

## Lei de Benford para a auditoria de obras públicas: análise de sobrepreço na construção da Arena da Amazônia<sup>1</sup>

Flávia Ceccato Rodrigues da Cunha

Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo pela UFMG; Mestrado em Regulação e Gestão de Negócios pela UnB; Auditora Federal de Controle Externo no TCU

Maurício Soares Bugarin

Professor titular do Departamento de Economia da UnB e líder do grupo de pesquisa do CNPq Economics and Politics Research Group; Graduação e Mestrado em Matemática pela UnB; Mestrado e Doutorado em Economia pela University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC, EUA); Pós-Doutorado em Economia pela UIUC, pela Rochester University (EUA), pelo Institute of Developing Economies (IDE, Japão) e pelas Universidades de Tsukuba, Kobe e Yokohama (Japão)

**1 Introdução. 2 Testes da Lei de Benford, baseados nas probabilidades dos dígitos. 2.1 Teste do Primeiro Dígito. 2.2 Teste dos Dois Primeiros Dígitos. 2.3 Teste da Soma. 3 Testes da Lei de Benford, baseados nas distribuições das frequências dos dígitos. 3.1 Teste Z. 3.2 Teste Qui-Quadrado. 3.3 Teste da Média dos Desvios Absolutos (MDA). 4 Análise da obra de construção da Arena da Amazônia. 4.1 Teste do Primeiro Dígito. 4.2 Teste dos Dois Primeiros Dígitos. 4.3 Teste da Soma. 4.4 Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma. 4.5 Confronto entre os resultados dos testes da Lei NB e a análise do TCU. 5. Conclusão. Referências. Apêndice – análise de preços realizada pelo TCU.**

### 1 INTRODUÇÃO<sup>2</sup>

Quando jogamos um dado aleatoriamente, a possibilidade de tirarmos o número 5, por exemplo, é de  $1/6$ , já que o dado possui seis faces. Jogando-se uma moeda não viesada, ao escolhermos cara ou coroa, temos 50% de chance de sucesso. Dessa maneira, tendemos a pensar que, em um banco de dados numéricos, a probabilidade de se escolher aleatoriamente um valor e ele possuir como primeiro dígito o número 1 é de  $1/9$ , o mesmo se aplicando a qualquer outro valor de 2 a 9.

Contudo, Simon Newcomb (1881), um astrônomo e matemático do século XIX, observou que as primeiras páginas das tábuas de logaritmos se apresentavam mais desgastadas do que as últimas, indicando que o valor usualmente mais acessado era o 1,

e que a frequência diminuía até o 9, contrariando o entendimento comum de uma distribuição uniforme da frequência desses dígitos. Como Newcomb (1881) não reuniu dados numéricos ou forneceu qualquer outra evidência de sua descoberta, o fato só começou a ganhar importância mais de meio século depois, quando o físico Frank Benford (1938) incidentalmente chegou à mesma conclusão. Benford publicou artigo seminal em 1938, denominado “The law of anomalous numbers”, em que utilizou dados coletados de diferentes tipos de fontes. Esses dados eram aleatórios e não possuíam nenhuma relação entre si, e variavam desde números obtidos nas páginas principais dos jornais e todos os números de um tópico importante do *Reader’s Digest* até tabelas matemáticas e constantes científicas. Seu trabalho analisou os primeiros dígitos dos dados coletados e mostrou que: 30,6% dos números possuíam 1 como primeiro dígito; o primeiro dígito 2 ocorria em 18,5% dos casos; e que, em contraste, somente 4,7% dos números possuíam como primeiro dígito o número 9. Essas frequências dos primeiros dígitos se aplicam a uma variedade de fontes

1. Este trabalho se insere em pesquisa mais ampla em desenvolvimento pelos autores. Em particular, as partes 1, 2 e 3 do presente artigo, que introduzem a Lei de Benford e a metodologia geral de análise, se aproximam fortemente do texto Cunha e Bugarin (2014).

2. Esta seção, assim como as seções 2 e 3, se aproxima da descrição apresentada em Cunha e Bugarin (2014).

de dados, incluindo contas de energia, endereços, preços de ações, valores populacionais, taxas de mortalidade, entre outras. Essa distribuição é hoje conhecida como distribuição de Benford. Já a propriedade descoberta por Newcomb e por Benford é conhecida como Lei Newcomb–Benford ou, mais simplesmente, Lei de Benford.

Para facilitar o entendimento dessa distribuição, suponha que você invista R\$ 10.000,00 em um fundo de pensão que lhe ofereça um retorno prefixado de 7% ao ano. Então, aproximadamente em uma década, seu investimento dobrará, ou seja, após dez anos tendo o 1 como o primeiro dígito, o montante de seu investimento finalmente chegará a R\$ 20.000,00. Passados mais 10 anos, o recurso dobrará para R\$ 40.000,00 (em uma maior parte desses dez anos os números começarão com 2, e na outra menor parte começarão com 3). Após outra década, o montante chegará a R\$ 80.000,00 (teremos os valores 4, 5, 6 e 7 como primeiros dígitos em apenas dez anos). Em um dado momento, chegar-se-á ao valor de R\$ 100.000,00, com o primeiro dígito 1 incidindo por mais dez anos. Assim, ao se escolher uma data aleatória, é mais provável que o montante de seu investimento nesse dia possua o 1 como primeiro dígito do que qualquer outro dígito. Essa mesma lógica se aplica a diversos dados presentes na natureza, tal como o tamanho de populações, dentre outros.

Um banco de dados tem maior chance de representar uma distribuição de Benford se os dados forem coletados de diferentes distribuições (HILL, 1995). Por outro lado, números atribuídos pela intervenção do homem, tais como números da Seguridade Social, códigos postais, contas bancárias, números telefônicos ou números fabricados por estudantes em experimentos geralmente não se conformam com a Lei de Benford (NIGRINI, 2000). Essa observação sugere que a Lei dos Números Anômalos pode ser usada para se detectar indícios de manipulação humana de dados.

Diversos estudos foram realizados adotando a hipótese de que dados fabricados são identificados mediante o desvio dos dígitos em relação à distribuição de Benford. Nigrini (1992, 2000, 2012), assumindo que dados contábeis fidedignos seguiam a distribuição de Benford bem de perto (como sua pesquisa indicou que seguiam), argumentou que desvios substanciais

em relação a essa lei sugeririam possíveis fraudes ou dados fabricados. O autor desenvolveu vários testes para mensurar a conformidade com a Lei de Benford, e, segundo divulgou o *Wall Street Journal* (BERTON, 1995), foram detectadas fraudes em sete companhias de Nova York, pelo escritório da Procuradoria do Brooklyn, usando esses testes. Como evidência, descobriu-se, nesse caso, que dados fraudulentos e aleatórios possuíam poucos valores começando com 1 e muitos números começando com 6. Com base nesses sucessos anteriores, Nigrini (1992, 2000, 2012) foi chamado a dar consultoria a órgãos de arrecadação tributária de diversos países e a instalar os testes da Lei de Benford na maioria dos programas computacionais de detecção de fraude.

Rauch, Götsche, Brähler e Engel (2011) publicaram artigo na *German Economic Review*, no qual demonstraram que a Lei de Benford poderia ser utilizada para testar dados macroeconômicos, revelando quais deles necessitavam de uma inspeção mais rigorosa. Eles analisaram a conformidade com a Lei de Benford dos primeiros dígitos de dados macroeconômicos reportados ao Gabinete de Estatísticas da União Europeia (Eurostat) pelos países membros da União Europeia (UE). Construíram um *ranking* dos 27 países membros de acordo com a extensão do desvio encontrado. O país que teve o maior desvio foi a Grécia, cuja manipulação dos dados havia sido oficialmente confirmada pela Comissão Europeia (2010) em momento anterior.

Walter Mebane, um estatístico americano da Universidade de Michigan, estudou dados eleitorais de vários países, incluindo os Estados Unidos, Rússia e México. Em 2006, ele descobriu que a contagem dos votos tendia a seguir a Lei de Benford no segundo dígito (MEBANE, 2006). O pesquisador analisou os dados das eleições iranianas em 2009 e encontrou anomalias que indicavam fortemente a ocorrência de fraude na vitória do político Ahmadinejad (MEBANE, 2009). Mebane verificou que, nas cidades com poucos votos inválidos, os números de Ahmadinejad passavam longe da distribuição de Benford e que o candidato, nessas situações, possuía uma grande vantagem nos votos.

O trabalho em apreço visa apresentar um estudo de caso da aplicação da Lei NB às obras públicas, utilizando a planilha orçamentária da obra de cons-

trução da Arena da Amazônia (AM). Essa obra foi selecionada por ser uma construção de grande porte, bastante relevante para os jogos da Copa de 2014, por apresentar um significativo volume de dados e pela possibilidade de comparação dos resultados dos testes com a análise de preços empreendida pelo TCU. Serão apresentados, primeiramente, os Testes da Lei de Benford pertinentes a esta análise e introduzidos os seus conceitos básicos. Em seguida, esses testes serão aplicados aos valores unitários da planilha orçamentária inicial da obra da Arena da Amazônia, procedendo-se ao confronto dos resultados alcançados com a análise de preços do TCU, e expostas, ao final, as conclusões obtidas na análise.

## 2 TESTES DA LEI DE BENFORD, BASEADOS NAS PROBABILIDADES DOS DÍGITOS

Foram aplicados neste trabalho os testes descritos a seguir, caracterizados segundo Nigrini (2012).

### 2.1 Teste do Primeiro Dígito

Este teste verifica as frequências com que os números de 1 a 9 se repetem nos primeiros dígitos dos valores de um banco de dados. Portanto, ele divide a amostra original em apenas 9 grupos, sendo cada um dos grupos potencialmente muito grande, a depender do volume de dados, o que o caracteriza como um teste de visão “macro”. Dessa forma, esse teste pode ser útil em bancos de dados com poucos itens, talvez 300, segundo Nigrini (2012).

A frequência esperada da ocorrência de um número como primeiro dígito em um banco de dados, segundo a Lei NB, é dada por:

$$\text{Prob}(D_1 = d_1) = \log\left(1 + \frac{1}{d_1}\right) \quad (\text{I})$$

Sendo:  $D_1$  = primeiro dígito e  $d_1 \in \{1, 2, \dots, 9\}$

Mostram-se a seguir, na Tabela 1, as frequências dos primeiros dígitos, calculadas utilizando a fórmula anterior.

Tabela 1 – Frequências dos primeiros dígitos, calculadas segundo a Lei de Newcomb–Benford

Dígito	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frequência	30,10%	17,61%	12,49%	9,69%	7,92%	6,69%	5,80%	5,12%	4,58%

### 2.2 Teste dos Dois Primeiros Dígitos

Enquanto o Teste do Primeiro Dígito divide o conjunto de dados em 9 grupos, o Teste dos Dois Primeiros Dígitos apresenta 90 grupos (que variam do dígito 10 ao 99). Assim, este teste proporciona amostras de auditoria menores, sendo mais preciso do que o teste anterior.

A frequência esperada da ocorrência de um número  $D_2 = d_2$  como segundo dígito em um conjunto de valores, dado que o primeiro dígito é  $D_1 = d_1$ , segundo a Lei NB, é dada por:

$$\text{Prob}(D_1 D_2 = d_1 d_2) = \log\left(1 + \frac{1}{d_1 d_2}\right) \quad (\text{II})$$

Sendo:  $D_1 D_2$  = dois primeiros dígitos e  $d_1 d_2 \in \{10, 11, \dots, 99\}$

### 2.3 Teste da Soma

O Teste da Soma é um teste avançado desenvolvido por Nigrini (2012), que, ao simular uma distribuição de Benford, descobriu que as somas dos números pertencentes a cada grupo de primeiros dígitos 10,

11, 12, ..., 99 resultavam em valores aproximadamente iguais, ou seja,  $1/90$ .

Todavia, o autor constatou que dados reais raramente se conformam a tal padrão, uma vez que eles possuem alguns valores muito altos ou muitas repetições de números de médio valor. A utilidade desse teste é exatamente alertar sobre essas situações.

Cabe esclarecer, contudo, que este trabalho adota como metodologia própria o confronto do Teste dos Dois Primeiros Dígitos com o Teste da Soma, ou seja, são confrontados o volume de dados contidos em cada grupo (frequência) e a soma de seus valores. Dígitos que se repetem muito, em alguns casos, não possuem valor significativo, ao passo que dígitos que se repetem pouco podem apresentar grande materialidade na planilha orçamentária. Além disso, podem ocorrer situações de dígitos de médio valor que se repetem muito na planilha, cuja soma resulta em valor bastante significativo. Todas essas situações, e outras, devem ser cuidadosamente avaliadas

pelo auditor. Essa metodologia facilita a análise de orçamentos de obras públicas, uma vez que verifica a materialidade e a relevância de cada grupo, de forma a selecionar os dígitos que merecem um olhar crítico mais minucioso.

### 3 TESTES DA LEI DE BENFORD, BASEADOS NAS DISTRIBUIÇÕES DAS FREQUÊNCIAS DOS DÍGITOS

Para verificar a conformidade de uma distribuição com a Lei de Benford, podem ser aplicados diversos métodos estatísticos. A seguir, serão apresentados os testes mais conhecidos, e evidenciadas suas vantagens e desvantagens.

#### 3.1 Teste Z

Esse teste nos mostra se a proporção real de um dígito específico desvia de forma significativa da proporção esperada (Lei NB). A fórmula de cálculo do Teste Z considera a magnitude absoluta da diferença entre a proporção real e a esperada, o tamanho do banco de dados e a proporção esperada, como mostrado a seguir:

$$Z = \frac{|PR - PE| - \left(\frac{1}{2n}\right)}{\sqrt{\frac{PE(1-PE)}{n}}} \quad (III)$$

Em que PE denota a proporção esperada, PR é a proporção real, e “n” é o número de dados. O último termo no numerador ( $1/2n$ ) é um fator de correção usado somente quando é inferior ao primeiro termo do numerador e possui pouco impacto no cálculo.

Nigrini (2012) utiliza para esse teste um nível de significância de 5 por cento. O autor considera aceitável quatro ou cinco picos significativos no Teste dos Dois Primeiros Dígitos, uma vez que o Teste Z analisa cada dígito individualmente e não sinaliza uma conformidade dos dados de forma conjunta. A posição de “n” na fórmula (III) faz com que, à medida que o volume de dados aumente, o resultado do Teste Z, para qualquer discrepância, torne-se mais alto. Isso significa que uma discrepância alta em um banco de dados pequeno pode não ser significativa, e uma discrepância pequena em um banco de dados grande pode ser significativa a um nível de 1 por cento.

#### 3.2 Teste Qui-Quadrado

Esse teste compara um conjunto de resultados reais com um conjunto de resultados esperados. Ele objetiva verificar se os dígitos de uma distribuição como um todo se conformam com a Lei de Benford. A fórmula é dada a seguir:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(CR - CE)^2}{CE} \quad (IV)$$

Em que CR e CE representam a contagem real e a contagem esperada dos termos, respectivamente. O número de graus de liberdade é  $K - 1$ , o que significa que, para o Teste dos Dois Primeiros Dígitos que possui 90 dígitos possíveis, são adotados 89 graus de liberdade. Cada dígito tem um valor qui-quadrado, e a soma de todos eles dá o resultado do teste. O resultado calculado é comparado a um valor crítico. Para 89 graus de liberdade e um nível de significância de 0.05, o valor crítico é 112,02. Caso o valor calculado exceda o valor crítico, a conformidade com a Lei NB deve ser rejeitada. Se a amostra for pequena como, por exemplo, inferior a 500 dados, o Teste Qui-Quadrado tolera bem os desvios, assim como ocorre com o Teste Z. Contudo, ele também é muito sensível a pequenos desvios em extensos bancos de dados.

#### 3.3 Teste da Média dos Desvios Absolutos (MDA)

Esse teste, ao contrário dos anteriores, ignora o número de valores. Por isso, ele é o mais indicado por Nigrini (2012) para extensos bancos de dados. Sua fórmula é apresentada a seguir:

$$MDA = \frac{\sum_{i=1}^K |PR - PE|}{K} \quad (I)$$

Em que K representa as séries de dígitos analisadas, que, no caso do Teste dos Dois Primeiros Dígitos, são 90; PR é a proporção real e PE é a proporção esperada. O sinal de módulo indica que o desvio é dado em valor positivo independentemente do resultado da diferença ser positivo ou negativo. Os 90 desvios absolutos calculados devem ser somados e, posteriormente, divididos pelo número de realizações possíveis (90).

Todavia, não existem valores críticos objetivos para esse teste. Drake e Nigrini (2000) oferecem algumas diretrizes baseadas em sua experiência pessoal,

com bancos de dados que foram testados à luz da Lei de Benford. Eles criaram um banco de valores críticos, conforme exposto na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Adaptada de Nigrini (2012) – Valores críticos e conclusões para vários MDA

Dígitos	Intervalo	Conclusão
Primeiros Dígitos	0.000 a 0.006	Conformidade aproximada
	0.006 a 0.012	Conformidade aceitável
	0.012 a 0.015	Conformidade marginal aceitável
	Acima de 0.015	Não conformidade
Dois Primeiros Dígitos	0.0000 a 0.0012	Conformidade aproximada
	0.0012 a 0.0018	Conformidade aceitável
	0.0018 a 0.0022	Conformidade marginal aceitável
	Acima de 0.0022	Não conformidade

#### 4 ANÁLISE DA OBRA DE CONSTRUÇÃO DA ARENA DA AMAZÔNIA

O TCU, como órgão dotado de prerrogativas constitucionais, é responsável por auxiliar o Congresso Nacional no exercício do controle externo.

Pelo fato de o Brasil ter sido escolhido como país sede dos jogos da Copa do Mundo de Futebol de 2014 e das Olimpíadas de 2016, várias obras envolvendo construção e reforma de estádios foram necessárias e, com isso, vultosos investimentos foram requeridos. Grande parte dos recursos foram emprestados pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), entre eles, R\$ 400 milhões, destinados a viabilizar a elaboração do projeto executivo e as obras de construção da Arena da Amazônia.

O TCU analisou o edital da obra da Arena da Amazônia e seus anexos, consoante Acórdão TCU nº 1.164/2010,<sup>3</sup> e a CGU analisou o projeto básico e a proposta vencedora do certame, conforme Nota Técnica nº 1657 GSGAB/SFC/CGU/PR,<sup>4</sup> sendo verificada a existência de indícios de sobrepreço e de irregularidades graves relacionadas a deficiências no projeto básico.

A Corte de Contas expediu medidas preventivas e as estendeu às demais operações de igual escopo,

destinadas ao financiamento de arenas. Dentre as cautelas adotadas, levantou-se a necessidade de o Tribunal analisar o projeto executivo das obras antes da liberação de créditos superiores a 20% do total financiado.

Posteriormente, o BNDES remeteu o projeto executivo e o orçamento da obra ao TCU, que, mediante análise da unidade técnica especializada, concluiu que havia falhas e incompletudes no projeto, sobretudo nos elevadores, estrutura metálica, membrana PTFE e estrutura de concreto. A CGU também apontou falhas quanto ao telão para projeção e quanto aos sistemas, em especial os de CFTV e de áudio. Entendeu-se que o projeto executivo não permitia a plena execução da obra.

Todavia, como a Lei nº 8.666/1993<sup>5</sup> previa a possibilidade de elaboração do projeto executivo concomitantemente à execução da obra, concluiu-se que as falhas constatadas no projeto não seriam, por si só, impeditivas da liberação do restante dos recursos do financiamento.

Além disso, apurou-se um valor a maior de R\$ 114.998.316,93, em uma amostra de 79,97% do valor do contrato, perfazendo 29,50% de sobrepreço. Embutidas nesse valor, foram consideradas as divergências identificadas na análise de quantitativos, em que se demonstrou a majoração indevida do custo da obra em R\$ 4.322.115,74.

3. TCU – Acórdão nº 1.164/2010 – Rel. Min. Valmir Campelo – Plenário – Data da Sessão: 26.5.2010 – DOU de 4.6.2010.

4. Documento interno da auditoria da Controladoria-Geral da União não disponibilizado na Internet.

5. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993.

A metodologia adotada para análise de preços, como de praxe, partiu da elaboração da Curva ABC do orçamento do projeto executivo, o qual totalizava R\$ 615.992.824,67. Ao analisar os itens elencados na Curva ABC, a unidade técnica responsável pela elaboração do parecer destacou a singularidade do orçamento e a dificuldade de se encontrar preços referenciais nos sistemas tradicionais de custos adotados pela Administração. Priorizou a adoção do Sistema Sinapi e recorreu, subsidiariamente, a outros paradigmas oficiais de preços, realizando, quando necessário, pesquisas diretas no mercado. Em alguns casos foram utilizadas como base as próprias composições apresentadas no orçamento referencial da empresa contratada para a execução da obra, com os ajustes e adaptações necessários. Também foram observados custos de serviços semelhantes em outros estádios da Copa.

Como exceção à metodologia de análise geralmente adotada pelo Tribunal, foram agrupados em um só item todos os serviços do sistema de ar-condicionado, à exceção dos dutos, apesar da diversidade de preços unitários e de unidades de medida. Esse agrupamento foi realizado para se encontrar o custo do sistema por tonelada de refrigeração, uma vez que o referencial de custo adotado pelo TCU para o serviço contemplava essa unidade de medida. Como a capacidade total do sistema era de 652 TRs (tonelada de refrigeração) e o preço total do serviço denominado “serviços agrupados do sistema de ar-condicionado” totalizava R\$ 8.714.596,22, calculou-se o valor de R\$ 13.365,95 por TR. Contudo, para fins da análise de conformidade com a Lei NB, esse referencial não foi utilizado, pois tal agrupamento descaracterizaria as frequências dos primeiros dígitos da planilha orçamentária, e não haveria como se mensurar individualmente quais itens do sistema de ar-condicionado estavam em desconformidade com a Lei NB.

Ao se pronunciar quanto aos apontamentos da unidade técnica especializada do Tribunal, a Secretaria de Estado de Infraestrutura do Governo do Amazonas (Seinf) apresentou manifestação formal concordando com um sobrepreço de R\$ 48.172.751,44 no orçamento (valor significativamente distinto do sobrepreço apontado pelo TCU, da ordem de R\$ 114 milhões).

Após avaliar as considerações trazidas pela Seinf, foi apurado um valor a maior de R\$ 86.544.009,11, em

uma amostra da ordem de 80%, perfazendo um sobrepreço da ordem de 21%. Esse montante representava uma necessidade de redução adicional da ordem de R\$ 38 milhões, para complementar os R\$ 48 milhões aceitos pelo órgão público.

A Corte de Contas condicionou, então, a liberação de recursos pelo BNDES à adequação do orçamento apresentado, elidindo os indícios de sobrepreço, e à assinatura de termo aditivo, formalizando as alterações no projeto e no orçamento.

Foi formalizado o terceiro termo aditivo ao Contrato nº 044/2010,<sup>6</sup> acompanhado do orçamento da obra, no valor de R\$ 550.705.891,94, bem como dos projetos executivos, não subsistindo mais óbices do TCU para a liberação do crédito.

Não foram considerados, para fins da análise em tela, o sobrepreço apurado pelo TCU incidente sobre os quantitativos e sobre o item “Serviços agrupados do sistema de ar-condicionado”. Então, o sobrepreço total de referência para este trabalho, sem se descontarem os subpreços, foi R\$ 82.760.310,41.

Dessa forma, feitas as devidas adequações, os parâmetros numéricos que nortearam a elaboração dos testes apresentados estão consubstanciados na Tabela 10 do apêndice deste trabalho.

Esta análise contemplou apenas os valores unitários do orçamento, mas também poderiam ter sido testados os quantitativos dos serviços e os valores totais. Apesar de a planilha possuir 1724 serviços, analisaram-se no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma apenas 1609 itens, já que foram excluídos os valores menores do que 10, os quais não possuíam segundo dígito. A única exceção foi para o Teste do Primeiro Dígito, em que se examinaram 1715 itens, já que, na análise do TCU, alguns valores com custo unitário inferior a R\$ 10,00 faziam parte da Curva ABC, em função da grande quantidade demandada para esses serviços. Dessa forma, para analisar esses custos, foi necessário incluí-los no Teste do Primeiro Dígito, desprezando-se apenas os valores inferiores a um.

6. Fifa World Cup Brasil – Copa Transparente – Portal de Acompanhamento de Gastos para a Copa de 2014. Disponível em: <<http://www.copatransparente.gov.br/acoes/aren-da-amazonia-obras-civis/3o-termo-aditivo-ao-contrato-n.o-044-2010-seinf-fls.01>>. Acesso em: 3 jul. 2015.

## 4.1 Teste do Primeiro Dígito

Os resultados deste teste foram apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 1, mostrados a seguir.

Tabela 3 – Teste do Primeiro Dígito para os preços unitários – Arena da Amazônia<sup>7</sup>

Dígito	Cont.	Real	Benford	Diferença	Teste Z	$\chi^2$	MDA
1	497	0,290	0,301	-0,011	0,985	0,715	0,011
2	375	0,219	0,176	0,043	<b>4,607</b>	17,733	0,043
3	154	0,090	0,125	-0,035	<b>4,372</b>	17,004	0,035
4	170	0,099	0,097	0,002	0,257	0,080	0,002
5	138	0,080	0,079	0,001	0,180	0,047	0,001
6	89	0,052	0,067	-0,015	<b>2,454</b>	5,840	0,015
7	78	0,045	0,058	-0,013	<b>2,166</b>	4,634	0,013
8	118	0,069	0,051	0,018	<b>3,297</b>	10,660	0,018
9	96	0,056	0,046	0,010	1,915	3,711	0,010
N	1715	$\chi^2$ Real $\chi^2$ Limite				60,423 15,507	MDA 0,016

Fonte: elaboração própria.

Na Tabela 3, a primeira coluna se refere aos primeiros dígitos dos valores da planilha orçamentária; a segunda corresponde às frequências absolutas desses dígitos no banco de dados; a terceira se refere às frequências da 2ª coluna em termos relativos; a quarta coluna corresponde às frequências relativas padrão da Lei NB; a quinta é a diferença entre as frequências da 3ª e da 4ª colunas; a sexta traz os resultados do Teste Z; a sétima apresenta os resultados do Teste Qui-Quadrado; e a oitava mostra os valores do MDA.

Os resultados do Teste Z mostraram que os dígitos 2 (4,607) e 8 (3,297) ultrapassaram o ponto crítico estabelecido de 1,96 porque foram super-representados na planilha orçamentária. Já os dígitos 3 (4,372), 6 (2,454) e 7 (2,166) foram subrepresentados na formação dos preços unitários. Segundo esses resultados, os dados dos preços unitários da Arena da Amazônia não tiveram um bom desempenho no teste. Isso pode ser interpretado como um sinal vermelho de que havia grande possibilidade de impropriedades nesses valores.

O resultado do Teste Qui-Quadrado foi 60,423. O valor crítico para oito graus de liberdade e 0,05 de significância é 15,507. Assim, como o valor calculado

7. CUNHA, F. C. R. *Aplicações da Lei Newcomb–Benford à Auditoria de Obras Públicas*. Dissertação (Mestrado em Regulação e Gestão de Negócios) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013, p. 282. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2623622.PDF>>. Acesso em: 6 jun. 2015.

Gráfico 1 – Teste do Primeiro Dígito para os preços unitários – Arena da Amazônia



Fonte: elaboração própria.

excedeu o valor crítico, rejeitou-se a hipótese nula de que as frequências dos primeiros dígitos dos preços unitários da planilha da Arena da Amazônia (sob o ponto de vista de uma análise geral do conjunto) se conformavam com as da Lei NB.

O MDA encontrado para a obra foi 0,016, o qual, segundo os valores críticos sugeridos por Nigrini (2012), se enquadrava na faixa de não conformidade (superior a 0,015).

Considerando todos os testes aplicados, podemos afirmar que a planilha orçamentária da Arena da Amazônia apresentou uma não conformidade com a Lei NB.

## 4.2 Teste dos Dois Primeiros Dígitos

Para um maior detalhamento da análise, de modo a reduzir o tamanho da amostra de dígitos críticos, procedeu-se ao exame dos dois primeiros dígitos. Os resultados encontram-se reportados no Gráfico 2 e na Tabela 4, em que: “Díg.” se refere aos dois primeiros dígitos dos valores; “C” são as frequências absolutas com que os dígitos se repetem na planilha; “Real” são as frequências relativas com que os dígitos aparecem na planilha; “LB” são as frequências padrão da Lei NB; “Dif.” é a diferença entre “Real” e “LB”; “Teste Z” se refere aos resultados do Teste Z para mensurar a conformidade com a Lei NB; “ $\chi^2$ ” mostra os resultados do Teste Qui-Quadrado; e “MDA” traz o resultado da Média dos Desvios Absolutos.

Segundo a Tabela 4, houve picos mais intensos nos dígitos 10, 12, 13, 16, 18, 22, 26, 27, 29, 33, 37, 41, 44, 47, 52, 56, 59, 60, 65, 68, 69, 81, 89, 91, 92, 93 e 96 em relação às proporções da curva descendente da Lei NB. Os resultados do Teste Z foram: 10 (3,892), 12 (3,071),

13 (2,442), 16 (2,824), 18 (4,728), 22 (2,616), 26 (2,724), 27 (10,415), 29 (6,791), 33 (2,504), 37 (2,362), 41 (2,778), 44 (2,588), 47 (10,683), 52 (2,150), 56 (9,457), 59 (2,707), 60 (2,377), 65 (2,202), 68 (4,491), 69 (2,074), 81 (3,741), 89 (3,118), 91 (2,489), 92 (3,262), 93 (2,576) e 96 (3,076).

Tabela 4 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para os custos unitários da Arena da Amazônia

Díg.	C	Real	LB	Dif.	Teste Z	X <sup>2</sup>	MDA	Díg.	C	Real	LB	Dif.	Teste Z	X <sup>2</sup>	MDA
10	35	0,022	0,041	-0,020	<b>3,892</b>	14,994	0,020	55	9	0,006	0,008	-0,002	0,875	1,024	0,002
11	48	0,030	0,038	-0,008	1,608	2,695	0,008	56	46	0,029	0,008	0,021	<b>9,457</b>	91,453	0,021
12	79	0,049	0,035	0,014	<b>3,071</b>	9,514	0,014	57	13	0,008	0,008	0,001	0,100	0,059	0,001
13	34	0,021	0,032	-0,011	<b>2,442</b>	6,108	0,011	58	10	0,006	0,007	-0,001	0,420	0,317	0,001
14	53	0,033	0,030	0,003	0,627	0,476	0,003	59	2	0,001	0,007	-0,006	<b>2,707</b>	8,085	0,006
15	52	0,032	0,028	0,004	0,967	1,056	0,004	60	3	0,002	0,007	-0,005	<b>2,377</b>	6,330	0,005
16	61	0,038	0,026	0,012	<b>2,824</b>	8,199	0,012	61	5	0,003	0,007	-0,004	1,745	3,563	0,004
17	34	0,021	0,025	-0,004	0,872	0,884	0,004	62	10	0,006	0,007	-0,001	0,204	0,125	0,001
18	67	0,042	0,023	0,018	<b>4,728</b>	22,597	0,018	63	6	0,004	0,007	-0,003	1,363	2,276	0,003
19	24	0,015	0,022	-0,007	1,916	3,913	0,007	64	9	0,006	0,007	-0,001	0,407	0,310	0,001
20	34	0,021	0,021	0,000	0,016	0,000	0,000	65	3	0,002	0,007	-0,005	<b>2,202</b>	5,512	0,005
21	23	0,014	0,020	-0,006	1,596	2,781	0,006	66	12	0,007	0,007	0,001	0,307	0,212	0,001
22	46	0,029	0,019	0,009	<b>2,616</b>	7,184	0,009	67	8	0,005	0,006	-0,001	0,578	0,535	0,001
23	38	0,024	0,018	0,005	1,436	2,294	0,005	68	25	0,016	0,006	0,009	<b>4,491</b>	21,468	0,009
24	34	0,021	0,018	0,003	0,940	1,051	0,003	69	3	0,002	0,006	-0,004	<b>2,074</b>	4,950	0,004
25	22	0,014	0,017	-0,003	0,945	1,067	0,003	70	9	0,006	0,006	-0,001	0,131	0,084	0,001
26	12	0,007	0,016	-0,009	<b>2,724</b>	7,832	0,009	71	7	0,004	0,006	-0,002	0,729	0,787	0,002
27	78	0,048	0,016	0,033	<b>10,415</b>	108,81	0,033	72	8	0,005	0,006	-0,001	0,368	0,279	0,001
28	19	0,012	0,015	-0,003	1,022	1,243	0,003	73	4	0,002	0,006	-0,003	1,629	3,190	0,003
29	57	0,035	0,015	0,021	<b>6,791</b>	46,838	0,021	74	4	0,002	0,006	-0,003	1,598	3,086	0,003
30	14	0,009	0,014	-0,006	1,770	3,467	0,006	75	9	0,006	0,006	0,000	0,084	0,007	0,000
31	16	0,010	0,014	-0,004	1,215	1,724	0,004	76	3	0,002	0,006	-0,004	1,870	4,120	0,004
32	16	0,010	0,013	-0,003	1,086	1,408	0,003	77	4	0,002	0,006	-0,003	1,508	2,791	0,003
33	9	0,006	0,013	-0,007	<b>2,504</b>	6,744	0,007	78	8	0,005	0,006	-0,001	0,135	0,091	0,001
34	27	0,017	0,013	0,004	1,396	2,245	0,004	79	8	0,005	0,005	0,000	0,098	0,071	0,000
35	14	0,009	0,012	-0,004	1,176	1,642	0,004	80	7	0,004	0,005	-0,001	0,402	0,325	0,001
36	11	0,007	0,012	-0,005	1,758	3,466	0,005	81	20	0,012	0,005	0,007	<b>3,741</b>	15,226	0,007
37	8	0,005	0,012	-0,007	<b>2,362</b>	6,070	0,007	82	8	0,005	0,005	0,000	0,162	0,026	0,000
38	13	0,008	0,011	-0,003	1,098	1,462	0,003	83	3	0,002	0,005	-0,003	1,687	3,444	0,003
39	14	0,009	0,011	-0,002	0,763	0,770	0,002	84	9	0,006	0,005	0,000	0,080	0,064	0,000
40	16	0,010	0,011	-0,001	0,183	0,091	0,001	85	5	0,003	0,005	-0,002	0,937	1,232	0,002
41	5	0,003	0,010	-0,007	<b>2,778</b>	8,324	0,007	86	4	0,002	0,005	-0,003	1,262	2,059	0,003
42	14	0,009	0,010	-0,002	0,482	0,363	0,002	87	8	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000	0,000
43	12	0,007	0,010	-0,003	0,894	1,028	0,003	88	12	0,007	0,005	0,003	1,286	2,133	0,003
44	5	0,003	0,010	-0,007	<b>2,588</b>	7,296	0,007	89	17	0,011	0,005	0,006	<b>3,118</b>	10,823	0,006
45	9	0,006	0,010	-0,004	1,502	2,632	0,004	90	7	0,004	0,005	0,000	0,080	0,067	0,000
46	13	0,008	0,009	-0,001	0,396	0,274	0,001	91	15	0,009	0,005	0,005	<b>2,489</b>	7,099	0,005
47	56	0,035	0,009	0,026	<b>10,683</b>	115,87	0,026	92	17	0,011	0,005	0,006	<b>3,262</b>	11,810	0,006
48	10	0,006	0,009	-0,003	1,034	1,349	0,003	93	15	0,009	0,005	0,005	<b>2,576</b>	7,579	0,005
49	14	0,009	0,009	0,000	0,031	0,001	0,000	94	6	0,004	0,005	-0,001	0,330	0,263	0,001
50	8	0,005	0,009	-0,004	1,441	2,463	0,004	95	5	0,003	0,005	-0,001	0,673	0,734	0,001
51	10	0,006	0,008	-0,002	0,837	0,939	0,002	96	16	0,010	0,005	0,005	<b>3,076</b>	10,594	0,005
52	5	0,003	0,008	-0,005	<b>2,150</b>	5,189	0,005	97	3	0,002	0,004	-0,003	1,373	2,423	0,003
53	14	0,009	0,008	0,001	0,122	0,067	0,001	98	4	0,002	0,004	-0,002	0,976	1,350	0,002
54	13	0,008	0,008	0,000	0,050	0,002	0,000	99	4	0,002	0,004	-0,002	0,954	1,301	0,002
N	1609												χ <sup>2</sup> Real	663,711	MDA
													χ <sup>2</sup> Limite	112,02	0,0049

Fonte: elaboração própria.

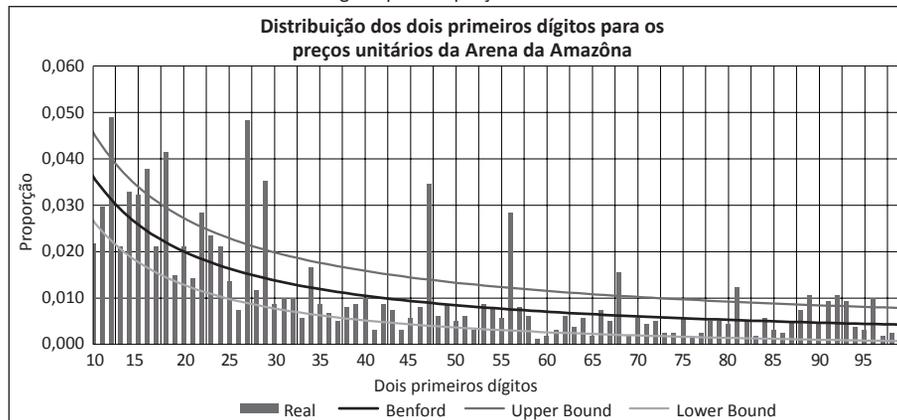
Dessa forma, como 27 dentre os 90 dígitos superaram o limite de 1,96, pode-se afirmar que as proporções dos primeiros dois dígitos dos preços unitários da Arena da Amazônia mostraram grande desconformidade com a Lei NB para esse teste.

O resultado do Teste Qui-Quadrado foi 663,711. O valor crítico para 89 graus de liberdade e 0,05 de significância é 112,02. Assim, como o valor calculado no

teste excedeu o valor crítico, deve-se rejeitar a hipótese nula, sugerindo desconformidade com a Lei NB.

O último teste aplicado foi o MDA. O valor encontrado para a Arena da Amazônia foi 0,0049, o qual estava acima de 0,0022 (valor limítrofe entre conformidade e não conformidade adotado por Nigrini (2012)), fato que o inseriu na faixa de não conformidade dos valores de referência.

Gráfico 2 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para os preços unitários – Arena da Amazônia



Fonte: elaboração própria.

Considerando todos os testes aplicados, pode-se afirmar que a planilha orçamentária da Arena da Amazônia não passou em nenhum dos testes para os dois primeiros dígitos dos preços unitários. A grande desconformidade revelada resultou na seleção de um número maior de amostras a serem examinadas, uma vez que foi indicada uma quantidade maior de dígitos críticos.

#### 4.3 Teste da Soma

Para uma boa seleção dos dígitos críticos, realizou-se, de forma complementar, o Teste da Soma, o qual verificou a materialidade de cada dupla de dígitos na planilha orçamentária. Os testes anteriores verificaram o número de repetições em relação ao padrão da Lei NB sem, no entanto, examinarem a magnitude dos valores dos serviços que correspondiam a esses dígitos. Os resultados estão ilustrados no Gráfico 3 e na Tabela 5.

Gráfico 3 – Teste da Soma para os preços unitários da Arena da Amazônia



Fonte: elaboração própria.

Na Tabela 5, a 1ª e 6ª colunas se referem aos dois primeiros dígitos dos valores; a 2ª e 7ª colunas correspondem à soma dos itens que possuem os dois primeiros dígitos apontados na 1ª e 6ª colunas; a 3ª e 8ª colunas mostram as proporções das somas calcu-

ladas na 2ª e 7ª colunas em relação ao somatório de todos os custos unitários da planilha; a 4ª e 9ª colunas apresentam as frequências padrão da Lei NB; e a 5ª e 10ª colunas trazem a diferença entre as proporções das somas e as frequências da Lei NB.

Tabela 5 – Teste da Soma para os custos unitários da Arena da Amazônia

Dígito	Soma	Real	Benford	Diferença	Dígito	Soma	Real	Benford	Diferença
10	1.107.696,86	0,030	0,011	<b>0,019</b>	55	128.482,03	0,003	0,011	-0,008
11	447.385,03	0,012	0,011	0,001	56	25.112,94	0,001	0,011	-0,010
12	906.753,60	0,024	0,011	<b>0,013</b>	57	71.404,65	0,002	0,011	-0,009
13	238.084,02	0,006	0,011	-0,005	58	66.389,80	0,002	0,011	-0,009
14	15.191.732,44	0,408	0,011	<b>0,397</b>	59	655,63	0,000	0,011	-0,011
15	228.328,88	0,006	0,011	-0,005	60	729,46	0,000	0,011	-0,011
16	1.832.739,42	0,049	0,011	<b>0,038</b>	61	85.715,87	0,002	0,011	-0,009
17	162.816,46	0,004	0,011	-0,007	62	64.951,52	0,002	0,011	-0,009
18	623.883,68	0,017	0,011	0,006	63	65.809,53	0,002	0,011	-0,009
19	2.120.216,70	0,057	0,011	<b>0,046</b>	64	144.813,94	0,004	0,011	-0,007
20	520.579,96	0,014	0,011	0,003	65	782,46	0,000	0,011	-0,011
21	349.343,19	0,009	0,011	-0,002	66	5.001,57	0,000	0,011	-0,011
22	119.814,43	0,003	0,011	-0,008	67	3.582,97	0,000	0,011	-0,011
23	178.730,68	0,005	0,011	-0,006	68	132.135,32	0,004	0,011	-0,007
24	450.936,57	0,012	0,011	0,001	69	7.049,74	0,000	0,011	-0,011
25	771.141,60	0,021	0,011	0,010	70	11.389,33	0,000	0,011	-0,011
26	59.478,22	0,002	0,011	-0,009	71	1.146,67	0,000	0,011	-0,011
27	438.552,48	0,012	0,011	0,001	72	293.156,59	0,008	0,011	-0,003
28	118.994,82	0,003	0,011	-0,008	73	813.569,48	0,022	0,011	0,011
29	870.116,94	0,023	0,011	<b>0,012</b>	74	83.577,75	0,002	0,011	-0,009
30	76.736,21	0,002	0,011	-0,009	75	98.855,51	0,003	0,011	-0,008
31	416.349,80	0,011	0,011	0,000	76	7.833,74	0,000	0,011	-0,011
32	44.058,16	0,001	0,011	-0,010	77	85.732,60	0,002	0,011	-0,009
33	71.493,02	0,002	0,011	-0,009	78	3.456,85	0,000	0,011	-0,011
34	385.390,15	0,010	0,011	-0,001	79	33.614,21	0,001	0,011	-0,010
35	541.473,61	0,015	0,011	0,004	80	11.428,15	0,000	0,011	-0,011
36	405.511,36	0,011	0,011	0,000	81	28.702,37	0,001	0,011	-0,010
37	76.650,06	0,002	0,011	-0,009	82	28.067,85	0,001	0,011	-0,010
38	125.797,05	0,003	0,011	-0,008	83	1.001,27	0,000	0,011	-0,011
39	441.081,28	0,012	0,011	0,001	84	219.630,81	0,006	0,011	-0,005
40	435.538,91	0,012	0,011	0,001	85	11.222,76	0,000	0,011	-0,011
41	5.404,16	0,000	0,011	-0,011	86	191.189,23	0,005	0,011	-0,006
42	147.519,02	0,004	0,011	-0,007	87	994.042,33	0,027	0,011	<b>0,016</b>
43	481.258,83	0,013	0,011	0,002	88	81.716,34	0,002	0,011	-0,009
44	45.314,64	0,001	0,011	-0,010	89	30.427,85	0,001	0,011	-0,010
45	23.764,53	0,001	0,011	-0,010	90	38.078,21	0,001	0,011	-0,010
46	74.952,83	0,002	0,011	-0,009	91	12.848,85	0,000	0,011	-0,011
47	37.091,26	0,001	0,011	-0,010	92	80.827,79	0,002	0,011	-0,009
48	17.053,20	0,000	0,011	-0,011	93	994.062,31	0,027	0,011	<b>0,016</b>
49	77.509,98	0,002	0,011	-0,009	94	11.601,68	0,000	0,011	-0,011
50	16.429,54	0,000	0,011	-0,011	95	38.280,32	0,001	0,011	-0,010
51	68.464,68	0,002	0,011	-0,009	96	1.203.817,81	0,032	0,011	<b>0,021</b>
52	10.669,90	0,000	0,011	-0,011	97	108.480,34	0,003	0,011	-0,008
53	54.658,00	0,001	0,011	-0,010	98	10.103,73	0,000	0,011	-0,011
54	69.538,93	0,002	0,011	-0,009	99	11.137,73	0,000	0,011	-0,011
<b>Soma total dos valores unitários</b>					<b>37.228.652,99</b>				

Fonte: elaboração própria.

Conforme se observa na Tabela 5, houve picos nos dois primeiros dígitos 10, 12, 14, 16, 19, 29, 87, 93 e 96. Chama a atenção a proporção encontrada para o dígito 14, que representou 40,8% do somatório total dos preços unitários. Constata-se, para esse teste, que os dados em nada se aproximaram de uma sequência de Benford.

#### 4.4 Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma

A seguir, selecionaram-se os dígitos detectados como críticos no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma. Foi, então, realizado um confronto entre os testes para confirmar a criticidade dos dígitos, comparando-se a frequência relativa deles na planilha com a proporção em termos materiais, ou seja, dos valores totais em cada grupo.

Tabela 6 – Confronto entre os dígitos selecionados no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma

Dígitos	T. Dois Prim. Díg.	Teste da Soma	Dígitos críticos	Dígitos	T. Dois Prim. Díg.	Teste da Soma	Dígitos críticos
10	0,022	0,030	Sim	47	0,035	0,001	Sim
12	0,049	0,024	Sim	52	0,003	0,000	Não
13	0,021	0,006	Não	56	0,029	0,001	Sim
14	0,033	0,408	Sim	59	0,001	0,000	Não
16	0,038	0,049	Sim	60	0,002	0,000	Não
18	0,042	0,017	Sim	65	0,002	0,000	Não
19	0,015	0,057	Sim	68	0,016	0,004	Sim
22	0,029	0,003	Sim	69	0,002	0,000	Não
26	0,007	0,002	Não	81	0,012	0,001	Sim
27	0,048	0,012	Sim	87	0,005	0,027	Sim
29	0,035	0,023	Sim	89	0,011	0,001	Sim
33	0,006	0,002	Não	91	0,009	0,000	Sim
37	0,005	0,002	Não	92	0,011	0,002	Sim
41	0,003	0,000	Não	93	0,009	0,027	Sim
44	0,003	0,001	Não	96	0,010	0,032	Sim

Fonte: elaboração própria.

Na Tabela 6, encontram-se exibidos os dígitos selecionados em ambos os testes realizados (colunas 1 e 5). As colunas 2 e 6 mostram as frequências relativas desses dígitos na planilha, conforme a coluna “Real” da Tabela 4. As colunas 3 e 7 exibem as proporções dos dígitos na planilha orçamentária, segundo a coluna “Real” da Tabela 5. As colunas 4 e 8 apresentam a confirmação ou não da criticidade desses dígitos.

Conforme se observa no confronto entre os testes, os dígitos 13, 26, 33, 37, 41, 44, 52, 59, 60, 65 e 69 foram descartados da amostra, porque foram selecionados no Teste dos Dois Primeiros Dígitos somente

em virtude de sua insuficiente frequência na planilha e, além disso, não possuíam soma significativa.

Os resultados do Teste dos Dois Primeiros Dígitos apontaram para os dígitos 12, 16, 18, 22, 27, 29, 47, 56, 68, 81, 89, 91, 92, 93 e 96 (descartados os dígitos 13, 26, 33, 37, 41, 44, 52, 59, 60, 65 e 69). Já o Teste da Soma identificou valores excessivos para as proporções do 10, 12, 14, 16, 19, 29, 87, 93 e 96. Percebeu-se que os dígitos 12, 16, 29, 93 e 96 foram identificados em ambas as análises como excessivos e, por isso, possuíam maior risco de estarem superestimados. Para uma auditoria, seria recomendável uma análise *a priori* desses valores, para depois se examinar o restante.

#### 4.5 Confronto entre os resultados dos testes da Lei NB e a análise do TCU

Ao se confrontarem os dígitos 12, 16, 93 e 96 com a análise de preços do TCU, obteve-se o resultado apresentado na tabela 7.

Observou-se que quatro itens da Curva ABC possuíam os dois primeiros dígitos dos preços unitários 12 ou 16, e que o somatório do sobrepreço para esses serviços foi R\$ 31.561.747,38 (38,14% do sobrepreço total de R\$ 82.760.310,41).

Tabela 7 – Confronto entre os dois primeiros dígitos mais críticos e a análise de preços do TCU – Arena da Amazônia

Dígitos	Descrição	Preço unitário projeto	Sobrepreço TCU
12	Estaca escavada tipo hélice contínua, com diâmetro 60 cm, capacidade nominal para 1415 kn.	121,10	215.112,30
	Carga, transporte, descarga e espalhamento do material de entulho, em bota-fora dmt de 1 km.	12,02	338.948,36
16	Administração local – projeto executivo.	1.670.300,47	22.180.663,27
	Membrana têxtil em fibra de vidro PTFE.	1.683,07	8.827.023,45
	<b>Total</b>		<b>31.561.747,38</b>

Fonte: elaboração própria.

Ressaltou-se que o item “Administração local – projeto executivo” representava o serviço com o maior sobrepreço da obra (R\$ 22.180.663,27). Seus primeiros dígitos 1 e 6, além de terem sido identificados pelo Teste da Soma como materialmente relevantes, foram apontados pelo Teste dos Dois Primeiros Dígitos como excessivamente frequentes na planilha.

Os dígitos 29, 93 e 96 não foram identificados em itens com sobrepreço na Curva ABC. Eles talvez se relacionem a itens não analisados pelo TCU.

Cabe ressaltar que ainda remanesceu cerca de 20% da planilha orçamentária e os itens do sistema de ar-condicionado, os quais não foram examinados pela Corte de Contas individualmente.

Após a análise dos dois primeiros dígitos mais críticos, procedeu-se à verificação dos demais.

Com base na Tabela 8, identificaram-se mais 9 itens da Curva ABC, apontados pelo TCU com sobrepreço, que foram detectados ou pelo Teste dos Dois Primeiros Dígitos ou pelo Teste da Soma.

Tabela 8 – Confronto entre os resultados dos testes da Lei NB e a análise do TCU para os demais dígitos<sup>8</sup>

Dígitos	Descrição	Preço unitário projeto	Sobrepreço TCU
10	Assentos rebatível vip – com estrutura metálica, assento e encosto em compensado, espuma de alta densidade revestida (12 63 00-2).	1.034,98	55.678,00
14	Assentos rebatível vip – com estrutura metálica, assento e encosto em compensado, espuma de alta densidade revestida para espectadores obesos (12 63 00-4).	1.446,61	944,86
27	Carga, transporte, descarga e espalhamento do material escavado, em bota-fora dmt de 15 km.	27,05	202.334,75
81	Concreto fck 40 mpa alto desempenho (CAD), com adição de microssílica e fibra de polipropileno.	816,80	5.859.425,46
	Concreto especial estaca hélice – fck 20 mpa autoadensável.	810,42	2.763.278,18
	Estaca escavada tipo hélice contínua, com diâmetro 30 cm, capacidade nominal para 350 kn.	81,60	443.855,34
91	Forma plana aparente, chapa compensada plastificada de 18 mm, com acabamento de quinas, com 3 reaproveitamentos.	91,08	6.387.800,00
	Forma plana aparente, chapa compensada plastificada de 18 mm, com acabamento de quinas, com 2 reaproveitamentos.	91,08	1.453.833,10
	Forma plana aparente, chapa compensada plastificada de 18 mm, com acabamento de quinas.	91,08	1.253.793,13
		<b>Total</b>	<b>18.420.942,82</b>

Por fim, identificaram-se na Curva ABC alguns itens cujo preço unitário representava um valor inferior a 10, ou seja, possuíam apenas o primeiro dígito. Esses valores não participaram, portanto, do Teste dos Dois Primeiros Dígitos e nem do Teste da Soma. Dessa maneira, foi necessário recorrer ao Teste do Primeiro Dígito, no qual

se verificou que os valores 2 e 8 apresentaram desconformidade com a Lei NB por terem sido excessivamente frequentes na planilha orçamentária. Confrontando-se esses primeiros dígitos com os serviços que apresentaram sobrepreço na análise do TCU, encontraram-se os seguintes itens:

Tabela 9 – Análise dos dígitos com preço unitário inferior a 10 – Arena da Amazônia

Dígitos	Descrição	Preço unitário projeto	Sobrepreço TCU
2	Corte de aço (vergalhão), inclusive remoção do local após serviços de demolição de concreto, incluindo sua comercialização.	2,13	2.129.626,90
	Desmontagem / retirada de cobertura em estrutura metálica.	2,85	1.722.255,68
8	Ferragem de aço Ca-50 a.	8,32	5.235.847,26
		<b>Total</b>	<b>9.087.729,84</b>

Fonte: elaboração própria.

8. CUNHA, F. C. R. *Aplicações da Lei Newcomb–Benford à Auditoria de Obras Públicas*. Dissertação (Mestrado em Regulação e Gestão de Negócios) – Uni-

versidade de Brasília, Brasília, 2013, p. 308. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2623622.PDF>>. Acesso em: 6 jun. 2015.

Somando-se os indícios de sobrepreço das 3 tabelas apresentadas anteriormente, encontrou-se o valor de R\$ 59.070.420,04, que representa 71,37% do sobrepreço total apurado pelo TCU (R\$ 82.760.310,41), sem se descontar os subpreços.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho testou a aplicação da Lei de Newcomb–Benford aos valores unitários da planilha orçamentária da obra de construção da Arena da Amazônia, como ferramenta de mineração de dados. Foram realizados o Teste do Primeiro Dígito, o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma, da Lei de Benford. Para mensurar a conformidade com a Lei NB, aplicaram-se o Teste Z, Teste Qui-Quadrado e Média dos Desvios Absolutos. Todos os testes apontaram desconformidade com a Lei de Benford.

Na análise individualizada dos valores, os dois primeiros dígitos 12 e 16 foram detectados no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste de Soma. Constataram em quatro itens da Curva ABC, incluindo o serviço de maior sobrepreço da planilha, Administração Local e Manutenção do Canteiro (sobrepreço = R\$ 22.180.663,27). O valor a maior apurado nesses itens somava R\$ 31.561.747,38, incluso o BDI. Além disso, foram identificados mais 12 serviços da Curva ABC com indícios de sobrepreço, cujos primeiros dígitos foram apontados nos testes da Lei NB. Somando-se todo o valor a maior observado nesses itens, encontrou-se o total de R\$ 59.070.420,04, que representava 71,37% do sobrepreço apurado pelo TCU (R\$ 82.760.310,41), sem se considerar os subpreços.

Este trabalho constitui tão somente o início de um estudo sobre a aplicação da Lei NB à auditoria de obras públicas. Buscou-se apresentar a aplicabilidade dessa ferramenta às planilhas orçamentárias, para que pesquisas futuras aprofundem no desenvolvimento de métodos efetivos de seleção de amostra de auditoria utilizando a Lei NB. Essas pesquisas poderiam estudar se existe uma interdependência entre os testes da Lei NB, propostos neste trabalho. Além disso, poderiam ser adotados outros níveis de significância nos testes estatísticos, além do nível de 0,05, para mensurar a conformidade, tais como 0,01 e 0,10, por exemplo. Outra pesquisa interessante

seria testar isoladamente a variável quantidade das planilhas orçamentárias, como alternativa à variável preço, para verificar a aplicabilidade e efetividade da Lei NB na identificação de possíveis tendências, e fazer um confronto com as análises empreendidas pelos órgãos de controle na detecção de sobrepreço por majoração de quantitativo.

## REFERÊNCIAS

BENFORD, F. *The law of anomalous numbers*. Proceedings of the American Philosophical Society 78 (4), 551-572. 1938.

BERTON, L. He's got their number: scholar uses math to foil financial fraud. *Wall Street Journal* 10, B1. Jul. 1995.

CUNHA, F. C. R. *Aplicações da Lei Newcomb–Benford à Auditoria de Obras Públicas*. 2013, 486 p. Dissertação (Mestrado em Regulação e Gestão de Negócios) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2623622.PDF>>. Acesso em: 6 jun. 2015.

\_\_\_\_\_; BUGARIN, M. S. Lei de Benford e auditoria de obras públicas: uma análise de sobrepreço na reforma do Maracanã. *Revista TCU Brasil*, ano 46, n. 131, p. 46-53, set./dez. 2014. Disponível em: <<https://bugarinmauricio.files.wordpress.com/2015/03/2014-revista-tcu-portuguecc82s-cec-cato-bugarin.pdf>>. Acesso em: 3 jul. 2015.

DRAKE, P. D.; NIGRINI, M. J. Computer assisted analytical procedures using Benford's law. *The Accounting Education* 18, 127-146. 2000.

EUROPEAN COMMISSION. *Report on Greek Government Deficit and Debt Statistics*. 2010. Disponível em: <[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product\\_details/publication?p\\_product\\_code=COM\\_2010\\_report\\_greek](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/publication?p_product_code=COM_2010_report_greek)>. Acesso em: 24 mar. 2014.

HILL, T. P. Base-Invariance Implies Benford's Law. *The American Mathematical Society* 123(3), 887-895. ISSN: 0002-9939. 1995.

MEBANE, W. R. Election Forensics: vote counts and Benford's Law. *The Society for Political Methodology*. Papers, Posters and Syllabi. Nº 620. 2006.

\_\_\_\_\_. Fraud in the 2009 presidential election in Iran? *Chance* 23(1), 6-15. 2010.

\_\_\_\_\_. *Note on the presidential election*. In Iran University of Michigan 2009.

NEWCOMB, S. Note on the frequency of the different digits in natural numbers. *The American Journal of Mathematics*, v. 4, 39-40. 1881.

NIGRINI, M. J. *The Detection of Income Tax Evasion Through an Analysis of Digital Frequencies*. Ph.D. thesis. Cincinnati, OH: University of Cincinnati. 1992.

\_\_\_\_\_. Digital analysis using Benford's Law: Tests Statistics for Auditors. *Global Audit Publication*, 2000.

\_\_\_\_\_. *Benford's Law. Applications for Forensic Accounting Auditing, and Fraud Detection*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2012.

RAUCH, B.; BRÄHLER, G.; GÖTTSCHE, M; ENGEL, S. Fact and Fiction in EU-Governmental Economic Data. *German Economic Review* 12(3), 243-255.(2011) Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-0475.2011.00542.x/abstract>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

#### COMO REFERENCIAR ESTE ARTIGO:

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.

## APÊNDICE – ANÁLISE DE PREÇOS REALIZADA PELO TCU

Tabela 10 – Análise de sobrepreço do TCU adaptada – Arena da Amazônia

Atividade	Unid	Orçamento do Projeto Executivo			TCU			Sobrepreço TCU	Sobrepreço sem descontar subpreços
		Quantidade	Preço Unitário	Preço Total	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total		
Cobertura em balanço com malha de vigas de aço [...] em fibra de vidro PTFE.	KG	3.510.000,00	22,00	77.224.674,84	3.510.000,00	22,00	77.224.674,84	0,00	0,00
Fachada em malhas "x", de vigas intertravadas para revestimento com membrana têxtil em fibra de vidro PTFE.	KG	2.749.000,00	22,00	60.481.661,29	2.749.000,00	22,00	60.481.661,29	0,00	0,00
Administração local – projeto executivo.	URAL	36	1.670.300,47	60.130.816,75	36	1.054.170,93	37.950.153,48	22.180.663,27	22.180.663,27
Membrana têxtil em fibra de vidro PTFE.	M2	31.000,00	1.683,07	52.175.170,00	31.000,00	1.398,33	43.348.146,55	8.827.023,45	8.827.023,45
Ferragem de aço Ca-50 a.	KG	5.108.143,68	8,32	42.474.214,69	5.108.143,68	7,29	37.238.367,43	5.235.847,26	5.235.847,26
Concreto fck 40 mpa alto desempenho [...].	M3	30.847,21	816,8	25.196.001,14	30.847,21	626,85	19.336.575,68	5.859.425,46	5.859.425,46
Assento retrátil – geral.	UN	40.761,00	383,69	15.639.588,09	40.761,00	373,2	15.212.005,20	427.582,89	427.582,89
Projeto executivo.	CJ	1,00	14.823.440,85	14.823.440,85	1,00	15.450.000,00	15.450.000,00	-626.559,15	0,00
Concreto especial estaca hélice – fck 20 mpa autoadensável.	M3	17.626,32	810,42	14.284.722,25	17.626,32	653,65	11.521.444,07	2.763.278,18	2.763.278,18
Forma plana aparente, chapa compensada plastificada de 18 mm [...].	M2	139.441,17	91,08	12.700.301,77	139.441,17	45,27	6.312.501,77	6.387.800,00	6.387.800,00
Serviços agrupados do sistema de ar-condicionado (excluindo os dutos).	TR	Item desconsiderado na análise							
Concreto pré-moldado fck 40 mpa alto desempenho [...].	M3	7.378,56	1.389,28	10.250.885,84	7.378,56	1.182,39	8.724.335,56	1.526.550,28	1.526.550,28
Concreto fck = 35 mpa.	M3	10.373,80	785,82	8.161.718,53	10.373,80	594,56	6.167.846,53	1.993.872,00	1.993.872,00
Demolição mecanizada de estrutura de concreto armado, [...].	M3	23.846,83	327,53	7.810.552,23	23.846,83	79,48	1.895.352,29	5.915.199,94	5.915.199,94
Transportes – projeto executivo.	MÊS	36	205.763,26	7.407.477,36	36	190.511,39	6.858.409,99	549.067,37	549.067,37
Transporte, lançamento e espalhamento de material escavado de 1ª categoria dmt 10 a 15 km.	M3	325.934,00	21,85	7.121.657,90	325.934,00	18,69	6.093.153,19	1.028.504,71	1.028.504,71
Cimbramento metálico.	M3	180.118,07	34,02	6.127.616,74	180.118,07	38,62	6.956.159,67	-828.542,93	0,00
Impermeabilização com manta ASF, 3 mm, [...].	M2	41.649,69	144,31	6.010.466,76	41.649,69	147,45	6.141.291,64	-130.824,88	0,00
Locação de grua móvel sobre trilhos com altura 50m < h < 60m, lança de 55m, [...].	EQ	28,00	211.388,39	5.918.874,92	28,00	189.567,97	5.307.903,16	610.971,76	610.971,76
Dutos convencionais, em seção retangular e em chapa de aço galvanizada, [...], com espessura de 38 mm e densidade de 20 kg/m3.	KG	51.200,00	80,82	4.137.984,00	51.200,00	22,85	1.169.920,00	2.968.064,00	2.968.064,00
Locação de guindaste sobre pneus, lança treliçada com operador, capacidade nominal de 140 ton.	EQ	20,00	201.853,99	4.037.079,80	20,00	155.029,20	3.100.584,00	936.495,80	936.495,80
Dutos convencionais, em seção retangular e em chapa de aço galvanizada, e espessuras recomendadas na norma da ABNT, completos com suportes em perfis de chapa dobrada em aço galvanizado, acessórios para sustentação e fixação e demais complementos.	KG	83.298,00	43,63	3.634.291,74	83.298,00	20,81	1.733.250,07	1.901.041,67	1.901.041,67

Atividade	Unid	Orçamento do Projeto Executivo			TCU			Sobrepreço sem descontar subpreços
		Quantidade	Preço Unitário	Preço Total	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total	
Switch acesso, 24 portas 10/100/1000mb, Poe full, 2xsfp, 10gb mm, lc.	UN	81,00	38.603,60	3.126.891,60			Não foi analisado	
Fornecimento e instalação de guarda corpo metálico.	KG	110.080,25	28,13	3.096.557,43			Não foi analisado	
Estaca escavada tipo hélice contínua, com diâmetro 80 cm, capacidade nominal para 2510 kn.	M	18.784,00	157,54	2.959.231,36	18.784,00	149,77	2.813.279,68	145.951,68
Forma plana aparente, chapa compensada plastificada de 18 mm, com acabamento de quinas, com 2 reaproveitamentos.	M2	31.736,15	91,08	2.890.528,54	31.736,15	45,27	1.436.695,44	1.453.833,10
Telhão para projeção (placares).	M2	80,00	34.965,03	2.797.202,40	80,00	13.798,86	1.103.908,80	1.693.293,60
Corte de aço (vergalhão), inclusive remoção do local após serviços de demolição de concreto, incluindo sua comercialização.	KG	1.216.188,44	2,13	2.590.481,38	1.216.188,44	0,38	460.854,48	2.129.626,90
Forma plana aparente, chapa compensada plastificada de 18 mm, com acabamento de quinas.	M2	27.369,42	91,08	2.492.806,77	27.369,42	45,27	1.239.013,64	1.253.793,13
Dutos convencionais, em seção retangular e em chapa preta, [...], com isolamento em manta de lã cerâmica, com espessura de 38 mm e densidade de 95 kg/m³.	KG	36.000,00	64,69	2.328.840,00	36.000,00	38,58	1.388.985,39	939.854,61
Elevador sem casa de máquina 5 paradas 26 passageiros capacidade de carga 1610 kg.	UN	6,00	360.383,13	2.162.298,78	6,00	360.383,13	2.162.298,78	0,00
Switch core, xx portas sfp 10gb mm, 48 portas rj45, 2xsup, 2xfontes.	UN	2,00	1.044.451,08	2.088.902,16			Não foi analisado	
Cubículo blindado – com medição (conf. Diagrama DES. MAN-712-4-00-EU00-01-ROO).	CJ	1,00	1.961.122,65	1.961.122,65			Não foi analisado	
Desmontagem/retrada de cobertura em estrutura metálica.	KG	680.733,47	2,85	1.940.090,39	680.733,47	0,32	217.834,71	1.722.255,68
Pintura látex acrílico em parede com duas demãos, sem massa corrida.	M2	108.347,15	17,20	1.863.570,98	108.347,15	13,22	1.432.172,62	431.398,36
Implantação do canteiro de obras (infraestrutura/edificações/mobiliário).	M2	2.005,00	929,26	1.863.166,30			Não foi analisado	
Estaca escavada tipo hélice contínua, com diâmetro 60 cm, capacidade nominal para 1415 kn.	M	14.515,00	121,1	1.757.766,50	14.515,00	106,28	1.542.654,20	215.112,30
Manutenção de canteiros.	MÊS	36,00	46.001,69	1.656.060,84	36,00	45.653,22	1.643.515,92	12.544,92
Forma plana comum, compensado resinado 12 mm, com 3 reaproveitamentos.	M2	28.550,00	57,67	1.646.478,50	28.550,00	54,91	1.567.680,50	78.798,00
Divisória sanitária em painéis especiais antivandalismo, em laminado estrutural TS 12 mm, unicolor, [...].	M2	2.540,76	640,19	1.646.478,50	2.540,76	549,72	1.396.706,59	249.771,91
Informática / telecomunicação (equipamentos / softwares / licenças).	MÊS	4,00	391.268,92				Não foi analisado	
Placas de gesso acartonado [...].	M2	7.338,10	211,7	1.553.475,77	7.338,10	108,31	794.799,88	758.675,89
Escavação e carga de material de 1ª categoria.	M3	408.051,00	3,70	1.509.788,70	408.051,00	2,20	899.750,32	610.038,38
Forno modular com alta performance acústica, 625x625mm, constituído por chapa de aço expandida com espuma isolante.	M2	8.117,31	184,84	1.500.403,58	8.117,31	188,34	1.528.814,17	0,00
Barramento blindado em alumínio com conexões e acessórios – 1600a.	M	420,00	3.542,88	1.488.009,60			Não foi analisado	

Atividade	Unid	Orçamento do Projeto Executivo			TCU			Sobrepreço TCU	Sobrepreço sem descontar subpreços
		Quantidade	Preço Unitário	Preço Total	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total		
Transporte, lançamento e espalhamento de material escavado de 1ª categoria dmt 5 a 10 km.	M3	93.124,00	13,58	1.264.623,92	93.124,00	14,27	1.328.437,47	-63.813,55	0,00
Piso especial tipo granilite cor referência RAL7023.	M2	15.967,95	71,06	1.134.682,53	15.967,95	70,21	1.121.126,69	13.555,84	13.555,84
Emassamento de parede externa com massa acrílica com duas demãos, para pintura látex.	M2	118.168,55	8,55	1.010.341,10	118.168,55	9,46	1.117.874,48	-107.533,38	0,00
Vidro laminado temperado espessura de 10 mm – fornecimento e instalação.	M2	1.862,14	490,61	913.584,51	1.862,14	382,47	712.215,71	201.368,80	201.368,80
Carga, transporte, descarga e espalhamento do material de entulho, em bota-fora dmt de 1 km.	M3	71.487,91	12,02	859.284,68	71.487,91	7,28	520.336,32	338.948,36	338.948,36
Carga, transporte, descarga e espalhamento do material escavado, em bota-fora dmt de 15 km.	M3	26.944,13	27,05	728.838,72	26.944,13	19,54	526.503,97	202.334,75	202.334,75
Impermeabilização com manta ASF. 3 mm, tipo iii-b, E1, ou similar, aderida com asfalto oxidado + banho de asfalto oxidado (2kg/m²).	M2	6.629,14	110,27	730.995,27	6.629,14	97,93	649.201,14	81.794,13	81.794,13
Locação de sistema de trilhos para grua móvel sobre trilhos, incluindo: mobilização e desmobilização dos trilhos, base de fundação dos trilhos e seguro.	MÊS	14,00	97.714,22	1.367.999,08	14,00	97.714,22	1.367.999,08	0,00	0,00
Montagem e desmontagem de grua [...].	UN	2,00	356.403,46	712.806,92	2,00	211.870,09	423.740,18	289.066,74	289.066,74
Assentos rebatível vip – com estrutura metálica, assento e encosto em compensado, espuma de alta densidade revestida (12 63 00-2).	UN	1.400,00	1.034,98	1.448.972,00	1.400,00	995,21	1.393.294,00	55.678,00	55.678,00
Assentos rebatível vip/hospitalidade, com estrutura metálica, assento e encosto em compensado, espuma de alta densidade revestida (12 63 00-2).	UN	2.252,00	623,33	1.403.739,16	2.252,00	486,29	1.095.125,08	308.614,08	308.614,08
Assentos para espectadores, rebatível com estrutura metálica (...). Para espectadores obesos (12 63 00-3).	UN	50,00	999,69	49.984,50	50,00	643,43	32.171,50	17.813,00	17.813,00
Assentos rebatível vip – com estrutura metálica, assento e encosto em compensado, espuma de alta densidade revestida para espectadores obesos (12 63 00-4).	UN	17,00	1.446,61	24.592,37	17,00	1.391,03	23.647,51	944,86	944,86
Grana sintética.	M2	3.177,13	135,49	430.469,34	3.177,13	137,68	437.427,26	-6.957,92	0,00
Estaca escavada tipo hélice contínua, com diâmetro 30 cm, capacidade nominal para 350 kn.	M	17.999,00	81,6	1.468.718,40	17.999,00	56,94	1.024.863,06	443.855,34	443.855,34
						<b>Amostra analisada</b>		<b>492.594.332,98</b>	
						<b>% Amostra</b>		<b>79,97%</b>	
						<b>Sobrepreço</b>		<b>80.967.668,01</b>	<b>82.760.310,41</b>
						<b>% Sobrepreço</b>		<b>16,44%</b>	<b>16,80%</b>