significância de 5%. Isso significa que, se uma proporção de dígitos observados ultrapassa o limite superior ou cai abaixo do limite inferior, essa diferença seria estatisticamente significativa, sugerindo uma possível anomalia.

No contexto da análise estatística dos dígitos críticos, os limites superior e inferior são determinados pelas seguintes fórmulas:

O limite superior (*Upper Bound*) é calculado como:

Equação 9 – Upper Bound

$$UpperBound = EP + \left(1,96 \times \sqrt{\frac{EP(1 - EP)}{N}} \right) + \left(\frac{1}{2N} \right)$$

O limite inferior (*Lower Bound*) é determinado pela fórmula:

Equação 10 – Lower Bound

$$LowerBound = EP - \left(1,96 \times \sqrt{\frac{EP(1 - EP)}{N}} \right) - \left(\frac{1}{2N} \right)$$

Onde EP representa a proporção esperada de ocorrência de cada dígito e N é o número total de observações. O fator 1,96 corresponde ao valor crítico para um intervalo de confiança de 95%.

4 RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi aplicar a Lei de Benford na auditoria de contratos públicos disponíveis no Portal Nacional de Contratações Públicas (PNCP) para identificar potenciais anomalias nos dados financeiros, que poderiam sugerir indícios de fraudes ou inconsistências. Para alcançar esse objetivo, os resultados obtidos por meio da análise dos testes estatísticos — como os de primeiro e segundo dígitos, dois primeiros dígitos, soma e últimos dois dígitos — foram confrontados com a distribuição teórica esperada pela Lei de Benford. Este capítulo apresenta os principais achados, discute as evidências de conformidade e desvio nos valores analisados, e explora suas implicações para a auditoria pública, contextualizando-os no arcabouço teórico e metodológico utilizado. Por fim, são discutidas as limitações observadas e as oportunidades para aprofundar a análise em estudos futuros.

4.1 RESULTADO TESTE DO PRIMEIRO E SEGUNDO DÍGITO

A Tabela 5 apresenta os resultados do teste do primeiro dígito, de acordo com a Lei de Benford. A primeira coluna indica o dígito analisado. A segunda coluna mostra a quantidade de ocorrências em que um valor da planilha de dados inicia com o dígito da primeira coluna. A terceira coluna apresenta a frequência relativa dessas ocorrências, ou seja, a quantidade dividida pelo total de registros. A quarta coluna exibe a frequência esperada segundo a Lei de Benford. A quinta coluna representa a diferença entre a frequência real e a esperada. A sexta coluna calcula a diferença absoluta (ou módulo) do valor da quinta coluna. A sétima coluna mostra o resultado do teste Z, e a oitava coluna apresenta o resultado do teste Qui-Quadrado. O total de linhas de dados é representado por N. As células em vermelho destacam os valores que estão acima do valor considerado para o teste de significância.

Tabela 5 – Teste do Primeiro Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.

PRIMEIRO DÍGITO							
Dígito	Quant.	Real	Benford	Diferença	DifAbs	Teste Z	X ²
1	1352	0,333	0,301	0,032	0,032	4,435	0,595
2	760	0,187	0,176	0,011	0,011	1,844	0,600
3	503	0,124	0,125	-0,001	0,001	0,172	0,255
4	353	0,087	0,097	-0,010	0,010	2,115	1,029
5	342	0,084	0,079	0,005	0,005	1,169	0,900
6	211	0,052	0,067	-0,015	0,015	3,784	1,827
7	208	0,051	0,058	-0,007	0,007	1,805	1,416
8	172	0,042	0,051	-0,009	0,009	2,502	1,831
9	158	0,039	0,046	-0,007	0,007	2,046	1,807
N	4059			MAD:	0,01073	X²	10,260
						X² V. Crit.	15,507

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do Teste Z na Tabela 5 mostram que o dígito 1 (4,435) ultrapassa o ponto crítico estabelecido de 1,96, indicando super-representação na planilha de valores dos contratos. Além do dígito 1, outros dígitos, como o 6 ($Z = 3,784$), o 8 ($Z = 2,502$) e o 9 ($Z = 2,046$), também estão super-representados, ou seja, aparecem com maior frequência do que o esperado pela Lei de Benford. Esses valores de Z ultrapassam o ponto crítico de 1,96, indicando que esses dígitos ocorrem de forma anômala na planilha de contratos analisada. A super-representação significa que o dígito aparece mais frequentemente do que o esperado pela Lei de Benford e a diferença (5ª coluna) é positiva.

O resultado do Teste Qui-Quadrado foi 10,260 para o Teste do Primeiro Dígito na Tabela 5. O valor crítico para oito graus de liberdade (9-1) e 0,05 de significância é 15,507. Como o valor obtido está abaixo do valor crítico, não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de conformidade geral com a distribuição de Benford. Isso implica que, de forma agregada, os dígitos analisados seguem a distribuição esperada.

O MAD encontrado na Tabela 5 para os Primeiros Dígitos foi 0,01073, o que, segundo os valores críticos sugeridos por Nigrini (2012), se enquadra na faixa de conformidade aceitável (0,006 a 0,012). Conforme Café (2015, p. 29), é importante ressaltar que o teste do primeiro dígito não possui sensibilidade suficiente para identificar quais rubricas necessitam de maior escrutínio em bases de dados extensas. Esse teste oferece apenas uma visão geral preliminar da conformidade dos dados com a Lei de Benford, sem especificar claramente onde estão localizadas as maiores não-conformidades. Espera-se uma melhor análise no teste dos dois primeiros dígitos.

A Tabela 6 apresenta os resultados do teste do segundo dígito, de acordo com a Lei de Benford. A primeira coluna indica o dígito analisado. A segunda coluna mostra a quantidade de ocorrências em que um valor da planilha de dados inicia com o dígito da primeira coluna. A terceira coluna apresenta a frequência relativa dessas ocorrências, ou seja, a quantidade dividida pelo total de registros. A quarta coluna exibe a frequência esperada segundo a Lei de Benford. A quinta coluna representa a diferença entre a frequência real e a esperada. A sexta coluna calcula a diferença absoluta (ou módulo) do valor da quinta coluna. A sétima coluna mostra o resultado do teste Z, e a oitava coluna apresenta o resultado do teste Qui-Quadrado. O total de linhas de dados é representado por N. As células em vermelho destacam os valores que estão acima do valor considerado para o teste de significância.

Tabela 6 – Teste do Segundo Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.

SEGUNDO DÍGITO							
Dígito	Quant.	Real	Benford	Diferença	DifAbs	Teste Z	X ²
0	571	0,141	0,120	0,021	0,021	4,097	1,211
1	457	0,113	0,114	-0,001	0,001	0,236	0,317
2	424	0,104	0,109	-0,004	0,004	0,867	0,607
3	362	0,089	0,104	-0,015	0,015	3,131	1,180
4	371	0,091	0,100	-0,009	0,009	1,863	0,941
5	427	0,105	0,097	0,009	0,009	1,810	0,955
6	344	0,085	0,093	-0,009	0,009	1,861	0,994
7	305	0,075	0,090	-0,015	0,015	3,352	1,365
8	392	0,097	0,088	0,009	0,009	2,002	1,084
9	406	0,100	0,085	0,015	0,015	3,404	1,442
N	4059			MAD:	0,01071	X²	10,094
						X² V. Crit.	16,919

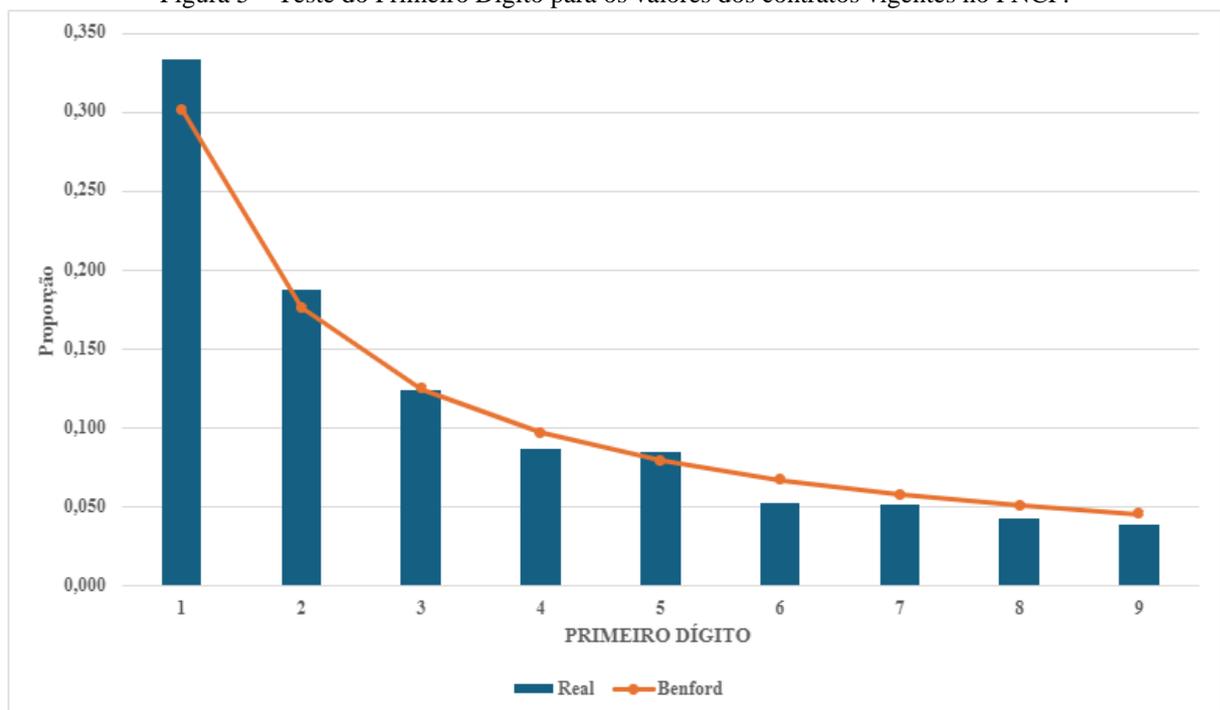
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do Teste Z na Tabela 6 indicam que os dígitos 0 (4,097), 8 (2,002) e 9 (3,404) ultrapassam o ponto crítico estabelecido e são super-representados na planilha de contratos, em que esses dígitos possuem uma diferença positiva na coluna 5, ou seja, a diferença entre o valor observado e o esperado é positiva, o que indica que eles aparecem com maior frequência do que o previsto. Enquanto os dígitos 3 (3,131) e 7 (3,352) são sub-representados, esses apresentam uma diferença negativa na coluna 5, significando que a frequência observada é menor do que a esperada. Tanto a super-representação quanto a sub-representação são indicadas por valores de Z que ultrapassam o ponto crítico de 1,96. Esses resultados podem ser

interpretados como um sinal de alerta. Já o resultado do Teste Qui-Quadrado para o Segundo Dígito na Tabela 6 foi 10,094, com um valor crítico para nove graus de liberdade (10-1) e 0,05 de significância de 16,919. Assim, a hipótese nula de conformidade não deve ser rejeitada, indicando que os dados estão em conformidade com a Lei de Benford, ou seja, não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que os dígitos analisados, de forma agregada, divergem significativamente da distribuição esperada. A Tabela 6 para os Segundos Dígitos apresentou um MAD de 0,01071, que se enquadra na faixa de conformidade marginalmente aceitável (0,010 a 0,012), ou seja, os resultados ainda estão dentro de um intervalo considerado aceitável para análise de conformidade, embora próximos do limite.

A Figura 5 – Teste do Primeiro Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP apresenta um gráfico que compara a frequência observada dos primeiros dígitos dos valores dos contratos com a frequência esperada pela Lei de Benford. No gráfico, o eixo X (Primeiro Dígito) representa os dígitos de 1 a 9, que correspondem aos primeiros dígitos dos valores dos contratos, enquanto o eixo Y (Proporção) indica a frequência ou proporção das ocorrências para cada um desses dígitos. O gráfico exibe duas séries de dados: a frequência observada é representada por uma linha de referência laranja, que mostra a proporção de vezes que cada dígito aparece como o primeiro em um valor de contrato no PNCP, enquanto a frequência esperada é representada por colunas azuis, que refletem a distribuição teórica esperada dos primeiros dígitos conforme a Lei de Benford.

Figura 5 – Teste do Primeiro Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.

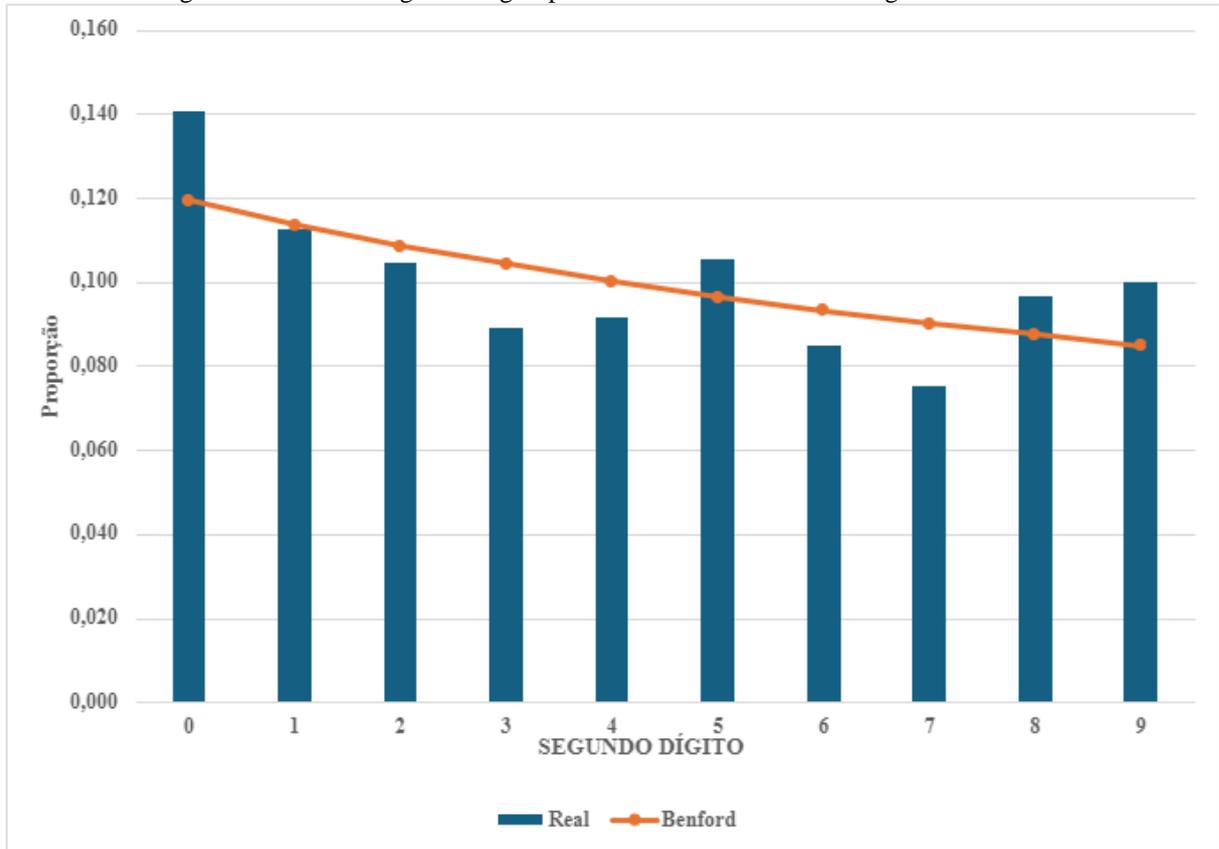


Fonte: Elaboração própria.

A Figura 6 – Teste do Segundo Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP exibe um gráfico similar, desta vez comparando a frequência observada dos segundos dígitos dos valores dos contratos com a frequência teórica prevista pela Lei de Benford. No gráfico, o eixo X representa os dígitos de 0 a 9, que correspondem aos segundos dígitos dos valores dos contratos, enquanto o eixo Y indica a frequência ou proporção das ocorrências para cada um desses dígitos. Assim como na Figura 6, a linha de referência laranja ilustra a frequência observada, mostrando a proporção de vezes que cada dígito aparece como o segundo dígito em

um valor de contrato no PNCP. As colunas azuis representam a frequência esperada para os segundos dígitos, de acordo com a Lei de Benford.

Figura 6 – Teste do Segundo Dígito para os valores dos contratos vigentes no PNCP.



Fonte: Elaboração própria.

Considerando os testes aplicados, pode-se afirmar, de maneira conservadora, que a planilha dos valores dos contratos vigentes do PNCP apresenta uma conformidade marginalmente aceitável com a Lei de Benford, com base somente nos resultados do MAD, considerado o melhor teste para avaliar conformidade, conforme Nigrini (2012). No entanto, nos testes do primeiro e segundo dígito, o teste de significância não foi aplicado, e não há uma análise mais aprofundada disponível nesta etapa. Segundo Nigrini (2012, p. 217) "[a] relação entre a não conformidade com a Lei de Benford e fraude e/ou erro, baseada apenas nos padrões de dígitos de um pequeno conjunto de dados, não é tão clara. Nesta fase, tudo o que podemos afirmar é que a não conformidade indica que uma revisão mais detalhada é necessária".¹⁰

4.2 RESULTADO TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS

A estrutura da Tabela 7 compreende as colunas "Díg.", que lista as combinações dos dois primeiros dígitos (de 10 a 99), "Quant.", que mostra a quantidade de ocorrências desses dígitos. A coluna "Real" apresenta a frequência real dessas ocorrências, enquanto a coluna "Benford" exibe a frequência esperada segundo a Lei de Benford. A "Diferença" calcula a diferença entre a frequência real e a esperada, e a "DifAbs" representa a diferença absoluta (ou

¹⁰ "The relationship between nonconformity to Benford and fraud and/or error based solely on the digit patterns of a small data set is not so clear. At this stage all that we can say is that nonconformity means that a closer review is warranted."

módulo) dessa variação. Além disso, a planilha inclui o "Teste Z" e o Qui-Quadrado "X²", que avaliam a conformidade com a Lei de Benford.

Tabela 7 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para os valores dos contratos vigentes no PNCP.

DOIS PRIMEIROS DÍGITOS															
Díg.	Quant.	Real	Benford	Difer.	DifAbs	Teste Z	X ²	Díg.	Quant.	Real	Benford	Difer.	DifAbs	Teste Z	X ²
10	219	0,054	0,041	0,013	0,013	3,978	2,708	55	27	0,007	0,008	-0,001	0,001	0,759	4,378
11	161	0,040	0,038	0,002	0,002	0,586	1,146	56	43	0,011	0,008	0,003	0,003	2,031	7,014
12	129	0,032	0,035	-0,003	0,003	0,994	1,571	57	32	0,008	0,008	0,000	0,000	0,153	2,407
13	134	0,033	0,032	0,001	0,001	0,255	0,894	58	37	0,009	0,007	0,002	0,002	1,164	5,540
14	106	0,026	0,030	-0,004	0,004	1,392	2,070	59	38	0,009	0,007	0,002	0,002	1,452	6,222
15	150	0,037	0,028	0,009	0,009	3,398	3,371	60	42	0,010	0,007	0,003	0,003	2,298	7,842
16	117	0,029	0,026	0,002	0,002	0,944	1,897	61	21	0,005	0,007	-0,002	0,002	1,343	6,153
17	100	0,025	0,025	0,000	0,000	0,026	0,551	62	28	0,007	0,007	0,000	0,000	0,039	1,024
18	127	0,031	0,023	0,008	0,008	3,233	3,763	63	15	0,004	0,007	-0,003	0,003	2,335	8,198
19	109	0,027	0,022	0,005	0,005	1,923	3,037	64	19	0,005	0,007	-0,002	0,002	1,503	6,728
20	92	0,023	0,021	0,001	0,001	0,599	1,813	65	15	0,004	0,007	-0,003	0,003	2,207	8,171
21	93	0,023	0,020	0,003	0,003	1,171	2,576	66	21	0,005	0,007	-0,001	0,001	0,976	5,641
22	87	0,021	0,019	0,002	0,002	0,929	2,390	67	15	0,004	0,006	-0,003	0,003	2,084	8,133
23	72	0,018	0,018	-0,001	0,001	0,294	1,477	68	16	0,004	0,006	-0,002	0,002	1,826	7,724
24	89	0,022	0,018	0,004	0,004	1,967	3,655	69	19	0,005	0,006	-0,002	0,002	1,168	6,337
25	82	0,020	0,017	0,003	0,003	1,500	3,305	70	32	0,008	0,006	0,002	0,002	1,303	6,739
26	47	0,012	0,016	-0,005	0,005	2,352	4,232	71	33	0,008	0,006	0,002	0,002	1,585	7,465
27	54	0,013	0,016	-0,002	0,002	1,210	3,160	72	24	0,006	0,006	0,000	0,000	0,064	1,470
28	66	0,016	0,015	0,001	0,001	0,466	2,096	73	12	0,003	0,006	-0,003	0,003	2,352	9,196
29	78	0,019	0,015	0,004	0,004	2,312	4,553	74	21	0,005	0,006	-0,001	0,001	0,446	4,393
30	65	0,016	0,014	0,002	0,002	0,887	2,957	75	18	0,004	0,006	-0,001	0,001	1,006	6,311
31	49	0,012	0,014	-0,002	0,002	0,870	3,005	76	11	0,003	0,006	-0,003	0,003	2,412	9,595
32	50	0,012	0,013	-0,001	0,001	0,512	2,420	77	13	0,003	0,006	-0,002	0,002	1,944	8,744
33	48	0,012	0,013	-0,001	0,001	0,572	2,604	78	19	0,005	0,006	-0,001	0,001	0,626	5,274
34	49	0,012	0,013	-0,001	0,001	0,225	1,806	79	25	0,006	0,005	0,001	0,001	0,495	4,830
35	57	0,014	0,012	0,002	0,002	0,977	3,476	80	21	0,005	0,005	0,000	0,000	0,085	2,758
36	37	0,009	0,012	-0,003	0,003	1,563	4,434	81	15	0,004	0,005	-0,002	0,002	1,322	7,584
37	42	0,010	0,012	-0,001	0,001	0,662	3,034	82	18	0,004	0,005	-0,001	0,001	0,622	5,472
38	50	0,012	0,011	0,001	0,001	0,551	2,855	83	10	0,002	0,005	-0,003	0,003	2,316	10,060
39	56	0,014	0,011	0,003	0,003	1,636	4,813	84	18	0,004	0,005	-0,001	0,001	0,518	5,166
40	36	0,009	0,011	-0,002	0,002	1,071	4,016	85	19	0,005	0,005	0,000	0,000	0,247	3,930
41	29	0,007	0,010	-0,003	0,003	2,002	5,506	86	13	0,003	0,005	-0,002	0,002	1,528	8,492
42	46	0,011	0,010	0,001	0,001	0,627	3,266	87	15	0,004	0,005	-0,001	0,001	1,038	7,174
43	31	0,008	0,010	-0,002	0,002	1,425	4,852	88	18	0,004	0,005	0,000	0,000	0,319	4,431
44	34	0,008	0,010	-0,001	0,001	0,817	3,811	89	25	0,006	0,005	0,001	0,001	1,085	7,449
45	41	0,010	0,010	0,001	0,001	0,283	2,470	90	26	0,006	0,005	0,002	0,002	1,368	8,353
46	31	0,008	0,009	-0,002	0,002	1,046	4,418	91	10	0,002	0,005	-0,002	0,002	2,002	10,066
47	26	0,006	0,009	-0,003	0,003	1,750	5,723	92	8	0,002	0,005	-0,003	0,003	2,424	11,117
48	44	0,011	0,009	0,002	0,002	1,192	4,849	93	17	0,004	0,005	0,000	0,000	0,312	4,601
49	35	0,009	0,009	0,000	0,000	0,019	1,401	94	11	0,003	0,005	-0,002	0,002	1,660	9,449
50	38	0,009	0,009	0,001	0,001	0,441	3,209	95	18	0,004	0,005	0,000	0,000	0,107	2,338
51	46	0,011	0,008	0,003	0,003	1,934	6,385	96	24	0,006	0,005	0,001	0,001	1,227	8,350
52	34	0,008	0,008	0,000	0,000	0,073	1,232	97	8	0,002	0,004	-0,002	0,002	2,258	11,188
53	23	0,006	0,008	-0,002	0,002	1,653	6,099	98	15	0,004	0,004	-0,001	0,001	0,568	6,059
54	24	0,006	0,008	-0,002	0,002	1,385	5,690	99	21	0,005	0,004	0,001	0,001	0,663	6,516

N 4059

MAD: 0,00206 Resul. X² 440,675X² V. Crit. 112,022

Fonte: Elaboração própria.

Analisando os resultados, observa-se que diversos dígitos apresentam desvios em relação à expectativa de Benford, sugerindo possíveis anomalias nos dados. Por exemplo, o dígito 10 aparece com uma frequência real de 0,054, enquanto a expectativa é de 0,041, gerando uma diferença de 0,013 e um valor do Teste Z de 3,978. Da mesma forma, os dígitos 15 e 18 também apresentam diferenças positivas notáveis entre a frequência real e a esperada, com valores de Teste Z acima de 3,0, o que aponta para uma possível concentração de ocorrências nesses dígitos que não seria esperada de acordo com a distribuição teórica.

Por outro lado, vários dígitos apresentam frequências inferiores às esperadas, como os dígitos 26, 63, 73 e 92, cujas diferenças negativas são acompanhadas de valores altos de Teste Z, sugerindo uma sub-representação nesses casos. Esses desvios para menos são igualmente relevantes, pois podem indicar uma ausência ou menor ocorrência de certos valores contratuais que, segundo a Lei de Benford, deveriam aparecer com mais frequência.

O valor total do Qui-Quadrado ($X^2 = 440,675$) excede significativamente o valor crítico (X^2 V. Crit. = 112,022), reforçando que os dados analisados desviam de forma significativa do padrão esperado pela Lei de Benford.

Com base nos comentários anteriores, o valor do MAD deve ser considerado o teste mais apropriado para avaliar a conformidade dos dados com a Lei de Benford. O MAD encontrado foi de 0,00206. Comparando esse resultado com os valores críticos definidos na Figura 4, observa-se que, para os dois primeiros dígitos, valores de MAD entre 0,0018 e 0,0022 indicam uma conformidade marginalmente aceitável, enquanto valores acima de 0,0022 apontam para uma não conformidade.

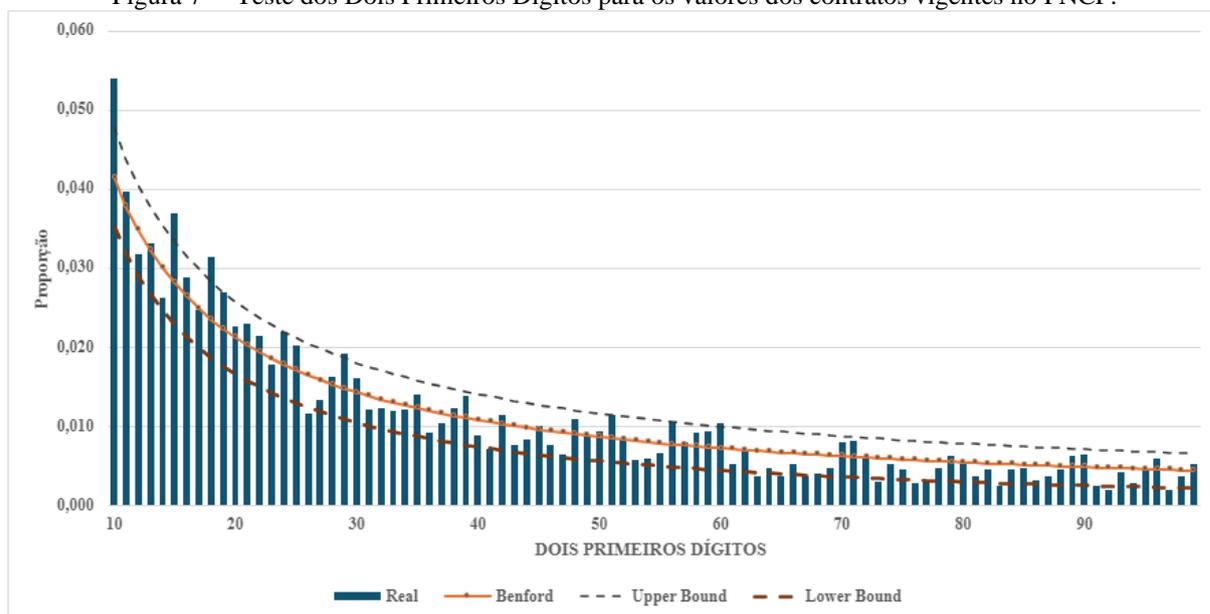
Neste caso, o valor de 0,00206 coloca os dados analisados na faixa de conformidade marginal, ou seja, os contratos não estão plenamente alinhados com a distribuição esperada de Benford, mas também não indicam uma clara não conformidade. Embora o teste do Qui-Quadrado ($X^2 = 440,675$) e os valores do Teste Z indiquem variações em relação à expectativa teórica, esses testes estão sendo utilizados para selecionar dígitos específicos para análise mais detalhada, em vez de determinar a conformidade geral dos dados. Portanto, a conformidade marginalmente aceitável observada através do MAD não indica irregularidades evidentes na distribuição geral dos dados. No entanto, os desvios nos testes Z e no Qui-Quadrado sugerem que alguns dígitos merecem maior atenção em análises subsequentes.

Como apontado na metodologia, utiliza-se os limites superior e inferior de tolerância no teste Z para selecionar os dígitos críticos. Os limites superior e inferior de tolerância são calculados em função da proporção esperada de ocorrência de cada dígito (EP) e do número total de observações (N), utilizando um fator crítico de 1,96 para um intervalo de confiança de 95%. A Figura 7 oferece uma visualização clara dos resultados, destacando o limite superior e inferior de tolerância para os dígitos críticos.

A Figura 7 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para os valores dos contratos vigentes no PNCP é um gráfico que analisa a conformidade dos dados dos contratos com a Lei de Benford. No gráfico, o eixo X representa os "Dois primeiros dígitos" dos valores dos contratos, enquanto o eixo Y mostra a "Proporção" dessas ocorrências. O gráfico é composto por colunas e linhas: as colunas azuis indicam a proporção encontrada dos dados analisados, refletindo a frequência real dos dois primeiros dígitos nos valores dos contratos. As linhas, por outro lado, representam a proporção esperada conforme a Lei de Benford. A linha laranja no meio representa a proporção teórica esperada pela Lei de Benford, enquanto as linhas superiores e inferiores indicam os limites de significância (upper bound e lower bound), ajudando a identificar a faixa dentro da qual os dados podem variar sem indicar uma discrepância significativa. A comparação

entre as colunas azuis e as linhas ajuda a visualizar como os dados reais se alinham com as expectativas teóricas e quais discrepâncias, se houver, estão dentro dos limites aceitáveis.

Figura 7 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para os valores dos contratos vigentes no PNCP.



Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar a figura 7, observa-se que a proporção real observada e a esperada (Benford) é um indicador para determinar se a distribuição dos dígitos segue o padrão esperado. A análise torna-se crítica quando essa diferença ultrapassa os limites superior (Upper Bound) ou inferior (Lower Bound), sinalizando a presença de desvios significativos. O dígito 10 apresenta um desvio significativo. A proporção observada de 0,054 excede o limite superior estabelecido em 0,048, sugerindo que esse dígito ocorre com maior frequência do que o esperado. Da mesma forma, o dígito 15 ultrapassa o limite superior. A proporção observada é de 0,037, enquanto o limite superior esperado é de 0,033. Esse desvio aponta uma super-representação desse dígito nos dados analisados. Outro caso relevante é o dígito 18, cuja proporção observada de 0,031 está acima do limite superior de 0,028.

Além desses, o dígito 26 apresenta uma sub-representação nos dados. A proporção observada de 0,012 é inferior ao limite inferior estabelecido em 0,014. Isso significa que o dígito aparece com menos frequência do que o previsto pela Lei de Benford, sinalizando outro desvio relevante na distribuição. De forma semelhante, o dígito 29 também está abaixo do limite inferior, com uma proporção observada de 0,019, enquanto o limite inferior é de 0,021. Esse comportamento reforça a necessidade de uma investigação adicional sobre a consistência dos dados.

Outros dígitos que ultrapassam os limites são 36, 41, 46, 47, 53, 56 e 60. Todos eles apresentam desvios tanto acima quanto abaixo dos limites esperados, o que evidencia uma distribuição que não segue o padrão previsto. Esses dígitos, assim como os mencionados anteriormente, indicam uma possível anomalia na base de dados.

Os resultados do Teste Z indicam desconformidades significativas em 18 casos. Um valor de Teste Z acima de 1,96 aponta desconformidade com a Lei de Benford. Se a diferença for negativa e o Teste Z for maior que 1,96, há sub-representação; se a diferença for positiva e o Teste Z for maior que 1,96, há super-representação. Os casos de desconformidade são:

Dígito 10: Diferença de 0,013, Teste Z de 3,978 (super-representação);

Dígito 15: Diferença de 0,009, Teste Z de 3,398 (super-representação);

Dígito 18: Diferença de 0,008, Teste Z de 3,233 (super-representação);

Dígito 24: Diferença de 0,004, Teste Z de 1,967 (quase desconformidade);
 Dígito 26: Diferença de -0,005, Teste Z de 2,352 (sub-representação);
 Dígito 29: Diferença de 0,004, Teste Z de 2,312 (super-representação);
 Dígito 41: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,002 (sub-representação);
 Dígito 56: Diferença de 0,003, Teste Z de 2,031 (super-representação);
 Dígito 60: Diferença de 0,003, Teste Z de 2,298 (super-representação);
 Dígito 63: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,335 (sub-representação);
 Dígito 65: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,207 (sub-representação);
 Dígito 67: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,084 (sub-representação);
 Dígito 73: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,352 (sub-representação);
 Dígito 76: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,412 (sub-representação);
 Dígito 83: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,316 (sub-representação);
 Dígito 91: Diferença de -0,002, Teste Z de 2,002 (sub-representação);
 Dígito 92: Diferença de -0,003, Teste Z de 2,424 (sub-representação);
 Dígito 97: Diferença de -0,002, Teste Z de 2,258 (sub-representação).

Além disso, o teste Qui-Quadrado (X^2) apresenta um valor calculado de 440,675, enquanto o valor crítico é 112,022 para 89 (90-1) graus de liberdade e um nível de significância de 0,05. O valor calculado excede o valor crítico, o que leva à rejeição da hipótese nula, sugerindo desconformidade com a Lei de Benford. Em comparação, o resultado do Teste Qui-Quadrado foi 10,260 para o Teste do Primeiro Dígito na Tabela 5, com um valor crítico de 15,507 para oito graus de liberdade (9-1) e 0,05 de significância.

Já o resultado do Teste Qui-Quadrado para o Segundo Dígito na Tabela 6 foi 10,094, com um valor crítico de 16,919 para nove graus de liberdade (10-1) e 0,05 de significância. Assim, a hipótese nula de conformidade não foi rejeitada para o Primeiro e Segundo Dígito, indicando que os dados estavam em conformidade com a Lei de Benford nesses testes. Assim, apesar da conformidade observada nos testes do Primeiro e Segundo Dígito, o teste Qui-Quadrado para os dois primeiros dígitos revelou uma desconformidade significativa estatisticamente, destacando uma inconsistência que não foi evidente nos testes individuais de dígitos.

Portanto, os resultados indicam 18 desconformidades em relação à Lei de Benford nos valores globais contratados extraídos do PNCP. Essas desconformidades, especialmente identificadas pelo Teste Z e pelo Qui-Quadrado, sugerem a necessidade de uma análise mais detalhada e rigorosa para garantir a integridade e a conformidade dos dados financeiros analisados.

4.3 RESULTADO TESTE DA SOMA

A Tabela 8 apresenta os resultados do teste da soma aplicado à planilha dos contratos vigentes do PNCP. Na primeira coluna, "Dígito" refere-se aos dois primeiros dígitos (abrangendo 90 categorias). A segunda coluna, "Soma", indica a soma dos valores correspondentes a cada categoria. A terceira coluna, "Real", representa a frequência relativa de cada classe de dígitos, enquanto a quarta coluna, "Benford", mostra a proporção esperada para a soma de cada categoria. A quinta coluna, "Diferença", demonstra a diferença entre as colunas "Real" e "Benford", e, por fim, a sexta coluna, "DifAbs", apresenta a diferença absoluta (ou módulo).

Tabela 8 – Teste da Soma para os valores dos contratos vigentes no PNCP.

TESTE DA SOMA					
Dígito	Soma	Real	Benford	Diferença	DifAbs
10	R\$ 125.081.167,28	0,064	0,011	0,053	0,053

11	R\$ 17.878.496,37	0,009	0,011	-0,002	0,002
12	R\$ 28.309.297,59	0,015	0,011	0,003	0,003
13	R\$ 33.522.989,65	0,017	0,011	0,006	0,006
14	R\$ 35.889.385,68	0,018	0,011	0,007	0,007
15	R\$ 8.341.748,72	0,004	0,011	-0,007	0,007
16	R\$ 19.602.683,56	0,010	0,011	-0,001	0,001
17	R\$ 4.089.202,67	0,002	0,011	-0,009	0,009
18	R\$ 5.053.145,25	0,003	0,011	-0,009	0,009
19	R\$ 3.115.849,65	0,002	0,011	-0,010	0,010
20	R\$ 2.988.072,24	0,002	0,011	-0,010	0,010
21	R\$ 25.613.629,76	0,013	0,011	0,002	0,002
22	R\$ 52.343.024,53	0,027	0,011	0,016	0,016
23	R\$ 6.733.389,25	0,003	0,011	-0,008	0,008
24	R\$ 2.680.628,66	0,001	0,011	-0,010	0,010
25	R\$ 7.491.672,36	0,004	0,011	-0,007	0,007
26	R\$ 622.391,34	0,000	0,011	-0,011	0,011
27	R\$ 32.913.992,68	0,017	0,011	0,006	0,006
28	R\$ 4.913.065,22	0,003	0,011	-0,009	0,009
29	R\$ 36.835.331,73	0,019	0,011	0,008	0,008
30	R\$ 7.005.082,21	0,004	0,011	-0,008	0,008
31	R\$ 34.991.518,99	0,018	0,011	0,007	0,007
32	R\$ 8.567.116,49	0,004	0,011	-0,007	0,007
33	R\$ 9.257.478,48	0,005	0,011	-0,006	0,006
34	R\$ 75.018.188,02	0,039	0,011	0,028	0,028
35	R\$ 7.496.713,62	0,004	0,011	-0,007	0,007
36	R\$ 1.932.158,23	0,001	0,011	-0,010	0,010
37	R\$ 42.878.225,15	0,022	0,011	0,011	0,011
38	R\$ 118.802.709,06	0,061	0,011	0,050	0,050
39	R\$ 14.146.438,18	0,007	0,011	-0,004	0,004
40	R\$ 42.280.448,97	0,022	0,011	0,011	0,011
41	R\$ 51.137.734,82	0,026	0,011	0,015	0,015
42	R\$ 10.356.649,45	0,005	0,011	-0,006	0,006
43	R\$ 5.686.162,34	0,003	0,011	-0,008	0,008
44	R\$ 2.357.071,72	0,001	0,011	-0,010	0,010
45	R\$ 17.196.884,35	0,009	0,011	-0,002	0,002
46	R\$ 6.705.254,43	0,003	0,011	-0,008	0,008
47	R\$ 10.765.783,35	0,006	0,011	-0,006	0,006
48	R\$ 52.029.294,25	0,027	0,011	0,016	0,016
49	R\$ 6.449.318,42	0,003	0,011	-0,008	0,008
50	R\$ 798.191,98	0,000	0,011	-0,011	0,011
51	R\$ 8.769.904,32	0,005	0,011	-0,007	0,007
52	R\$ 1.767.388,97	0,001	0,011	-0,010	0,010
53	R\$ 849.224,31	0,000	0,011	-0,011	0,011
54	R\$ 56.496.804,17	0,029	0,011	0,018	0,018

55	R\$ 1.642.283,78	0,001	0,011	-0,010	0,010
56	R\$ 7.145.014,66	0,004	0,011	-0,007	0,007
57	R\$ 71.346.914,37	0,037	0,011	0,026	0,026
58	R\$ 8.465.537,68	0,004	0,011	-0,007	0,007
59	R\$ 8.744.320,83	0,005	0,011	-0,007	0,007
60	R\$ 2.523.395,76	0,001	0,011	-0,010	0,010
61	R\$ 8.108.844,65	0,004	0,011	-0,007	0,007
62	R\$ 1.958.604,04	0,001	0,011	-0,010	0,010
63	R\$ 6.426.682,62	0,003	0,011	-0,008	0,008
64	R\$ 649.546.927,98	0,334	0,011	0,323	0,323
65	R\$ 1.727.301,84	0,001	0,011	-0,010	0,010
66	R\$ 340.468,44	0,000	0,011	-0,011	0,011
67	R\$ 912.847,17	0,000	0,011	-0,011	0,011
68	R\$ 164.009,25	0,000	0,011	-0,011	0,011
69	R\$ 1.605.092,93	0,001	0,011	-0,010	0,010
70	R\$ 78.558.886,75	0,040	0,011	0,029	0,029
71	R\$ 1.808.090,59	0,001	0,011	-0,010	0,010
72	R\$ 2.379.988,00	0,001	0,011	-0,010	0,010
73	R\$ 266.380,11	0,000	0,011	-0,011	0,011
74	R\$ 7.747.320,68	0,004	0,011	-0,007	0,007
75	R\$ 420.264,79	0,000	0,011	-0,011	0,011
76	R\$ 324.431,87	0,000	0,011	-0,011	0,011
77	R\$ 1.119.976,96	0,001	0,011	-0,011	0,011
78	R\$ 210.031,57	0,000	0,011	-0,011	0,011
79	R\$ 1.639.709,78	0,001	0,011	-0,010	0,010
80	R\$ 1.213.389,06	0,001	0,011	-0,010	0,010
81	R\$ 524.503,58	0,000	0,011	-0,011	0,011
82	R\$ 955.913,37	0,000	0,011	-0,011	0,011
83	R\$ 36.918,08	0,000	0,011	-0,011	0,011
84	R\$ 1.324.742,01	0,001	0,011	-0,010	0,010
85	R\$ 430.893,82	0,000	0,011	-0,011	0,011
86	R\$ 2.016.050,04	0,001	0,011	-0,010	0,010
87	R\$ 1.018.948,18	0,001	0,011	-0,011	0,011
88	R\$ 2.747.369,87	0,001	0,011	-0,010	0,010
89	R\$ 1.243.857,75	0,001	0,011	-0,010	0,010
90	R\$ 1.342.215,47	0,001	0,011	-0,010	0,010
91	R\$ 1.042.905,24	0,001	0,011	-0,011	0,011
92	R\$ 1.126.296,21	0,001	0,011	-0,011	0,011
93	R\$ 1.258.029,16	0,001	0,011	-0,010	0,010
94	R\$ 212.808,92	0,000	0,011	-0,011	0,011
95	R\$ 10.919.199,65	0,006	0,011	-0,005	0,005
96	R\$ 1.284.233,76	0,001	0,011	-0,010	0,010
97	R\$ 236.114,03	0,000	0,011	-0,011	0,011
98	R\$ 55.648,01	0,000	0,011	-0,011	0,011

99	R\$ 395.601,35	0,000	0,011	-0,011	0,011
Total	R\$ 1.942.279.873,08				

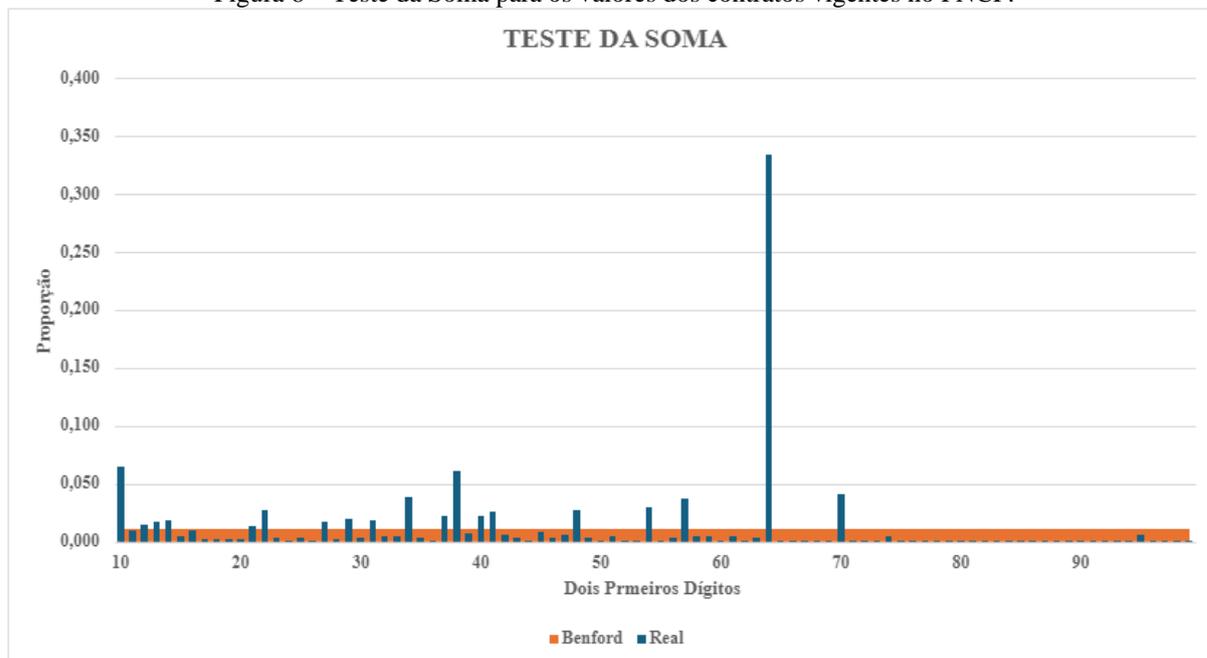
Fonte: Elaboração própria.

A análise dos dígitos deve considerar não apenas os valores que ultrapassam o esperado pela Lei de Benford, mas também compará-los com os números subsequentes ou precedentes. A significativa diferença observada entre os dígitos consecutivos pode indicar um comportamento atípico nos dados, o que justifica uma investigação mais detalhada.

A análise dos dígitos revela que os três dígitos com a maior diferença positiva em relação à expectativa de Benford são 64 (R\$ 649.546.927,98), 10 (R\$ 125.081.167,28) e 38 (R\$ 118.802.709,06). Já os dígitos 34 (R\$ 75.018.188,02), 70 (R\$ 78.558.886,75) e 57 (R\$ 71.346.914,37) apresentam diferenças consideráveis quando comparados aos seus subjacentes, o que pode indicar um comportamento anômalo nos dados. A Figura 8 fornecerá uma visão mais detalhada dos resultados apresentados, facilitando uma compreensão visual das discrepâncias observadas.

A Figura 8 visualiza as proporções encontradas para a soma de cada categoria em comparação com as proporções previstas pelo teste de Benford.

Figura 8 – Teste da Soma para os valores dos contratos vigentes no PNCP.



Fonte: Elaboração própria.

Inicialmente, o teste indica que o dígito 64, devido ao valor do contrato de R\$ 649.546.927,98, apresenta uma proporção de 0,334 (33,4%). Esse comportamento será observado na figura 9 ao analisar a diferença entre o último e o penúltimo valor dos dados organizados em ordem crescente. Além disso, outros dígitos apresentaram valores fora da expectativa de 0,11 nos dois primeiros dígitos, como 10, 22, 34, 38, 41, 48, 54, 57, 68, 70, 78, 83, 94 e 98.

Na Figura 8, é possível observar picos nos dígitos 10, 34, 38, 57 e 70, onde a soma atinge 0,241 (24,1%) do valor total. Ao adicionar o maior pico, correspondente ao dígito 64, a soma dos picos representa 0,575 (57,50%) do total. Essa análise detalhada revela discrepâncias significativas em relação às proporções esperadas pelo teste de Benford, sugerindo possíveis anomalias nos dados dos contratos vigentes do PNCP.

A Tabela 8 apresenta os resultados do teste da soma aplicada aos contratos vigentes do PNCP. A análise dos dados revela a presença de um valor alto, R\$ 648.801.366,35, em

comparação com o segundo e o terceiro valores mais elevados, R\$ 102.827.094,54 e R\$ 70.239.970,89, respectivamente. Esses valores serão considerados na análise, conforme Nigrini (2012) destaca que “[o] objetivo do teste é detectar números anormalmente grandes ou números de tamanho médio a grande com os mesmos dois primeiros dígitos que se repetem nos dados.”¹¹

A figura 9 demonstra os últimos valores na planilha de dados dessa análise que foram organizados em ordem crescente:

Figura 9 – Últimos valores dos contratos vigentes no PNCP.

	A	B	C	D	G	H
1	Contrato nº / Empenho	Id contrato PNCP:	Vigência	Modalidade da Contratação	Estado	Valor Global R\$
4053	27/2024	46384111000140-2-000014/2024	de 27/03/2024 a 26/05/2026	Pregão - Eletrônico	SP	R\$ 40.340.609,38
4054	25/2024	46384111000140-2-000013/2024	de 26/03/2024 a 25/05/2026	Pregão - Eletrônico	SP	R\$ 41.371.668,29
4055	23/2024	46384111000140-2-000011/2024	de 01/04/2024 a 30/10/2026	Pregão - Eletrônico	SP	R\$ 48.577.110,10
4056	79/SME/2024/2023	46392114000125-2-000214/2023	de 07/05/2024 a 06/05/2025	Pregão - Eletrônico	SP	R\$ 54.939.395,54
4057	02.16.04.24/2024	13714464000101-2-000115/2024	de 16/04/2024 a 31/12/2024	Concorrência - Presencial	BA	R\$ 57.186.442,00
4058	74/2024	46392114000125-2-000018/2024	de 02/04/2024 a 01/04/2025	Pregão - Eletrônico	SP	R\$ 70.239.970,89
4059	070/2024	42498600000171-2-000469/2024	de 11/03/2024 a 24/01/2025	Dispensa	RJ	R\$ 102.827.094,54
4060	69/2024	88811922000120-2-000019/2024	de 14/02/2024 a 08/02/2025	Pregão - Eletrônico	RS	R\$ 648.801.366,35
4061						

Fonte: Elaboração própria.

Em termos de magnitude da diferença entre os valores, observa-se que a variação entre R\$ 70.239.970,89 e R\$ 102.827.094,54 corresponde a R\$ 32.587.123,65, o que representa um aumento de aproximadamente 46,3%. Por sua vez, a diferença entre R\$ 102.827.094,54 e R\$ 648.801.366,35 é de R\$ 545.974.271,81, implicando um aumento expressivo de cerca de 530,6%. Esses valores se destacam por sua influência óbvia no resultado do teste, sendo facilmente identificáveis como outliers. O valor de R\$ 648.801.366,35, encontrado no Id contrato PNCP: 88811922000120-2-000019/2024, é particularmente relevante, pois, ao ser analisado sob o Teste da Soma e à luz da Lei de Benford, demonstra um desvio substancial do padrão esperado. Este valor elevado, no entanto, é o resultado de um erro de lançamento, uma vez que o valor correto do contrato celebrado pelo Município de Guaíba/RS, conforme o Termo de Contrato oriundo do Pregão Eletrônico n.191/2023 (Processo Administrativo Digital nº52.038/2023), corresponde a R\$ 342.932,01 mensais, ou R\$ 4.115.184,12 anuais, com prazo de vigência de 12 meses. Portanto, a discrepância observada é um erro das informações disponíveis no PNCP.

No contexto do teste de soma, além desses três outliers, é possível observar outros valores que se desviam do padrão esperado pela Lei de Benford, especialmente em relação aos dígitos adjacentes, que podem fornecer indícios de discrepâncias adicionais.

4.4 RESULTADO TESTE DO ARCO DAS MANTISSAS

Este teste (<https://github.com/carloscinelli/benford.analysis>) avalia a distribuição dos valores das mantissas em seus dados em comparação com as expectativas da Lei de Benford.

A Tabela 9 apresenta os resultados do teste do arco das mantissas aplicado aos dados dos contratos vigentes no PNCP, conforme obtido pelo software R. Na primeira coluna da tabela estão as "Seções" do teste. A primeira seção, "Estatísticas das Mantissas", descreve os parâmetros calculados para as mantissas dos dados analisados. A segunda seção, "Estatísticas do Teste do Arco das Mantissas", apresenta as métricas utilizadas no teste, enquanto a terceira seção exibe os resultados do "Desvio Absoluto Médio (DAM) e Fator de Distorção". A segunda coluna, intitulada "Estatísticas", apresenta as medidas calculadas para cada uma das seções. Na primeira seção, "Média" refere-se ao valor médio das mantissas, "Variância" indica a dispersão dos dados em relação à média, "Curtose Excesso" demonstra o grau de achatamento da

¹¹ “The goal of the test is to detect abnormally large numbers or medium-size large numbers with the same first-two digits that are repeated in the data.” p. 115

distribuição em comparação com uma distribuição normal, e "Assimetria" reflete o desvio da simetria na distribuição das mantissas. Na segunda seção, os parâmetros incluem "L2", que representa a métrica do teste do arco das mantissas, "Graus de Liberdade" e "valor-p", que indica a significância estatística do teste. Na terceira seção, "Desvio Absoluto Médio (MAD)" e "Fator de Distorção" são apresentados como as medidas finais de conformidade. A terceira coluna, intitulada "Valor", fornece os resultados numéricos correspondentes a cada uma das estatísticas.

Tabela 9 – Resultado Teste do Arco das Mantissas output do R.

Seção	Estatísticas	Valores
Estatísticas das Mantissas	Média	0,473
	Variância	0,082
	Curtose Excesso	-1,152
	Assimetria	0,109
Estatísticas do Teste do Arco das Mantissas	L2	0,0028983
	Graus de Liberdade	2
	valor-p	7,78E-06
Desvio Absoluto Médio (MAD) e Fator de Distorção	Desvio Absoluto Médio (MAD)	0,002056251
	Conformidade MAD - Nigrini (2012)	Marginally acceptable conformity
	Fator de Distorção	-6,062877

Fonte: Elaboração própria.

A primeira seção da tabela trata das estatísticas das mantissas, que podem ser fundamentais na avaliação da conformidade dos dados com a Lei de Benford. A média das mantissas foi 0,473, um valor próximo do esperado, considerando que a distribuição ideal seria uniforme entre 0 e 1. A variância calculada foi 0,082, indicando uma dispersão moderada em relação à média, o que sugere uma variação considerável entre os valores de mantissa.

A curtose excesso foi de -1,152, sugerindo que a distribuição dos valores de mantissa é mais achatada do que uma distribuição normal, o que pode indicar uma menor concentração de valores nas caudas da distribuição. A assimetria de 0,109 demonstra uma leve inclinação à direita, o que significa que a distribuição das mantissas não é perfeitamente simétrica, mas esse valor é relativamente pequeno, indicando uma leve deformidade em relação à uniformidade esperada.

A segunda seção da tabela apresenta os resultados do Teste do Arco das Mantissas. O valor de L2 foi 0,0028983, uma métrica que quantifica a distância entre a distribuição das mantissas dos dados e a distribuição esperada pela Lei de Benford. O número de graus de liberdade (gl) foi 2, e o valor-p associado ao teste foi de 7,78E-06. Embora seja comum encontrar um valor-p muito baixo em testes que avaliam a conformidade com a Lei de Benford, conforme destacado, o foco principal não deve ser no valor-p em si, mas na interpretação dos desvios e conformidades gerais dos dados. A significância estatística aqui sugere que há uma variação detectável entre os dados observados e a distribuição de Benford, embora, como mencionado, isso não invalide completamente a utilidade do teste.

Na terceira seção, o Desvio Absoluto Médio (MAD) foi de 0,002056251, o que indica o grau de conformidade dos dados em relação ao comportamento ideal segundo a Lei de Benford. De acordo com os critérios de Nigrini (2012), essa métrica resultou em uma conformidade classificada como "marginamente aceitável", o que sugere que, embora os dados

não sejam perfeitamente compatíveis com a distribuição de Benford, o desvio não é severamente problemático.

O fator de distorção de $-6,062877$ sugere uma distorção negativa considerável em relação ao que seria uma conformidade total com a Lei de Benford. Esse resultado pode indicar a presença de fatores atípicos nos dados, como fraudes ou erros contábeis, ou pode simplesmente refletir as particularidades inerentes ao conjunto de dados analisado.

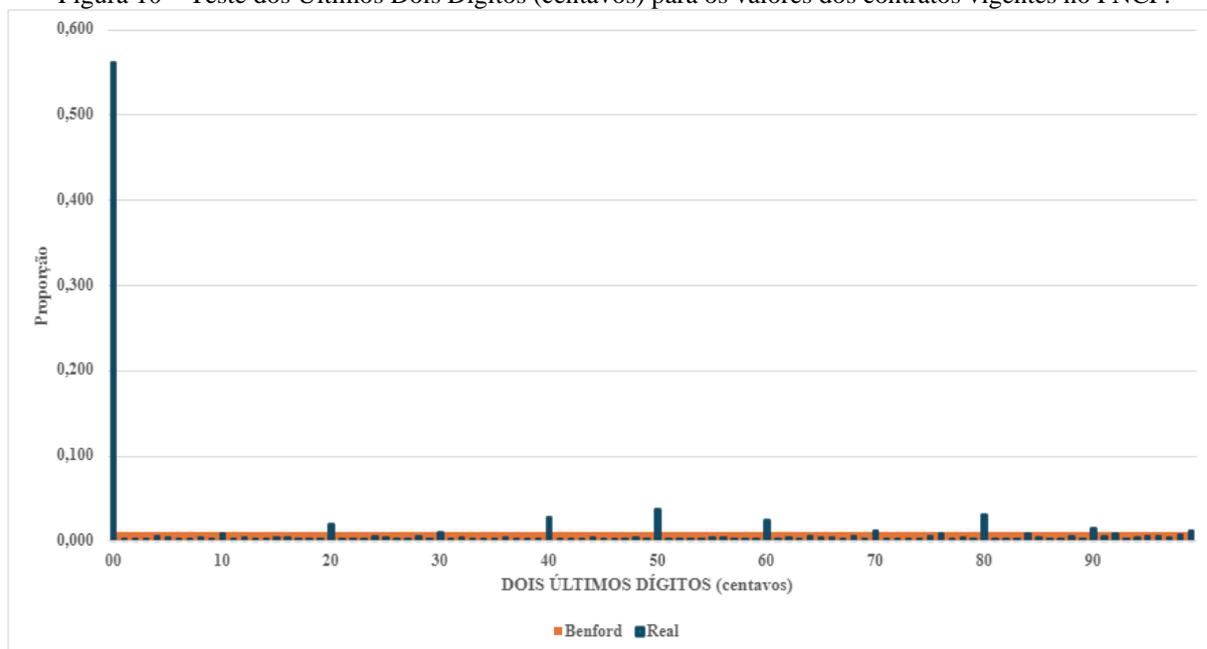
Os dados dos contratos vigentes no PNCP, quando submetidos ao teste do arco das mantissas, demonstram uma conformidade marginal com a Lei de Benford, de acordo com a métrica do MAD. Embora os valores de L2 e o valor-p indiquem que os dados não seguem exatamente a distribuição esperada, é importante lembrar que dados reais raramente se conformam perfeitamente à Lei de Benford. A presença de uma leve assimetria e uma curtose achatada também contribuem para os desvios observados.

Em conclusão, os resultados apontam para uma conformidade marginalmente aceitável, sugerindo que o conjunto de dados analisado se aproxima, mas não adere estritamente, às expectativas da Lei de Benford. Essas discrepâncias, no entanto, são comuns em análises de dados reais e podem ser atribuídas a diversas causas naturais e operacionais.

4.5 RESULTADO TESTE DOS ÚLTIMOS DOIS DÍGITOS – CENTAVOS, DEZENAS E UNIDADE

O teste dos Últimos Dois Dígitos visa identificar indícios de invenção ou criatividade numérica nos dados analisados. A Figura 10 ilustra graficamente os resultados encontrados na análise dos últimos dois dígitos considerando os centavos.

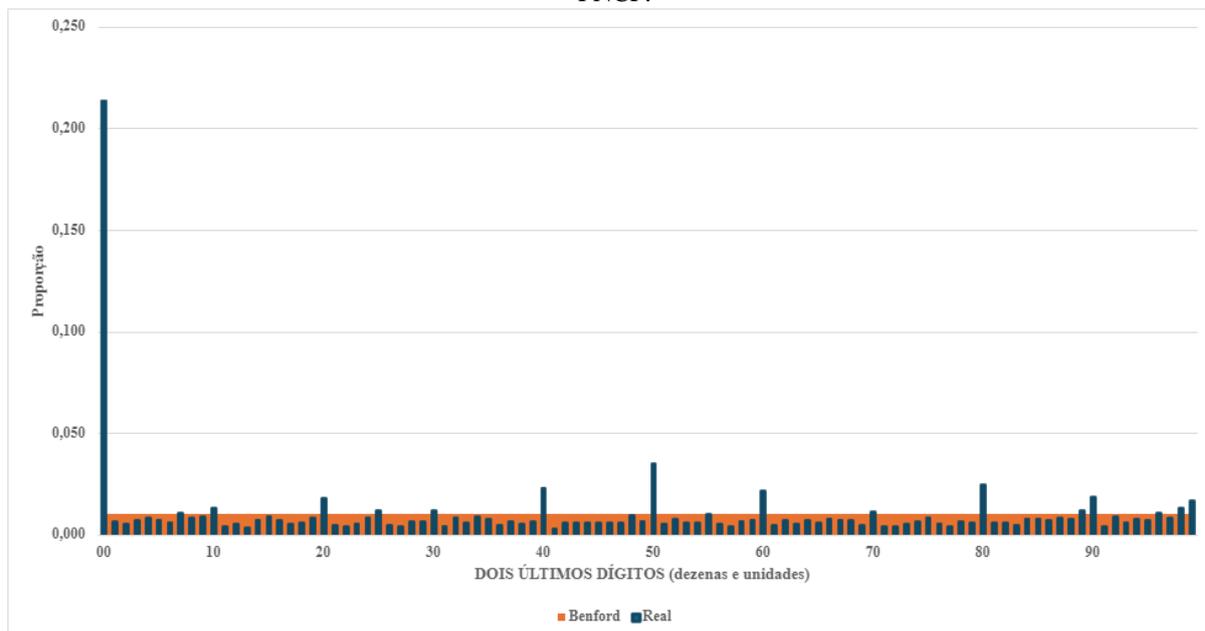
Figura 10 – Teste dos Últimos Dois Dígitos (centavos) para os valores dos contratos vigentes no PNCP.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 11 ilustra graficamente os resultados encontrados na análise dos últimos dois dígitos considerando as dezenas e unidades.

Figura 11 – Teste dos Últimos Dois Dígitos (dezenas e unidades) para os valores dos contratos vigentes no PNCP.



Fonte: Elaboração própria.

Na análise dos centavos, o dígito 00 teve uma frequência de 0,562 (56,2%) e na análise das dezenas e unidades 0,213 (21,3%). Deve-se considerar que está sendo analisado valores globais, e não valores unitários. Dado que se trata de preços, a expectativa é que os dígitos terminados em 0 apresentem picos maiores, assim como os dígitos terminados em 99, devido à prática de precificação psicológica. Essa expectativa é confirmada pelos resultados obtidos. Portanto, esses testes não fornecem uma contribuição significativa para a análise forense ou de auditoria, especialmente no caso específico, a menos que os picos ocorressem em dígitos inesperados, o que não foi observado neste caso.

4.6 CONFRONTO ENTRE O TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS E O TESTE DA SOMA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Tabela 10, há uma comparação detalhada entre os resultados do Teste dos Dois Primeiros Dígitos e do Teste da Soma aplicados aos valores dos contratos vigentes no PNCP. Esta tabela está organizada para evidenciar as categorias de dígitos identificadas como críticas em ambos os testes, conforme o algoritmo de Bugarin e Cunha (2015) modificado.

Na seção dos "Dígitos Críticos do Teste dos Dois Primeiros Dígitos", a primeira coluna, intitulada "Dígito", lista os dois primeiros dígitos selecionados a partir do Teste Z. A segunda coluna, "Quantidade", indica a quantidade de ocorrências desses dígitos nos dados analisados. A terceira coluna, "Real", representa a frequência relativa de cada classe de dígitos. A quarta coluna, "Teste Z", mostra o valor do Teste Z para cada dígito, ajudando a medir a criticidade dos valores encontrados.

A seção dos "Dígitos Críticos do Teste da Soma" apresenta uma estrutura semelhante. A primeira coluna, "Dígito", lista novamente os dois primeiros dígitos, selecionados pelo Teste da Soma. A segunda coluna, "Soma", indica a soma dos valores correspondentes a cada categoria de dígito. A terceira coluna, "Real", exibe a proporção real para a soma de cada categoria. Em negrito estão os números que tiveram super-representação acima do valor de tolerância.

Tabela 10 – Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma para os valores dos contratos vigentes no PNCP.

Confronto entre o teste dos dois primeiros dígitos e o teste da soma						
Dígitos Críticos do Teste dos Dois Primeiros Dígitos				Dígitos Críticos do Teste da Soma		
Dígito	Quant.	Real	Teste Z	Dígito	Soma	Real
10	219	0,054	3,978	10	R\$ 125.081.167,28	0,064
15	150	0,037	3,398	22	R\$ 52.343.024,53	0,027
18	127	0,031	3,233	34	R\$ 75.018.188,02	0,039
24	89	0,022	1,967	38	R\$ 118.802.709,06	0,061
26	47	0,012	2,352	41	R\$ 51.137.734,82	0,026
29	78	0,019	2,312	48	R\$ 52.029.294,25	0,027
41	29	0,007	2,002	54	R\$ 56.496.804,17	0,029
56	43	0,011	2,031	57	R\$ 71.346.914,37	0,037
60	42	0,010	2,298	64	R\$ 649.546.927,98	0,334
63	15	0,004	2,335	68	R\$ 164.009,25	0,000
65	15	0,004	2,207	70	R\$ 78.558.886,75	0,040
67	15	0,004	2,084	78	R\$ 210.031,57	0,000
73	12	0,003	2,352	83	R\$ 36.918,08	0,000
76	11	0,003	2,412	94	R\$ 212.808,92	0,000
83	10	0,002	2,316	98	R\$ 55.648,01	0,000
91	10	0,002	2,002			
92	8	0,002	2,424			
97	8	0,002	2,258			
Total	928	22,86%		Total	R\$ 1.331.041.067,06	68,53%
Total sem o dígito 64 do teste da Soma					R\$ 681.494.139,08	35,09%
Dígitos Críticos						
Dígitos Críticos do Teste dos Dois Primeiros Dígitos				Dígitos Críticos do Teste da Soma		
Dígito	Quant.	Real	Teste Z	Dígito	Soma	Real
10	219	0,054	3,978	10	R\$ 125.081.167,28	0,064
41	29	0,007	2,002	41	R\$ 51.137.734,82	0,026
83	10	0,002	2,316	83	R\$ 36.918,08	0,000
Total	258	6%		Total	R\$ 176.255.820,17	9%

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados desta tabela destacam a criticidade de determinados dígitos, evidenciada pelos valores obtidos nos testes e suas respectivas frequências. Em particular, o dígito 64, associado a um contrato no valor de R\$ 649.546.927,98, apresenta uma proporção de 0,334 (33,4%), significativamente maior do que os demais dígitos críticos. Esse contrato refere-se à contratação de empresa especializada em engenharia sanitária para prestação de serviço de coleta domiciliar de resíduos sólidos, o que pode justificar uma análise de auditoria mais aprofundada devido aos altos valores envolvidos.

Embora os dígitos 22, 34, 38, 48, 54, 57 e 70 não apareçam como críticos tanto no Teste dos Dois Primeiros Dígitos quanto no Teste da Soma, eles se destacam de maneira significativa quando analisados individualmente no Teste da Soma. Isso ocorre porque os valores associados

a esses dígitos representam uma parcela relevante do montante total dos contratos, mesmo que suas frequências de ocorrência sejam relativamente baixas no Teste dos Dois Primeiros Dígitos.

Por exemplo, o dígito 22 aparece com uma soma de R\$ 52.343.024,53, representando aproximadamente 2,7% do valor total analisado, apesar de não apresentar uma quantidade elevada de contratos no Teste dos Dois Primeiros Dígitos. Similarmente, o dígito 34 está relacionado a uma soma de R\$ 75.018.188,02, correspondendo a 3,9% do valor total, o que é significativo dado o baixo número de ocorrências na distribuição esperada de Benford. Esses desvios indicam uma possível concentração de valores altos em contratos relacionados a esses dígitos, sugerindo que, mesmo sem desvio relevante na frequência, os montantes envolvidos são elevados.

Outros dígitos, como 38 e 57, também chamam atenção devido às suas somas consideráveis. O dígito 38, por exemplo, acumula R\$ 118.802.709,06, ou 6,1% do total dos contratos analisados, o que representa uma concentração desproporcional, já sua frequência no Teste dos Dois Primeiros Dígitos não apresenta desvios significativos. Da mesma forma, o dígito 57 tem uma soma total de R\$ 71.346.914,37, o que corresponde a 3,7% do valor total, o que novamente sugere uma concentração alta de recursos. O dígito 70, com uma soma de R\$ 78.558.886,75, ou 4,0% do valor total, também merece atenção, pois sua frequência no Teste dos Dois Primeiros Dígitos é baixa, mas está associado a uma soma significativa. A mesma análise pode ser aplicada ao dígito 54, que apresenta uma soma de R\$ 56.496.804,17 (2,9% do total). Esses casos mostram uma possível discrepância entre a distribuição teórica esperada e o valor financeiro real associado a esses dígitos.

A tabela também resume os totais das análises. Para os "Dígitos Críticos do Teste dos Dois Primeiros Dígitos", há um total de 928 ocorrências, representando 22,86% do total analisado. Para o "Teste da Soma", o valor total dos dígitos no confronto soma R\$ 1.331.041.067,06, correspondendo a 68,53% do total. Excluindo o dígito 64 do Teste da Soma, o total restante é de R\$ 681.494.139,08, ou 35,09%.

Considerando o critério para um dígito ser considerado crítico sob o algoritmo de Bugarin e Cunha (2015), somente os dígitos 10, 41 e 83 foram identificados em ambas as análises como excessivos e, por isso, possuem maior risco de estarem subestimados ou superestimados. Do Teste dos Dois Primeiros Dígitos, foram encontrados um total de 258 contratos, representando 6% da proporção total. Enquanto do Teste da Soma, foram encontrados valores totalizando R\$ 176.255.820,17, correspondendo a 9% do valor total analisado.

Observa-se que o dígito 83 apresentou desvios em ambos os testes: no Teste dos Dois Primeiros Dígitos, com 10 ocorrências e valor total de R\$ 36.918,08, representando 0,2% do total; e no Teste da Soma, com participação insignificante do valor total. Dado o baixo número de ocorrências e o valor reduzido associado a esse dígito, cabe ao auditor, de forma discricionária, decidir pela sua inclusão ou exclusão da amostra, considerando a relevância dos desvios encontrados e a materialidade dos valores no contexto da auditoria.

Por outro lado, o dígito 10 se distingue por apresentar o maior número de desconformidades nos testes aplicados, com 219 ocorrências no Teste dos Dois Primeiros Dígitos, o que corresponde a uma participação de 5,4% no total observado. No Teste da Soma, o valor total associado ao dígito 10 é de R\$ 125.081.167,28, representando 6,4% do valor total analisado. Dada a expressiva quantidade de ocorrências e o impacto significativo nos resultados, o dígito 10 pode ser o de maior relevância no contexto de auditoria.

Pode-se considerar outros fatores para análise, como os dígitos 10, 15 e 18, que no Teste dos Dois Primeiros Dígitos ultrapassaram o limite superior (Upper Bound) conforme demonstrado na Figura 7, ou outros que estão abaixo do limite inferior (Lower Bound) como o 26. Uma estratégia possível para a seleção de amostras consiste em identificar os dígitos que não atenderam aos critérios do Teste da Soma. Em seguida, esses dígitos são avaliados no

contexto do Teste dos Dois Primeiros Dígitos, com o objetivo de determinar uma porcentagem específica que justifique uma auditoria, por exemplo, Nigrini (2020, p. 158) diz que “qualquer teste de auditoria que exija a revisão de 10% dos dados não é nem eficaz nem eficiente”¹². Com base nesta metodologia, verificou-se que 637 contratos, correspondentes a 15,373% do total, poderiam ser selecionados para uma análise mais aprofundada.

4.6.1 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos na aplicação da Lei de Benford aos contratos públicos vigentes no PNCP confirmam, em grande parte, as expectativas teóricas dessa regularidade estatística. A Lei de Benford, conforme discutida por Nigrini (2012), é utilizada em auditorias para identificar irregularidades em grandes conjuntos de dados financeiros, com aplicação no setor privado e público. Neste estudo, pode-se afirmar que, ao analisar a conformidade dos contratos vigentes disponíveis no PNCP utilizando a Lei de Benford, há indícios de possíveis anomalias que podem indicar riscos de fraudes. Os resultados mostraram que, embora a maior parte dos dados esteja dentro dos padrões esperados, determinados dígitos e somas apresentaram desvios significativos, sugerindo uma concentração anômala de valores. Esses desvios, aliados à conformidade marginalmente aceitável observada nos testes, reforçam a necessidade de um exame mais aprofundado dos contratos a partir dos dígitos críticos encontrados. Destaca-se os resultados do Teste dos Dois Primeiros Dígitos, conforme observado por Nigrini (2012), o teste dos dois primeiros dígitos é um teste mais acurado do que o teste dos primeiros dígitos e tem o objetivo de detectar duplicações anormais de dígitos e possíveis vieses nos dados. O gráfico dos dois primeiros dígitos contém todas as informações dos gráficos dos primeiros e segundos dígitos. Portanto, a análise com a Lei de Benford se revela uma ferramenta útil na identificação de indicadores de risco de fraudes, embora deva ser complementada por outras metodologias para garantir uma avaliação mais robusta e confiável.

No entanto, autores como Nigrini (2012) alertam para a presença de desvios em certas condições, como práticas de arredondamento ou erros de registro, que podem influenciar os resultados. Esses aspectos teóricos foram confirmados em alguns dos contratos analisados, onde observou-se que determinados dígitos apresentaram desvios significativos em relação à distribuição esperada. Tais desvios exigem melhor conhecimento técnico e experiência na área de análise. Nigrini (2012, p. 159, grifo do autor) afirma:

A MAD parece ser nossa resposta [referindo-se a pergunta de qual seria o melhor indicador de conformidade geral dos dados], exceto pelo fato de não haver pontuações críticas objetivas. Precisamos de uma pontuação crítica para não conformidade, para conformidade e também para algumas categorias intermediárias. Drake e Nigrini (2000) oferecem algumas diretrizes com base em sua experiência pessoal com tabelas de dados do dia a dia que foram testadas contra a Lei de Benford.¹³

A falta de valores críticos objetivos, conforme mencionado por Nigrini, reflete a necessidade de defini-los com base em experiência prática e análise criteriosa. Nesse contexto, seria recomendável utilizar ou que fossem submetidas a uma reanálise sob a ótica da Lei de Benford auditorias anteriores realizadas por instituições como o Tribunal de Contas da União (TCU) e a Polícia Federal (PF). Essas instituições possuem ampla experiência na análise de contratos públicos e na identificação de fraudes, e seus resultados poderiam fornecer parâmetros

¹² “Any audit test that requires a review of 10 percent of the data is neither effective nor efficient.”

¹³ “The MAD seems to be our answer except that there are no objective critical scores. We need a critical score for nonconformity, for conformity, and also for some in-between categories. Drake and Nigrini (2000) offer guidelines based on personal experience with everyday data tables tested against Benford’s Law.”

consistentes para a definição de valores críticos. Mesmo que muitas dessas auditorias tenham utilizado outras ferramentas, a aplicação da Lei de Benford a dados previamente examinados pode identificar novos desvios ou corroborar as conclusões anteriores, resultando em uma abordagem mais robusta e abrangente. Além disso, a experiência acumulada na aplicação dessas metodologias poderia auxiliar na definição de valores críticos mais precisos para análise de conformidade em contratos públicos, aprimorando o processo de auditoria.

A identificação de anomalias nos contratos vigentes pode ser vista como um indicativo de possíveis erros ou fraudes, conforme já relatado na literatura de auditoria e controle de fraudes (Durtschi, Hillison e Pacini, 2004). A presença de picos em certos valores pode representar áreas de risco, sugerindo a necessidade de maior fiscalização nesses contratos específicos. Sampaio (2022) aplicou a Lei de Benford em pregões eletrônicos e identificou padrões de irregularidades.

Outro ponto de discussão relevante é a relação entre a conformidade dos dados com a Lei de Benford e a estrutura dos contratos públicos. Conforme indicado na literatura, a Lei de Benford é mais eficaz em conjuntos de dados que seguem uma distribuição geométrica ou que não tenham sido manipulados de forma significativa (Hill, 1995). A conformidade dos contratos do PNCP sugere que, em sua maioria, os processos seguem um padrão natural, sem intervenções artificiais de grande impacto.

Ainda assim, é importante considerar as limitações do método. Estudos como o de Varma et al. (2020) indicam que, apesar de eficaz, a Lei de Benford não deve ser utilizada isoladamente para conclusões definitivas sobre fraudes ou erros, mas sim como uma ferramenta preliminar de auditoria, que deve ser complementada por outras técnicas analíticas. Essa limitação também foi observada nos resultados deste estudo, onde a conformidade geral com a Lei de Benford não elimina a possibilidade de existirem irregularidades em contratos que, embora sigam o padrão teórico, possam conter erros ocultos.

Os resultados desta pesquisa corroboram os achados teóricos sobre a aplicabilidade da Lei de Benford em auditorias de dados públicos e destacam seu potencial para auxiliar no planejamento de auditorias de contratos no setor público. A análise com base na Lei de Benford pode identificar contratos com maior risco de não conformidade, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos públicos, como as horas de auditoria. Dessa forma, essa abordagem contribui para uma gestão mais eficaz dos recursos destinados às auditorias, ao direcionar os esforços para as áreas com maior probabilidade de irregularidades. A análise da conformidade dos contratos com a Lei de Benford demonstrou que a ferramenta pode ser eficaz para monitorar grandes conjuntos de dados, mas os desvios identificados sugerem que há oportunidades para melhorar os mecanismos de controle e auditoria dos contratos públicos no Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar a conformidade dos contratos vigentes disponíveis no PNCP com a Lei de Benford, com vistas a identificar possíveis anomalias como indicadores de risco de fraudes, erros ou corrupção. Os resultados da análise demonstraram desvios significativos no teste Z, que avalia a conformidade dígito a dígito, enquanto o teste de conformidade geral, representado pelo MAD, indicou uma aderência marginalmente aceitável dos dados à distribuição esperada pela Lei de Benford. Esses desvios podem estar relacionados a erros de registro, práticas inadequadas de arredondamento ou, em casos extremos, a possíveis fraudes.

Embora os resultados gerais indiquem uma baixa probabilidade de manipulação sistemática, os desvios observados em determinadas áreas exigem maior atenção e investigações mais detalhadas. A aplicação da Lei de Benford mostrou-se eficaz em auditorias de obras públicas, como demonstrado nos estudos de Bugarin e Cunha (2015, 2016, 2018), Café (2015), e na análise de modalidades específicas de contratação, a exemplo do trabalho de Sampaio (2022), que aplicou a técnica ao Pregão. Este estudo expandiu essa aplicabilidade ao examinar os valores globais das contratações públicas disponíveis no PNCP. No entanto, sua eficácia deve ser complementada com outras técnicas de auditoria e análise de dados para garantir uma detecção mais robusta de anomalias e fraudes.

Sugere-se também que estudos futuros explorem a aplicação da Lei de Benford em diferentes períodos e em contextos específicos, como valores detalhados dentro de planilhas de obras públicas, para detectar padrões de comportamento anômalos e melhorar a fiscalização. Além disso, a utilização do Painel PNCP em Números (<https://www.gov.br/pncp/pt-br/acesso-a-informacao/painel-pncp-em-numeros>) pode oferecer uma base mais ampla para análise, ainda que com maior complexidade técnica.

Apesar de o método mostrar-se promissor para identificar anomalias, este estudo revela que ele deve ser utilizado com cautela e em conjunto com outras abordagens, especialmente em casos de grandes volumes de dados e processos complexos. A contínua aplicação da Lei de Benford poderá contribuir para a transparência e integridade dos processos públicos, mas somente se empregada criticamente e de forma integrada.

Em conclusão, embora o estudo tenha alcançado seus objetivos iniciais, ele também apontou limitações. A aplicação da Lei de Benford, apesar de eficaz em contextos específicos, pode não ser suficiente sozinha para garantir a detecção de fraudes em larga escala. Futuros estudos deverão aprofundar esses achados e ajustar as ferramentas de auditoria, promovendo uma gestão pública mais eficiente e confiável.

REFERÊNCIAS¹⁴

ABDUL ARIS, Nooraslinda et al. Detecting Accounting Anomalies Using Benford's Law: Evidence from the Malaysian Public Sector. *Management & Accounting Review*, v. 16, n. 2, p. 73-101, 2017.

ALBANO, G. L. et al. Procurement contracting strategies. In: *Handbook of procurement*. Cambridge University Press, 2006. p. 82-107.

BELO, Vitória Eduarda; NETO, Anselmo Chaves. Lei de Newcomb-Benford: Uma Aplicação com Dados de Execução Orçamentária de Despesas com a Pandemia de Covid-19 no Estado do Paraná. *Revista Eletrônica Do Departamento De Ciências Contábeis & Departamento De Atuária E Métodos Quantitativos*, v. 15 n. 1: Publicação Contínua, 2023.

BENFORD, Frank. The law of anomalous numbers. *Proceedings of the American Philosophical Society*, v. 78, n. 4, p. 551-572, 1938.

BLANCHET, Thomas et al. Generalized Pareto curves: Theory and applications. *Review of Income and Wealth*, v. 68, n. 1, p. 263-288, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/roiw.12510>. Acesso em: 24 maio 2024.

BOVENZI, Michele. Public Sector Accounting and Auditing: A Roadmap for Reform. *Journal of Public Administration*, v. 13, n. 2, p. 345-362, 2023.

BRASIL. Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940. Código Penal Brasileiro. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848.htm. Acesso em: 27 jan. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112527.htm. Acesso em: 20 maio 2024.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 20 maio 2024.

BUGARIN, Maurício; CUNHA, Flávia C. R. A didactic note on the use of Benford's Law in public works auditing, with an application to the construction of the Brazilian "Amazon Arena" 2014 World Cup soccer stadium. *Economia, Japão*, v. 66, p. 23-55, 2015.

BUGARIN, Maurício Soares; CUNHA, Flávia Ceccato Rodrigues da. Lei de Benford aplicada à auditoria da reforma do Aeroporto Internacional de Minas Gerais. *Revista do Serviço Público*, v. 68, n. 4, 2017. DOI: 10.21874/rsp.v68i4.1567. Disponível em: <https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/1567>. Acesso em: 20 maio 2024.

CAFÉ, Renata Motta. O uso da Lei de Benford na auditoria de obras públicas: o caso do VLP. 2015. 54 f., il. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) — Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

¹⁴ As referências foram feitas em APA ou ABNT (escolher uma das duas. Verificar com o orientador)

CINELLI, Carlos. *benford.analysis: The Benford Analysis Package*. R package version 1.0.5. 2018. Disponível em: <https://github.com/carloscinelli/benford.analysis>.

CUNHA, Flávia Ceccato Rodrigues da; BUGARIN, Maurício Soares. Lei de Benford para a auditoria de obras públicas: análise de sobrepreço na construção da Arena da Amazônia. *BLC – Boletim de Licitações e Contratos*, São Paulo, NDJ, ano 28, n. 8, p. 841-857, ago. 2015.

CUNHA, Flávia Ceccato Rodrigues da; BUGARIN, Maurício; PORTUGAL, Antônio. Seleção de amostra de auditoria de obras públicas pela Lei de Benford. Florianópolis: Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas (Ibraop), 2016.

CUNHA, Flávia Ceccato et al. Aplicação da Lei de Benford na Detecção de Jogo de Planilha: O Caso do Estádio Nacional de Brasília. *Economics and Politics Working Paper 92/2018*, 4 dez. 2018. Disponível em: <https://econpolrg.com/working-papers/>. Acesso em: 20 maio 2024.

DRAKE, Pamela; NIGRINI, Mark. Computer assisted analytical procedures using Benford's Law. *Journal of Accounting Education*, v. 18, p. 127-146, 2000.

DURTSCHI, Cindy; HILLISON, William A.; PACINI, Carl. The effective use of Benford's Law to assist in detecting fraud in accounting data. *Journal of Forensic Accounting*, v. 5, p. 17-34, 2004.

HILL, Theodore P. The significant-digit phenomenon. *The American Mathematical Monthly*, v. 102, n. 4, p. 322-327, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). A produção acadêmica brasileira sobre corrupção: um estudo bibliométrico. Brasília: IPEA, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354232140_A_PRODUCAO_ACADEMICA_BRASILEIRA_SOBRE_CORRUPCAO_UMA_REVISAO_SISTEMATICA. Acesso em: 24 jul. 2024.

JOHNSON, R.; WEGGENMANN, M. Application of Benford's Law to Detect Bias in Government Data: An Analysis of Financial Data from the US State Governments. *Journal of Applied Statistics*, v. 40, n. 2, p. 233-248, 2013.

KURUPPU, Nishantha. The Application of Benford's Law in Fraud Detection: A Systematic Methodology. *International Business Research*, v. 12, n. 4, p. 23-35, 2019.

MACEDO, S. V.; VALADARES, J. L.. A produção acadêmica brasileira sobre corrupção: uma revisão sistemática. *READ. Revista Eletrônica de Administração (Porto Alegre)*, v. 27, n. 2, p. 400-429, maio 2021.

MILLER, Steven J. (ed.). *Benford's Law: Theory and Applications*. Princeton: Princeton University Press, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.23943/princeton/9780691147611.003.0008>. Acesso em: 21 maio 2024.

NEWCOMB, Simon. Note on the frequency of use of the different digits in natural numbers. *American Journal of Mathematics*, v. 4, n. 1/4, p. 39-40, 1881.

NIGRINI, Mark J. Benford's Law: Applications for forensic accounting, auditing, and fraud detection. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

NIGRINI, Mark J. Forensic analytics: methods and techniques for forensic accounting investigations. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020.

OLIVEIRA, R. A. de; SÁ, R. de O.; BARBOSA, S. C. P. Licitação Pública: Uma Análise das Lacunas na Literatura e sua Relevância Teórica e Prática. *Revista Foco*, v. 17, n. 4, p. e4976, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n4-144. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/4976>. Acesso em: 21 jun. 2024.

Portal Nacional de Contratações Públicas - PNCP. Sobre o PNCP. Disponível em: <https://www.gov.br/pncp/pt-br/pncp/sobre-o-pncp>. Acesso em: 20 maio 2024.

RAIMI, Ralph A. The peculiar distribution of first digits. *Scientific American*, v. 221, n. 6, p. 109-119, 1969.

ROSE-ACKERMAN, Susan. *Corruption and Government: Causes, Consequences, and Reform*. Cambridge University Press, 1997.

SAMPAIO, A. da H.; FIGUEIREDO, P. S.; LOIOLA, E. Compras públicas no Brasil: Indícios de fraudes usando a lei de Newcomb-Benford. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, v. 27, n. 86, p. 1-20, 2022. DOI: 10.12660/cgpc.v27n86.82760. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/cgpc/article/view/827600>. Acesso em: 24 jun. 2024.

SAMPAIO, A.; SACRAMENTO, A.; PINHO, J. Corrupção Sistêmica: Uma Revisão Teórica. *Revista de Administração Pública*, v. 52, n. 1, 2018.

SACRAMENTO, A. R. S.; PINHO, J. A. G. de. Combate à Corrupção no Brasil: Identificando Entraves à Luz da Versão Revisitada da Teoria da Modernização. *Revista Interdisciplinar de Gestão Social*, [S. l.], v. 7, n. 1, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/rigs/article/view/24496>. Acesso em: 24 jul. 2024.

VARIAN, Hal R. Benford's Law. *The American Statistician*, v. 26, n. 3, p. 65-66, 1972.

APÊNDICE

A análise de conformidade à Lei de Benford, especificamente o Teste do Arco da Mantissa, foi realizada utilizando o pacote *benford.analysis* no ambiente de programação R. O R é uma linguagem de programação e ambiente de software livre amplamente utilizado para estatísticas e análise de dados. Ele permite a execução de operações complexas de análise e visualização de dados, sendo uma ferramenta poderosa para estudos quantitativos. Para garantir o sucesso da análise, é necessário instalar o pacote *benford.analysis*, que contém funções específicas para aplicar a Lei de Benford em conjuntos de dados numéricos.

O pacote *benford.analysis*, desenvolvido para o R, facilita a implementação de testes estatísticos com base na Lei de Benford. Ele oferece várias ferramentas que ajudam a verificar a distribuição dos primeiros dígitos de um conjunto de dados e compará-la com a distribuição teórica esperada pela Lei de Benford.

Para que a análise seja realizada corretamente, os dados precisam estar em um arquivo no formato *.csv* (*comma-separated values*). Esse arquivo não deve conter cabeçalhos, e os valores devem estar organizados em uma única coluna. Além disso, o formato dos números deve evitar a separação por milhar (ou seja, sem pontos ou vírgulas para milhares), mas utilizar ponto para a separação decimal, no caso, centavos (exemplo: 10000.00). Este formato simplifica o carregamento dos dados no R e garante que o pacote *benford.analysis* processe corretamente os números para a análise dos dígitos iniciais.

Antes da análise, é fundamental que o arquivo *.csv* contenha apenas os valores dos contratos em uma coluna, sem qualquer outra formatação. Para análise desse estudo é somente necessário o valor. Esse processo assegura que a ferramenta possa focar na análise dos dois primeiros dígitos dos valores financeiros. O Apêndice 2 apresenta os algoritmos necessários para a instalação e ativação dos pacotes que executam essa análise.

A execução da análise inicia-se com a instalação do pacote *benford.analysis* no R, seguido pela definição do diretório de trabalho, onde os arquivos de dados estão armazenados. Em seguida, o pacote *benford.analysis* é carregado, e os dados são importados a partir de um arquivo CSV sem cabeçalho. Os valores da primeira coluna são selecionados para análise e armazenados na variável *values*. A função *benford()* é então aplicada para realizar a análise, retornando os resultados sobre a conformidade dos dados com a Lei de Benford. Por fim, os resultados são exibidos e os gráficos, que mostram a distribuição dos dígitos e desvios, são gerados usando a função *plot()*.

No presente estudo, o foco foi na aplicação do Teste do Arco da Mantissa, que verifica a conformidade da distribuição dos dígitos da mantissa. Embora o pacote *benford.analysis* ofereça funcionalidades adicionais, como o Teste de Segunda Ordem, a análise deste estudo foi centrada apenas no Teste do Arco de Mantissa.

Apêndice 1 – Execução da Lei de Benford com o Pacote *benford.analysis* no R

```
# Instalar o pacote benford.analysis
> install.packages("benford.analysis")

# Definir o diretório de trabalho
> setwd("C:/Users/path/")

# Carregar o pacote benford.analysis
> library(benford.analysis)

# Carregar os dados a partir de um arquivo CSV
> data <- read.csv("Data R.csv", header = FALSE)

# Visualizar as primeiras linhas do conjunto de dados
> head(data)

# Selecionar a coluna de valores para a análise
> values <- data[[1]]

# Executar a análise de Benford
> results <- benford(values)

# Exibir os resultados da análise
> print(results)

# Gerar os gráficos relacionados à análise
> plot(results)
```

Fonte: elaboração própria.