

VERSÃO
ESTENDIDA



IBRAOP

**SELEÇÃO DE AMOSTRA DE
AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS PELA
LEI DE BENFORD**

SÃO PAULO - 2016



IBRAOP

**SELEÇÃO DE AMOSTRA DE
AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS PELA
LEI DE BENFORD**

- VERSÃO ESTENDIDA -

SÃO PAULO - 2016

Flávia Ceccato Rodrigues da Cunha

Maurício Soares Bugarin

Adriana Cuoco Portugal

C972s Cunha, Flávia Ceccato Rodrigues
Seleção de amostra de auditoria de obras públicas pela lei de Benford:
versão estendida. São Paulo: IBRAOP, 2016.

59p. : il. ; 21 x 30 cm

ISBN: 978-85-93840-00-5

1. Auditoria. 2. Obras públicas. 3. Lei de Benford. I. Título. II. Bugarin,
Maurício Soares. III. Portugal, Adriana Cuoco.

CDD 657.6

APRESENTAÇÃO

A publicação desta Cartilha tem por objetivo apresentar aos agentes responsáveis pela fiscalização de obras públicas e aos pesquisadores interessados, o passo a passo na aplicação da Lei de Benford para seleção eficiente da amostra de auditoria nos orçamentos de obras públicas, de forma prática e didática. Esse material fornece, além do detalhamento dos testes da Lei de Benford e do algoritmo, noções preliminares de estatística e as fórmulas adotadas no Excel, exigindo, apenas, um conhecimento básico desse software. Por fim, é apresentado um exemplo da aplicação dessa metodologia à obra de construção da Arena da Amazônia.

A Lei de Benford propõe que as frequências dos primeiros dígitos dos valores em um banco de dados são decrescentes do 1 ao 9, sendo que o dígito 1 aparece em, aproximadamente, 30% dos dados, enquanto o 9 não atinge 5% desses valores.

Com base nesse referencial, são medidas as frequências dos primeiros dígitos dos preços dos serviços da planilha orçamentária a ser analisada, estabelecendo-se uma comparação entre a Lei de Benford e os valores encontrados de fato. Sobre a diferença advinda dessa comparação, são aplicados testes estatísticos para mensurar se a magnitude dessa discrepância chega a representar, ou não, uma desconformidade com a Lei. A não conformidade pode ser vista como *red flag*, indicando quais serviços possuem maiores indícios de terem sido manipulados, sendo esses itens naturais candidatos para auditoria.

Esta Cartilha está dividida em sete capítulos: I – Introdução; II – Noções preliminares sobre seleção da amostra de auditoria; III – Testes da Lei de Benford: construções preliminares; IV – Noções preliminares de estatística; V – Etapas da aplicação da Lei de Benford; VI – Exemplo de aplicação da metodologia – Análise dos preços totais da obra de construção da Arena da Amazônia; e VII – Conclusão geral.

Dessa forma, apresento esta publicação destinada a colaborar com o aperfeiçoamento da Administração Pública, desejando a todos os interessados uma leitura profícua!

Narda Consuelo Vitória Neiva Silva
Presidente do Ibraop

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Frequências dos primeiros dígitos, calculadas segundo a Lei de Benford.	10
Tabela 2 – Identificação dos primeiros dígitos dos dados testados.	13
Tabela 3 – Contagem dos primeiros dígitos.	14
Tabela 4 – Frequências dos primeiros dígitos dos dados analisados.	15
Tabela 5 - Frequências dos primeiros dígitos, calculadas segundo a Lei de Benford.	15
Tabela 6 – Cálculos para o Teste do Primeiro Dígito.	15
Tabela 7 - Identificação dos dois primeiros dígitos dos dados testados.	16
Tabela 8 – Contagem dos dois primeiros dígitos.	17
Tabela 9 – Frequências dos dois primeiros dígitos dos dados analisados.	17
Tabela 10 – Fórmulas para o cálculo das frequências dos dois primeiros dígitos, segundo a Lei de Benford.	18
Tabela 11 – Preparação para o Teste dos Dois Primeiros Dígitos	19
Tabela 12 – Soma dos dados dentro de cada categoria de dois primeiros dígitos.	20
Tabela 13 – Resultados do Teste da Soma	20
Tabela 14 - Erros estatísticos.	24
Tabela 15 – Níveis usuais de significância adotados para o Teste Z e seus limiares.	24
Tabela 16 – Teste Z aplicado ao Teste do Primeiro Dígito.	25
Tabela 17 – Teste Z aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos.	26
Tabela 18 – Limiares adotados para o Teste QQ aplicados aos Testes do Primeiro Dígito e dos Dois Primeiros Dígitos.	27
Tabela 19 – Teste QQ aplicado ao Teste do Primeiro Dígito.	27
Tabela 20 – Teste QQ aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos.	28
Tabela 21 – Valores críticos e conclusões para vários MDA.	29
Tabela 22 – Teste MDA aplicado ao Teste do Primeiro Dígito.	29
Tabela 23 – Teste MDA aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos.	30
Tabela 24 – Etapas de aplicação do algoritmo.	32
Tabela 25 – Categorias de dígitos selecionadas no Teste dos Dois Primeiros Dígitos.	34
Tabela 26 – Categorias de dígitos selecionadas no Teste da Soma.	34
Tabela 27 – Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma.	35
Tabela 28 – Somatório dos custos totais dos serviços cujos dois primeiros dígitos são 25.	36
Tabela 29 – Somatório de cada categoria de dois primeiros dígitos considerados críticos.	36
Tabela 30 – Cálculo do valor percentual da amostra em relação ao custo total do orçamento.	37
Tabela 31 - Teste dos Dois Primeiros Dígitos para os preços totais da Arena da Amazônia.	43
Tabela 32 – Teste da Soma para os preços unitários da Arena da Amazônia	45
Tabela 33 – Confronto entre os dígitos selecionados no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma	46
Tabela 34 – Somatório de cada categoria de dois primeiros dígitos considerados críticos.	47
Tabela 35 – Cálculo do valor percentual da amostra em relação ao valor total do orçamento da Arena da Amazônia.	47
Tabela 36 – Confronto entre a amostra obtida com o algoritmo proposto e a análise de preços do TCU.	49
Tabela 37 – Análise de preços do TCU da planilha orçamentária da obra de construção da Arena da Amazônia (adaptada) – data base fev/2010.	56

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO	5
Noções Básicas	5
História da Lei de Benford e exemplos de aplicações	6
Objetivo e aplicações do método nos diferentes tipos de orçamento	8
Pré-requisitos para a utilização desta cartilha	8
II – NOÇÕES PRELIMINARES SOBRE SELEÇÃO DA AMOSTRA DE AUDITORIA	9
Método adotado atualmente: Curva ABC	9
Utilização da Lei de Benford	9
Etapas da aplicação da Lei de Benford	11
Diferencial da lei	12
Quando há BDI único ou diferenciado no orçamento	12
III - TESTES DA LEI DE BENFORD: CONSTRUÇÕES PRELIMINARES	13
Teste do Primeiro Dígito	13
Teste dos Dois Primeiros Dígitos	16
Teste da Soma	19
IV – NOÇÕES PRELIMINARES DE ESTATÍSTICA	22
Significância estatística	22
Graus de liberdade	22
Teste de hipóteses	22
Erros estatísticos	23
Teste Z	24
Teste Qui-Quadrado	26
Média dos Desvios Absolutos	28
V – ETAPAS DA APLICAÇÃO DA LEI DE BENFORD	31
1ª Etapa: definição dos parâmetros iniciais	33
2ª Etapa: Teste dos Dois Primeiros Dígitos	34
3ª Etapa: Teste da Soma	34
4ª Etapa: confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma	35
5ª Etapa: valor da amostra selecionada	36
6ª Etapa: comparação da amostra com o valor total do orçamento	37
7ª Etapa: amostra de auditoria	38
8ª Etapa: complementação da amostra adotando os critérios da Curva ABC	38
VI – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - ANÁLISE DOS PREÇOS TOTAIS DA OBRA DE CONSTRUÇÃO DA ARENA DA AMAZÔNIA	39
Considerações iniciais	39
Adaptações realizadas para a aplicação da metodologia	41
Aplicação do algoritmo	42
Comparação da amostra selecionada com a análise de preços do TCU	48
Conclusão.	50
VII - CONCLUSÃO GERAL	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE	55

I - INTRODUÇÃO

Noções básicas

Em uma auditoria de obra pública, além de se examinar a qualidade da construção em si, um dos principais objetivos é verificar se existe sobrepreço¹ ou superfaturamento². Os órgãos de controle, em geral, para selecionar a amostra a ser auditada, agrupam os itens idênticos da planilha orçamentária e estabelecem um *ranking* em ordem decrescente de valor total (quantidade multiplicada pelo valor unitário do serviço), selecionando os itens mais caros para análise (Curva ABC).

Quando a planilha apresenta poucos itens, como no caso da maior parte das obras de rodovias, o analista consegue fazer uma análise total do orçamento. Contudo, em grande parte das obras de edificações, por exemplo, a planilha apresenta inúmeros itens, o que torna impraticável um exame total dos dados.

Ademais, para a seleção da amostra a ser auditada, os órgãos de controle consideram apenas o custo/preço total do serviço, sem adotarem qualquer critério que aponte possível manipulação dos dados. O ideal seria encontrar uma ferramenta para a seleção da amostra que considerasse, além dos preços dos itens, indícios de manipulação desses valores.

O ser humano acredita que os números se distribuem de forma uniforme na natureza. Por isso, ao manipular os valores de um banco de dados, uma pessoa leiga em geral não se preocupará com as frequências em que aparece o 1 ou 2 ou demais dígitos como primeiro, segundo ou último dígito de um número.

Contudo, existe uma metodologia capaz de indicar a possibilidade de manipulação dos dados e, ao mesmo tempo, considerar a relevância financeira dos itens. A metodologia se baseia em uma regularidade empírica segundo a qual os números não se distribuem de forma uniforme na natureza. Essa regularidade é conhecida como Lei de Benford.

Essa Lei estabelece que as frequências dos primeiros dígitos dos valores em um banco de dados são decrescentes do 1 ao 9; o dígito 1 aparece em, aproximadamente, 30% dos itens, enquanto o 9 não atinge 5% desses valores. Essas frequências se aplicam a uma variedade de fontes de dados, incluindo contas de energia, endereços, preços de ações, valores populacionais, taxas de mortalidade, entre outras.

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, em aproximadamente uma década, seu investimento dobrará, ou seja, após dez anos tendo o número 1 como o primeiro dígito, o montante de seu investimento finalmente chegará a R\$ 20.000,00. Passados mais dez anos, o recurso dobrará novamente para R\$ 40.000,00, sendo que em uma parte maior desses dez anos os valores começarão com o número 2, e em uma outra parte menor começarão com o número 3. Após outra década, o montante chegará a R\$ 80.000,00, em que os números 4, 5, 6 e 7 serão 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.

1 - O Sobrepreço ocorre quando o preço de um bem ou serviço é superior ao valor praticado pelo mercado.

2 - Já o Superfaturamento se verifica após a regular liquidação da despesa, ou seja, depois da aquisição, faturamento e pagamento de um bem ou serviço com sobrepreço.

Assim, ao se escolher uma data aleatória para verificar o saldo, é mais provável que o montante de seu investimento nesse dia possua o número 1 como primeiro dígito, do que qualquer outro dígito.

Estudos recentes (Durstchi et al., 2004; Cunha, 2013; Cunha e Bugarin, 2014, 2015) sugerem que a Lei de Benford se aplica especialmente bem a planilhas de dados contábeis que envolvem o produto de preços por quantidades, como no caso de planilhas de obras públicas.

Com base nesse referencial, são medidas as frequências dos primeiros dígitos dos preços totais dos serviços da planilha orçamentária a ser analisada, estabelecendo-se uma comparação entre a Lei de Benford e os valores encontrados de fato. Sobre a diferença advinda dessa comparação, são aplicados testes estatísticos (Teste-Z, Qui-Quadrado e Média dos Desvios Absolutos) para mensurar se a magnitude dessa discrepância chega a representar, ou não, uma desconformidade com a Lei de Benford. A não conformidade pode ser vista como *red flag*, um sinal indicando quais valores possuem maiores indícios de terem sido manipulados, sendo os itens correspondentes naturais candidatos à auditoria.

História da Lei de Benford e exemplos de aplicações

Para um melhor entendimento dessa metodologia, é necessário explicar como ela foi descoberta. Simon Newcomb (1881), um astrônomo e matemático canadense-americano do século XIX, observou que as primeiras páginas das tábuas de logaritmos (amplamente utilizadas para cálculos à época) se apresentavam mais desgastadas do que as últimas, indicando que o valor usualmente mais acessado era o número 1, e que a frequência diminuía até o número 9, contrariando o entendimento comum de uma distribuição uniforme da frequência desses dígitos.

Como Newcomb não reuniu dados numéricos ou forneceu qualquer outra evidência de sua descoberta, o fato permaneceu como uma simples curiosidade pouco conhecida por mais de meio século depois, quando o físico Frank Benford (1938) incidentalmente encontrou a mesma regularidade. Benford publicou artigo seminal em 1938, denominado *The Law of Anomalous Numbers*, em que comprovou a lei usando dados coletados de grande variedade de fontes distintas.

Esses dados eram aleatórios, 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 extensão de rios, tabelas matemáticas e constantes científicas. Seu trabalho analisou os primeiros dígitos dos dados coletados e mostrou que cerca de 30% dos números possuíam o número 1 como primeiro dígito, e que, em contraste, menos de 5% apresentavam o número 9 como primeiro dígito.

Em um contexto mais recente, diversos estudos foram realizados adotando a hipótese de que dados fabricados têm o potencial de serem identificados mediante o desvio dos dígitos em relação à distribuição de Benford.

Nigrini (1992, 2000, 2012), partindo do pressuposto de que dados contábeis fidedignos seguissem a distribuição de Benford bem de perto (como indicara sua pesquisa), 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 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 o número 1 e muitos números começando com o número 6. Com base nesses sucessos, Nigrini 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, Götttsche, Brähler e Engel (2011) publicaram artigo na *German Economic Review* no qual sugeriram 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 com relação às previsões da Lei. O país que teve o maior desvio foi a Grécia, cuja manipulação dos dados havia sido oficialmente confirmada pela Comissão Europeia (2010) no ano 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 como amplamente divulgado pela mídia (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.

No contexto de obras públicas, essa ferramenta começou a ser testada recentemente, tendo como marco inicial dissertação de mestrado, intitulada “*Aplicações da Lei Newcomb-Benford à Auditoria de Obras Públicas*” (Cunha, 2013). Foram testadas obras relevantes no contexto da Copa do Mundo de 2014, tais como a reforma do Estádio Maracanã, a construção da Arena da Amazônia e a reforma do Aeroporto Internacional de Minas Gerais. Essas três obras haviam sido auditadas, em momento anterior, pelo Tribunal de Contas da União, e as análises efetuadas com base na Lei de Benford foram confrontadas com o sobrepreço detectado pelo TCU. Os serviços apontados por essa Lei como tendo sofrido possível manipulação em seus preços corresponderam, em média, a 80% do sobrepreço identificado pelo Tribunal.

Desse trabalho inicial, Cunha e Bugarin desenvolveram artigos para a *Revista do TCU (Lei de Benford e Auditoria de Obras Públicas: uma análise de sobrepreço na reforma do Maracanã; set/dez 2014)*; a revista *Economics Bulletin (Benford's law for audit of public works: an analysis of overpricing in Maracanã soccer arena's renovation; maio/2015)*; a *Revista NDJ (Lei de Benford e auditoria de obras públicas: uma análise de sobrepreço na construção da arena da Amazônia; ago/2015)*; a *Revista Economia (Yokohama; A didactic note on the use of Benford's Law in public works auditing, with an application to the construction of Brazilian Amazon Arena 2014 World Cup soccer stadium; 2015)*; entre outros.

Café (2015), em seu Trabalho de Conclusão de Curso (*O uso da Lei de Benford na auditoria de obras públicas: o caso do VLP*) aplicou uma versão do algoritmo de Bugarin e Cunha (2015) para detecção das rubricas com maiores evidências de sobrepreço na planilha contratual do VLP ou Expresso Sul, no Distrito Federal. O algoritmo apresentou resultados bastante favoráveis ao uso da Lei de Benford na auditoria. Foram revelados 73,40% do superfaturamento apontado pelo Tribunal de Contas do Distrito Federal (TCDF) em apenas 38,17% do valor total da obra pública.

A Lei de Benford foi apresentada no *VIII Seminário de Perícias de Engenharia da Polícia Federal*³, em Maceió, nos dias 11 a 15 de abril de 2016, em que o perito criminal federal Raimundo Nonato Azevedo Filho fez palestra com o tema: “*Fraude em licitações e a Lei de Benford – Aplicação em Perícias de Engenharia Civil do DPF*”. Esse trabalho consistiu na apresentação de uma detecção de fraude a uma licitação, que teve como finalidade elaborar Laudo Criminal de Engenharia após a deflagração da operação da Polícia Federal. Visando utilizar novas tecnologias de detecção de fraude em licitações e na formação de preços, aplicou-se a Lei de Benford verificando, assim, aderência a outros meios de prova, contribuindo para o fortalecimento do

3 - Fraude em licitações e a Lei de Benford – Aplicação em Perícias de Engenharia Civil do DPF (PCF Raimundo Nonato Azevedo Filho); Aplicações da Lei de Newcomb-Benford aos orçamentos de obras públicas (Flávia Ceccato Rodrigues da Cunha – TCU).

conjunto probatório e, ainda, indicando quais contratos, antes da deflagração de operações, poderiam ser mais críticos, para direcionar a colheita de provas mais robustas, tendo em vista que os cartéis são especializados e atuam há anos em determinadas regiões do País.

Além disso, existem estudos no âmbito do Conselho Administrativo de Defesa Econômica – Cade acerca da utilização da Lei de Benford como filtro de cartel (Cuiabano, Leandro, Oliveira e Bogossian; 2014).

Objetivo e aplicações do método nos diferentes tipos de orçamento

O objetivo desta cartilha é oferecer aos profissionais de auditoria de obras públicas um roteiro didático e conciso para a aplicação da metodologia desenvolvida a partir da Lei de Benford na seleção da amostra a ser auditada de uma obra pública.

Essa metodologia pode ser aplicada ao orçamento base da Administração Pública, aos orçamentos das licitantes na análise de uma licitação e ao orçamento contratado.

No tocante ao orçamento da Administração, é importante verificar se ele apresenta vícios, uma vez que as propostas das licitantes serão realizadas com base nele. O ideal seria que esse orçamento fosse elaborado da forma mais adequada possível, evitando-se manipulações que destoassem das referências de preço de mercado e gerassem, por consequência, perda da vantajosidade para contratar da Administração.

Quanto aos orçamentos das licitantes, eles podem ser analisados, por exemplo, no intuito de verificar se existem propostas meramente de cobertura, sem uma efetiva preocupação das empresas com a precificação dos serviços. Geralmente, nesses casos, havendo manipulação dos dados, existe uma desconformidade com a Lei de Benford.

No caso do orçamento contratado, além de indicativos de sobrepreço e eventual superfaturamento, podem ser, inclusive, detectados indícios de “jogo de planilha”, comparando-se o contrato inicial com o contrato após os aditivos. Caso o contrato inicial apresente uma relativa conformidade com a Lei de Benford e, após os aditivos, torne-se não-aderente à Lei, é um forte indicativo de “jogo de planilha”⁴.

Ademais, indica-se o uso dessa metodologia em planilhas orçamentárias com, no mínimo, 800 itens, já que, como os dados serão divididos em 90 grupos nos testes da Lei de Benford, um orçamento com poucos itens pode apresentar uma falsa desconformidade com essa Lei.

Pré-requisitos para a utilização desta cartilha

Para o uso deste material, é necessário conhecimento básico do Sistema Excel e relativa experiência com os conceitos e as análises de preços de obras públicas, que não são revisados nesta cartilha.

Na seção “Noções preliminares de estatística” são apresentados conceitos básicos suficientes para a aplicação da metodologia, não sendo necessário o conhecimento anterior da matéria.

4 - Jogo de planilha consiste na quebra do equilíbrio econômico-financeiro inicial do contrato em desfavor da Administração por meio da alteração de quantitativos e/ou preços durante a execução da obra.

II – NOÇÕES PRELIMINARES SOBRE SELEÇÃO DA AMOSTRA DE AUDITORIA

Método adotado atualmente: Curva ABC

Essa ferramenta, tradicionalmente utilizada pelos órgãos de controle na análise de planilhas orçamentárias de obras públicas, seleciona em torno de 20% dos serviços, em ordem decrescente de relevância financeira, totalizando 80% do valor global da obra.

A classificação mediante a Curva ABC se baseia no princípio de Pareto, também conhecido como princípio dos “poucos significativos e muitos insignificantes”. A experiência mostra que os itens mais importantes (faixa A) respondem por cerca de 50% do valor total do orçamento. Já a faixa B abrange os itens que correspondem a cerca de 30% do valor total (itens de importância intermediária). A faixa C contém os itens relacionados a apenas 20% do valor total orçado (itens menos importantes).

O que conta para a seleção da amostra de auditoria é apenas a relevância financeira dos serviços, sem considerar possíveis indícios de manipulação nos dados. Portanto, a metodologia da Curva ABC seleciona tipicamente os itens das faixas A e B para serem auditados.

Para aplicar a metodologia, os itens semelhantes no orçamento devem ser agrupados antes da análise, o que demanda um certo trabalho no caso de existirem muitos itens repetidos. Ou seja, é necessário fazer ajustes na planilha antes de utilizar a Curva ABC.

Após a seleção dos serviços que comporão a amostra, os custos/preços dos itens são comparados aos valores de mercado, utilizando-se, para isso, sistemas de referência como Sinapi e Sicro, notas fiscais ou cotações.

Mediante essa comparação, identifica-se a existência de sobrepreço e/ou superfaturamento.

Utilização da Lei de Benford

Já a utilização da Lei de Benford permite a seleção de uma amostra de itens de uma planilha orçamentária que possam ter sido manipulados ou representem alguma fraude que macule os princípios que regem as licitações e contratos administrativos.

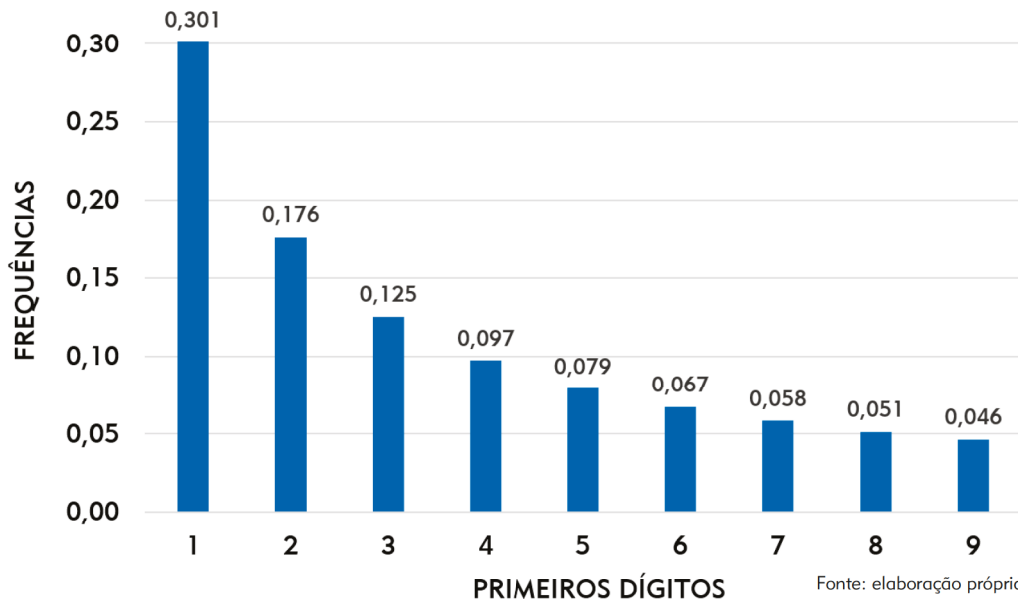
Essa lei, como ilustrado na Tabela 1 e no gráfico a seguir, propõe que as frequências dos primeiros dígitos dos valores em um banco de dados não manipulados são decrescentes do número 1 ao número 9; o dígito 1 aparece em, aproximadamente, 30% dos dados, enquanto o 9 não atinge 5% desses valores.

TABELA 1 - Frequências dos primeiros dígitos, calculadas segundo a Lei de 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%

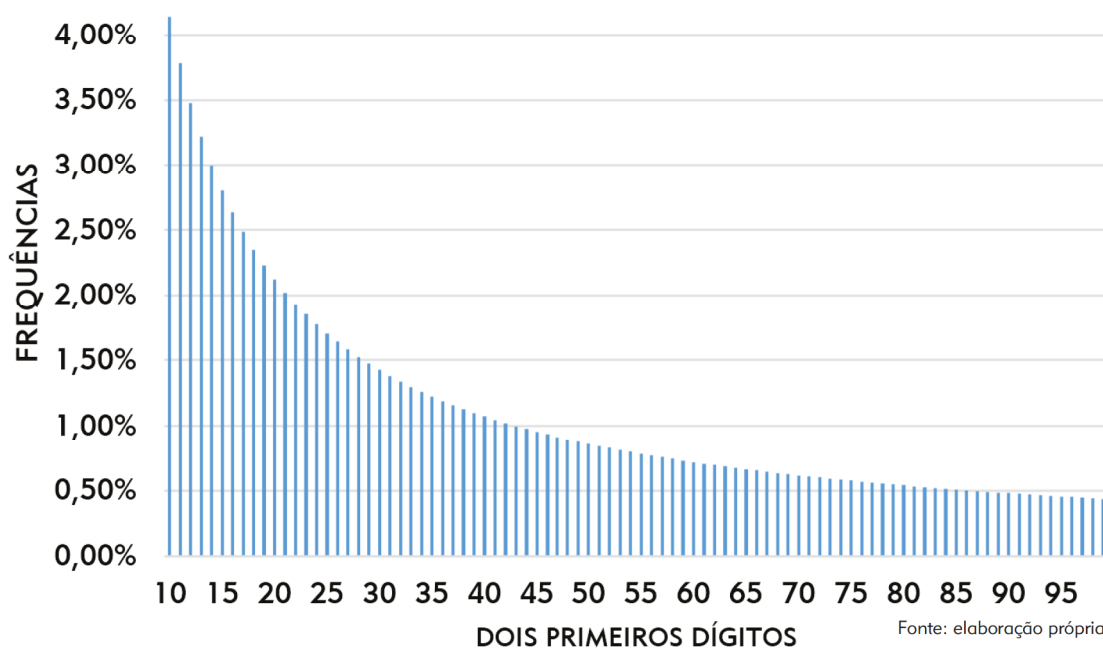
Fonte: Newcomb, 1881

GRÁFICO 1 - Frequências dos primeiros dígitos, calculadas segundo a Lei de Benford.



Analogamente, a Lei de Benford propõe uma distribuição de frequências também decrescente para os dois primeiros dígitos dos valores em um banco de dados não manipulados, conforme ilustrado no Gráfico 2.

GRÁFICO 2 - Frequências dos dois primeiros dígitos, calculadas segundo a Lei de Benford.



Diversos testes podem ser aplicados para se avaliar a conformidade de um banco de dados com a Lei de Benford. Esta cartilha propõe a realização de três desses testes: Teste do Primeiro Dígito, Teste dos Dois Primeiros Dígitos e Teste da Soma. Os itens a serem examinados de fato podem ser os custos/preços unitários, custos/preços totais ou as quantidades que tenham sido indicados em uma planilha orçamentária de uma obra pública. Porém, ainda não existem estudos ou casos práticos de aplicação dessa metodologia às quantidades. Para fins didáticos, esta cartilha propõe a aplicação da nova metodologia para os custos/preços totais de cada item da planilha.

O primeiro teste compara as frequências dos primeiros dígitos dos itens do banco de dados com as frequências estabelecidas por essa Lei. Esse teste é uma primeira averiguação geral e serve primariamente para identificar um grande conjunto de dados (por exemplo, todos os itens cujos custos/preços totais tem por primeiro dígito o 6) em que pode ter havido manipulação. É um teste mais geral pois a amostra é dividida em apenas 9 grandes grupos (primeiros dígitos 1 a 9).

Já o segundo compara as frequências dos dois primeiros dígitos do orçamento com a distribuição de Benford, sendo mais específico que o primeiro teste, pois agora a amostra é dividida em 90 grupos (compostos pelos dois primeiros dígitos 10 a 99).

Sobre a diferença advinda da comparação, são aplicados testes estatísticos (Teste-Z, Qui-Quadrado e Média dos Desvios Absolutos) para mensurar se o desvio chega a representar, ou não, uma desconformidade com essa Lei do ponto de vista estatístico. A desconformidade pode ser vista como um indicativo de manipulação dos dados, apontando quais serviços são naturais candidatos para auditoria.

Finalmente, o terceiro teste mensura a relevância financeira de cada categoria de dois primeiros dígitos em relação ao valor total da planilha orçamentária, selecionando grupos de itens cujos valores totais representam importante percentual do orçamento.

Etapas da aplicação da Lei de Benford

Esta seção da cartilha mostra, de forma detalhada, o passo-a-passo para selecionar a amostra de auditoria com base na Lei de Benford, permitindo a flexibilização do tamanho da amostra de acordo com o interesse do auditor.

São definidas oito etapas para a aplicação da Lei de Benford, a serem aplicadas após a investigação inicial baseada na análise dos primeiros dígitos:

- 1ª Etapa: estabelecer os parâmetros da seleção;
- 2ª Etapa: aplicar o Teste dos Dois Primeiros Dígitos;
- 3ª Etapa: aplicar o Teste da Soma;
- 4ª Etapa: estabelecer o confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma; desse confronto resultará uma primeira seleção da amostra a ser auditada;
- 5ª Etapa: calcular o valor total da amostra fazendo uma varredura na planilha orçamentária;
- 6ª Etapa: verificar o quanto a amostra selecionada representa em termos percentuais em relação ao valor total do orçamento (calcular o tamanho da amostra);
- 7ª Etapa: definir a amostra final de auditoria; se necessário, alterar os parâmetros da seleção e reaplicar o algoritmo de forma que a amostra selecionada corresponda a aproximadamente 80% do orçamento;
- 8ª Etapa: comparar os custos/preços com os valores de mercado ou, no caso das quantidades, com o projeto ou medições *in loco* (dependendo da fase em que se encontra o contrato).

Diferencial da Lei

De forma diferente da Curva ABC, que exige um tratamento anterior dos dados (agrupamento dos serviços idênticos), a Lei de Benford é aplicada ao orçamento da forma como ele é apresentado originalmente, ou seja, não há a necessidade de providenciar os agrupamentos dos serviços semelhantes.

Além disso, essa metodologia faz o cotejamento de duas análises: indícios de manipulação dos dados e relevância financeira dos serviços. Já a Curva ABC, só considera a relevância financeira dos itens.

Uma outra vantagem dessa Lei é que ela não se aplica, exclusivamente, aos custos/preços totais (custos/preços unitários multiplicados pela quantidade), como no caso da Curva ABC. Ela pode ser aplicada às quantidades e aos custos/preços unitários separadamente.

Ademais, a Lei de Benford estabelece um *ranking* dos serviços por ordem decrescente de criticidade, de modo a viabilizar que os itens com maior probabilidade de manipulação sejam analisados primeiro, até o limite de tempo do auditor.

Quando há BDI único ou diferenciado no orçamento

Segundo a OT IBR 005/2012 do IBRAOP, item 3.4, o custo direto corresponde aos custos apropriados diretamente a cada produto, bem ou serviço produzido, sem a necessidade de rateios, podendo ser identificados na composição de custo unitário do serviço.

O BDI, definido no item 3.1 da mesma OT, é a parte do preço do serviço que reflete a recompensa do empreendimento (lucro estimado), as despesas financeiras, o rateio do custo da administração central, os tributos (ISS, PIS e Cofins) e os seguros, riscos e garantias.

Para as obras em que houver fornecimento de material ou equipamento de valor relevante, faz-se necessária a diferenciação entre o BDI desse fornecimento e o dos serviços de engenharia. Ressalte-se que o BDI incidente sobre os equipamentos é menor, já que o contratado se torna mero intermediário entre a Administração Pública e o fornecedor desses materiais e equipamentos.

Caso o BDI seja único na planilha orçamentária, é indiferente analisar os custos (valores sem BDI) ou os preços (valores com BDI). Ele seria uma espécie de constante incidente de modo uniforme sobre todos os serviços do orçamento e, segundo Pinkham (1961), não afetam a conformidade com a Lei de Benford. Assim, se um banco de dados possuir as frequências dos dígitos diferentes das estipuladas na Lei de Benford, a multiplicação desses valores por uma constante continuará resultando em frequências diversas. A proximidade ou discrepância dos dados em relação aos padrões dessa Lei antes da multiplicação (independentemente do valor da constante) será a mesma após a multiplicação.

Contudo, tal propriedade não se aplica às obras que possuem taxa de BDI diferenciada para serviços e equipamentos. Como seriam duas constantes distintas incidindo, uma ou outra, sobre itens da planilha orçamentária, as frequências dos primeiros dígitos seriam alteradas. Dessa maneira, caso incida mais de uma taxa de BDI para uma mesma obra, recomenda-se adotar os preços unitários e totais para os testes, adicionando-se os BDI's correspondentes, a fim de abranger essa diferenciação entre os serviços e os equipamentos. Nesta cartilha, conforme já mencionado, o foco está nos preços totais.

III - TESTES DA LEI DE BENFORD: CONSTRUÇÕES PRELIMINARES

Os testes adotados nessa cartilha, com base na Lei de Benford, são o Teste do Primeiro Dígito, Teste dos Dois Primeiros Dígitos e Teste da Soma, desenvolvidos segundo Nigrini (2012).

O banco de dados não deve sofrer nenhum tipo de tratamento anterior como, por exemplo, o agrupamento de serviços idênticos, tal como ocorre no caso da Curva ABC. Os dados devem ser utilizados da forma como foram retirados da internet ou fornecidos pelo auditado.

Teste do Primeiro Dígito

Este teste verifica quantas vezes cada número de 1 a 9 aparece como primeiro dígito nos itens analisados de uma planilha orçamentária. Esses itens podem ser as quantidades, os preços ou custos unitários e os preços ou custos totais dos serviços, razão pela qual serão chamados, daqui em diante, apenas de dados. No exemplo a seguir, os dados testados foram os custos totais dos serviços, identificando o primeiro dígito para cada item, segundo a Tabela 2⁵:

TABELA 2 – Identificação dos primeiros dígitos dos dados testados.

	A	B	C	D	E	F
1	DESCRICOAO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	1º DÍGITO
2	SISTEMA DE COBERTURA TENSIONAD	UN	1,00	256.714.917,00	256.714.917,00	2
3	SISTEMA DE AR CONDICIONADO CEN	UN	1,00	48.844.340,89	48.844.340,89	4
4	ADMINISTRACAO LOCAL P/OBRAS DE	UN	1,00	32.863.882,27	32.863.882,27	3
5	MOBILIARIO ESPORTIVO, E MOBILIAR	UN	1,00	25.518.649,48	25.518.649,48	2
6	RECUPERACAO DA ESTRUTURA DO ES	UN	1,00	22.904.212,57	22.904.212,57	2
7	DEMOLICAO DE COBERTURA EM CON	UN	1,00	21.439.722,66	21.439.722,66	2
8	SISTEMA DE PAINELIS INFORMATIVOS	UN	1,00	20.206.546,09	20.206.546,09	2
9	SERVICOS (CABLAGENS, CONECTORIZ	UN	1,00	19.081.957,09	19.081.957,09	1
10	TRANSFORMADORES, GRUPOS GERAC	UN	1,00	18.600.382,98	18.600.382,98	1
11	SISTEMA DE CONTROLE DE ACESSO RI	UN	1,00	17.544.505,41	17.544.505,41	1
12	PASTILHA DE PORCELANA FORMATO	M2	90.090,62	152,47	13.736.116,83	1
13	ESQUADRIAS DE ALUMINIO PARA O E	UN	1,00	11.920.282,97	11.920.282,97	1
14	PRE MOLDADO EM CONCRETO ARMA	UN	1,00	11.771.177,22	11.771.177,22	1
15	DESMONTAGEM DE ESTRUTURAS MET	KG	1.416.015,19	8,31	11.767.086,22	1
16	SISTEMA DE SONORIZACAO (AREAS II	UN	1,00	11.512.097,16	11.512.097,16	1

1º DÍGITO

=VALOR(SE(E2>=1;(ESQUERDA(E2)))-1

=VALOR(SE(E3>=1;(ESQUERDA(E3)))-1

=VALOR(SE(E4>=1;(ESQUERDA(E4)))-1

=VALOR(SE(E5>=1;(ESQUERDA(E5)))-1

=VALOR(SE(E6>=1;(ESQUERDA(E6)))-1

=VALOR(SE(E7>=1;(ESQUERDA(E7)))-1

=VALOR(SE(E8>=1;(ESQUERDA(E8)))-1

=VALOR(SE(E9>=1;(ESQUERDA(E9)))-1

=VALOR(SE(E10>=1;(ESQUERDA(E10))

=VALOR(SE(E11>=1;(ESQUERDA(E11))

=VALOR(SE(E12>=1;(ESQUERDA(E12))

=VALOR(SE(E13>=1;(ESQUERDA(E13))

=VALOR(SE(E14>=1;(ESQUERDA(E14))

=VALOR(SE(E15>=1;(ESQUERDA(E15))

=VALOR(SE(E16>=1;(ESQUERDA(E16))

=VALOR(SE(E17>=1;(ESQUERDA(E17))

=VALOR(SE(E18>=1;(ESQUERDA(E18))

=VALOR(SE(E19>=1;(ESQUERDA(E19))

=VALOR(SE(E20>=1;(ESQUERDA(E20))

=VALOR(SE(E21>=1;(ESQUERDA(E21))

=VALOR(SE(E22>=1;(ESQUERDA(E22))

Fonte: elaboração própria

5 - Nas Tabelas 2 a 30 são usados os dados referentes ao orçamento da reforma do Maracanã inicialmente entregue ao TCU para ilustrar a metodologia apresentada. Esses dados foram fornecidos pela Secretaria de Obras do TCU.

A fórmula adotada no Excel para se encontrar o primeiro dígito de um número, por exemplo, com referência à célula E2, é:

=VALOR(SE(E2>=1;(ESQUERDA(E2));-1))

Em que "E" representa a coluna e "2" se refere à linha do valor de onde se quer extrair o primeiro dígito. Essa fórmula desconsidera os valores inferiores a um⁶.

Ela deve ser aplicada a todos os dados, para então se descobrir quantas vezes cada um dos nove possíveis primeiros dígitos aparece na planilha orçamentária.

A fórmula do Excel utilizada para fazer a contagem de cada dígito é:

=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H3)

Em que, nesse exemplo (Tabela 3), "F" é a coluna da planilha onde foram identificados os primeiros dígitos e feita suas contagens; "2" é a primeira linha da planilha contendo o dado; "1029" é a última linha; e "H3" é a célula da tabela contendo o primeiro dígito para o qual se quer fazer a contagem. Dessa forma, a coluna "I" indica o resultado da contagem dos dígitos correspondentes à coluna "H".

TABELA 3 - Contagem dos primeiros dígitos.

	D	E	F	G	H	I
ios)	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	1º DÍGITO		Dígito	Cont.
	256.714.917,00	256.714.917,00	2			
	48.844.340,89	48.844.340,89	4		1	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H3)
	32.863.882,27	32.863.882,27	3		2	168
	25.518.649,48	25.518.649,48	2		3	134
	22.904.212,57	22.904.212,57	2		4	95
	21.439.722,66	21.439.722,66	2		5	84
	20.206.546,09	20.206.546,09	2		6	56
	19.081.957,09	19.081.957,09	1		7	67
	18.600.382,98	18.600.382,98	1		8	49
	17.544.505,41	17.544.505,41	1		9	51
	152,47	13.736.116,83	1			

Dígito	Cont.
1	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H3)
2	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H4)
3	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H5)
4	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H6)
5	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H7)
6	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H8)
7	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H9)
8	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H10)
9	=CONT.SE(\$F\$2:\$F\$1029;H11)

Fonte: elaboração própria

Para calcular a frequência de cada dígito, deve-se dividir os valores da coluna de contagem "I" pela quantidade total de serviços da planilha.

Por exemplo, de acordo com a Tabela 3, para o primeiro dígito 1 contaram-se 324 repetições no banco de dados. É necessário dividir esse valor pela quantidade total de itens, que, neste exemplo, é 1.028. O resultado indica a frequência relativa com que o dígito 1 aparece, que é 0,315, conforme pode ser observado na Tabela 4, a seguir:

6 - Como os dados inferiores a 1 são desconsiderados do teste, a fórmula não retorna um primeiro dígito válido (números de 1 a 9), mas sim, traz como resultado o valor de -1, o qual não é computado na contagem dos dígitos. Esse valor é simbólico. Poderiam ser adotados outros valores diferentes que não representassem resultados válidos para o Teste do Primeiro Dígito.

TABELA 4 – Frequências dos primeiros dígitos dos dados analisados.

E	F	G	H	I	J	H	I	J
CUSTO TOTAL	1º DÍGITO		T€					
256.714.917,00	2		Dígito	Cont.	Frequência	Dígito	Cont.	Frequência
48.844.340,89	4		1	324	0,315	1	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I3/\$I\$13
32.863.882,27	3		2	168	0,163	2	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I4/\$I\$13
25.518.649,48	2		3	134	0,130	3	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I5/\$I\$13
22.904.212,57	2		4	95	0,092	4	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I6/\$I\$13
21.439.722,66	2		5	84	0,082	5	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I7/\$I\$13
20.206.546,09	2		6	56	0,054	6	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I8/\$I\$13
19.081.957,09	1		7	67	0,065	7	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I9/\$I\$13
18.600.382,98	1		8	49	0,048	8	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I10/\$I\$13
17.544.505,41	1		9	51	0,050	9	=CONT.SE(\$F\$2:\$	=I11/\$I\$13
13.736.116,83	1							
11.920.282,97	1		N	1028		N	=SOMA(I3:I12)	

Fonte: elaboração própria

Para se encontrar o número total de itens “N”, é preciso somar os resultados obtidos na contagem para cada primeiro dígito. Neste exemplo (Tabela 4), o resultado da soma (I3:I12) foi trazido na célula I13.

Para facilitar o cálculo das frequências, divide-se cada valor das células referentes aos resultados da contagem (neste exemplo I3 a I12) por “N”, cuja célula (I13) pode ser fixada (\$I\$13).

Ao se fazer essa operação para cada um dos nove primeiros dígitos, deve-se comparar os resultados com as frequências estabelecidas pela Lei de Benford (Tabelas 5), apurando as possíveis diferenças (Tabela 6) entre os valores.

A fórmula para o cálculo das frequências esperadas de cada primeiro dígito, de acordo com a Lei de Benford é:

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

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

TABELA 5 - Frequências dos primeiros dígitos, calculadas segundo a Lei de 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%

Fonte: elaboração própria

TABELA 6 – Cálculos para o Teste do Primeiro Dígito

Dígito	Cont.	Frequência	Benford	Diferença	Frequência	Benford	Diferença
1	324	0,315	0,301	0,014	=I3/\$I\$13	0,301	=J3-K3
2	168	0,163	0,176	-0,013	=I4/\$I\$13	0,176	=J4-K4
3	134	0,130	0,125	0,005	=I5/\$I\$13	0,125	=J5-K5
4	95	0,092	0,097	-0,005	=I6/\$I\$13	0,097	=J6-K6
5	84	0,082	0,079	0,003	=I7/\$I\$13	0,079	=J7-K7
6	56	0,054	0,067	-0,013	=I8/\$I\$13	0,067	=J8-K8
7	67	0,065	0,058	0,007	=I9/\$I\$13	0,058	=J9-K9
8	49	0,048	0,051	-0,003	=I10/\$I\$13	0,051	=J10-K10
9	51	0,050	0,046	0,004	=I11/\$I\$13	0,046	=J11-K11
N	1028						

Fonte: elaboração própria

Os testes estatísticos realizados para mensurar se as diferenças encontradas são significativas a ponto de indicar uma desconformidade com a Lei são o Teste Z, Qui-Quadrado e Média dos Desvios Absolutos, os quais serão detalhados na seção “Noções Preliminares de Estatística”.

Teste dos Dois Primeiros Dígitos

Enquanto o Teste do Primeiro Dígito considera nove possíveis primeiros dígitos, o Teste dos Dois Primeiros Dígitos possui 90 prováveis categorias, variando de 10 a 99. Esse teste divide o banco de dados em amostras de auditoria bem menores que o teste anterior, sendo, portanto, mais preciso ao apontar indícios de manipulação.

A fórmula para se obter os dois primeiros dígitos de um número no Excel pode ser visualizada na Tabela 7. Foram desconsiderados os valores inferiores a dez⁶.

TABELA 7 - Identificação dos dois primeiros dígitos dos dados testados.

	A	B	C	E	G	
1	DESCRICAO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL	DOIS PRIMEIROS DÍGITOS	
2	SISTEMA DE COBERTURA TENSIONADA,	UN	1,00	256.714.917,00	25	=VALOR(SE(E2>=10;(ESQUERDA(E2;2));-1))
3	SISTEMA DE AR CONDICIONADO CENTR,	UN	1,00	48.844.340,89	48	=VALOR(SE(E3>=10;(ESQUERDA(E3;2));-1))
4	ADMINISTRACAO LOCAL P/OBRAS DE RE	UN	1,00	32.863.882,27	32	=VALOR(SE(E4>=10;(ESQUERDA(E4;2));-1))
5	MOBILIARIO ESPORTIVO, E MOBILIARIO	UN	1,00	25.518.649,48	25	=VALOR(SE(E5>=10;(ESQUERDA(E5;2));-1))
6	RECUPERACAO DA ESTRUTURA DO ESTA	UN	1,00	22.904.212,57	22	=VALOR(SE(E6>=10;(ESQUERDA(E6;2));-1))
7	DEMOLICAO DE COBERTURA EM CONCR	UN	1,00	21.439.722,66	21	=VALOR(SE(E7>=10;(ESQUERDA(E7;2));-1))
8	SISTEMA DE PAINEL INFORMATIVOS,DI	UN	1,00	20.206.546,09	20	=VALOR(SE(E8>=10;(ESQUERDA(E8;2));-1))
9	SERVICOS (CABLGENS,CONECTORIZAC	UN	1,00	19.081.957,09	19	=VALOR(SE(E9>=10;(ESQUERDA(E9;2));-1))
10	TRANSFORMADORES,GRUPOS GERADOI	UN	1,00	18.600.382,98	18	=VALOR(SE(E10>=10;(ESQUERDA(E10;2));-1))
11	SISTEMA DE CONTROLE DE ACESSO REST	UN	1,00	17.544.505,41	17	=VALOR(SE(E11>=10;(ESQUERDA(E11;2));-1))
12	PASTILHA DE PORCELANA FORMATO PA	M2	90.090,62	13.736.116,83	13	=VALOR(SE(E12>=10;(ESQUERDA(E12;2));-1))
13	ESQUADRIAS DE ALUMINIO PARA O EST.	UN	1,00	11.920.282,97	11	=VALOR(SE(E13>=10;(ESQUERDA(E13;2));-1))
14	PRE MOLDADO EM CONCRETO ARMADC	UN	1,00	11.771.177,22	11	=VALOR(SE(E14>=10;(ESQUERDA(E14;2));-1))
15	DESMONTAGEM DE ESTRUTURAS METAL	KG	1.416.015,19	11.767.086,22	11	=VALOR(SE(E15>=10;(ESQUERDA(E15;2));-1))
16	SISTEMA DE SONORIZACAO (AREAS INTI	UN	1,00	11.512.097,16	11	=VALOR(SE(E16>=10;(ESQUERDA(E16;2));-1))

Fonte: elaboração própria

=VALOR(SE(E2>=10;(ESQUERDA(E2;2));-1))

Em que “E” representa a coluna e “2” se refere à linha do valor de onde se quer extrair os dois primeiros dígitos.

É necessário aplicar essa fórmula para todos os dados testados do banco de dados, para então se descobrir quantas vezes cada um dos noventa possíveis dois primeiros dígitos aparece na planilha orçamentária, conforme pode ser observado na Tabela 8, a seguir:

6 - De forma similar ao Teste do Primeiro Dígito, como, neste teste, os dados inferiores a 10 são desconsiderados, a fórmula não retorna uma categoria de dois primeiros dígitos válida (números de 10 a 99), mas sim, traz como resultado o valor de -1, o qual não é computado na contagem dos dígitos. Esse valor é simbólico. Poderiam ser adotados outros valores diferentes que não representassem resultados válidos para o Teste dos Dois Primeiros Dígitos.

TABELA 8 – Contagem dos dois primeiros dígitos.

1	DESCRICAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL	DOIS PRIMEIROS DÍGITOS			
2	SISTEMA DE COBERTURA TENSIONADA,	UN	1,00	256.714.917,00	25			
3	SISTEMA DE AR CONDICIONADO CENTR,	UN	1,00	48.844.340,89	48			
4	ADMINISTRAÇÃO LOCAL P/OBRAS DE RE	UN	1,00	32.863.882,27	32			
5	MOBILIÁRIO ESPORÁDICO, E MOBILIÁRIO	UN	1,00	25.518.649,48	25			
6	RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DO ESTA	UN	1,00	22.904.212,57	22			
7	DEMOLIÇÃO DE COBERTURA EM CONCR	UN	1,00	21.439.722,66	21			
8	SISTEMA DE PAINÉIS INFORMATIVOS,DI	UN	1,00	20.206.546,09	20			
9	SERVIÇOS (CABLAGENS, CONECTORIZAC	UN	1,00	19.081.957,09	19			
10	TRANSFORMADORES, GRUPOS GERADOI	UN	1,00	18.600.382,98	18			
11	SISTEMA DE CONTROLE DE ACESSO REST	UN	1,00	17.544.505,41	17			
12	PASTILHA DE PORCELANA FORMATO PA	M2	90.090,62	13.736.116,83	13			
13	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO PARA O EST	UN	1,00	11.920.282,97	11			
14	PRE MOLDADO EM CONCRETO ARMADCO	UN	1,00	11.771.177,22	11			

Dígito	Cont.
10	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q3)
11	36
12	26
13	35
14	35
15	22
16	29
17	29
18	21
19	25
20	23
21	26

Fonte: elaboração própria

A fórmula do Excel utilizada para fazer a contagem de cada dígito é:

=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q3)

Em que, nesse exemplo (Tabela 8), "G" é a coluna da planilha onde foi feita a contagem dos dois primeiros dígitos; "2" é a primeira linha da planilha contendo custo total; "1029" é a última linha; e "Q3" é a célula da tabela contendo os dois primeiros dígitos para os quais se quer fazer a contagem.

Para o cálculo da frequência de cada dígito, deve-se dividir os valores da coluna contagem "R" por "N". Por exemplo, de acordo com a Tabela 8, para os dois primeiros dígitos 10 foram contadas 66 repetições no banco de dados. Precisa-se, então, dividir esse valor pela quantidade total de itens. Neste exemplo, para o Teste do Primeiro Dígito, "N" era igual a 1.028. Contudo, não foram considerados para o presente teste os valores inferiores a 10, razão pela qual "N" passa a ser igual a 1.024 itens.

Para se encontrar o número total de itens "N" no Teste dos Dois Primeiros Dígitos, é preciso somar os resultados obtidos na contagem para cada categoria de dois primeiros dígitos. Neste exemplo (Tabela 9), o resultado da soma (R3:R92) foi trazido na célula R94. Para economizar espaço, grande parte das linhas do Excel da Tabela 9 foram ocultadas.

TABELA 9 – Frequências dos dois primeiros dígitos dos dados analisados.

F	G	Q	R	S
CUSTO TOTAL	DOIS PRIMEIROS DÍGITOS	Teste de		
		Dígito	Cont.	Frequência
256.714.917,00	25	10	66	0,064
48.844.340,89	48	11	36	0,035
32.863.882,27	32	12	26	0,025
25.518.649,48	25	13	35	0,034
22.904.212,57	22	14	35	0,034
21.439.722,66	21	15	22	0,021
20.206.546,09	20	16	29	0,028
19.081.957,09	19	17	29	0,028
18.600.382,98	18	18	21	0,021
17.544.505,41	17	19	25	0,024
917.501,76	91	20	23	0,022
890.631,84	89	21	26	0,025
888.614,82	88	22	22	0,021
886.679,64	88	23	21	0,020
817.539,54	81	24	20	0,019
793.242,26	79	25	26	0,025
767.984,24	76	26	26	0,025
753.615,24	75	27	26	0,025
	N		1024	

Dígito	Cont.	Frequência
10	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q3)	=R3/SR\$94
11	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q4)	=R4/SR\$94
12	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q5)	=R5/SR\$94
13	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q6)	=R6/SR\$94
14	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q7)	=R7/SR\$94
15	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q8)	=R8/SR\$94
16	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q9)	=R9/SR\$94
17	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q10)	=R10/SR\$94
18	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q11)	=R11/SR\$94
94	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q87)	=R87/SR\$94
95	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q88)	=R88/SR\$94
96	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q89)	=R89/SR\$94
97	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q90)	=R90/SR\$94
98	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q91)	=R91/SR\$94
99	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q92)	=R92/SR\$94
N	=SOMA(R3:R92)	

Fonte: elaboração própria

Para facilitar o cálculo das frequências, divide-se cada valor das células referentes aos resultados da contagem (neste exemplo, R3 a R92) por "N", cuja célula (R94) pode ser fixada (\$R\$94).

O resultado fornece, por exemplo, a frequência relativa com que os dois primeiros dígitos 10 aparecem, que é 0,041.

Ao se fazer essa operação para cada uma das noventa categorias, é necessário comparar os resultados com as frequências estabelecidas pela Lei de Benford, apurando as possíveis diferenças (Tabela 11) entre os valores.

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 de Benford é (Tabela 10):

$$\text{Prob}(D_1D_2 = d_1d_2) = \log \left(1 + \frac{1}{d_1 d_2} \right)$$

Sendo: $D_1D_2 =$ Dois primeiros dígitos e $d_1d_2 \in \{10, 11, \dots, 99\}$

TABELA 10

Fórmulas para o cálculo das frequências dos dois primeiros dígitos, segundo a Lei de Benford.

Dígito	Cont.	Frequência	Benford
10	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q3)	=R3/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q3)
11	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q4)	=R4/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q4)
12	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q5)	=R5/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q5)
13	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q6)	=R6/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q6)
14	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q7)	=R7/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q7)
89	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q82)	=R82/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q82)
90	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q83)	=R83/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q83)
91	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q84)	=R84/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q84)
92	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q85)	=R85/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q85)
93	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q86)	=R86/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q86)
94	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q87)	=R87/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q87)
95	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q88)	=R88/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q88)
96	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q89)	=R89/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q89)
97	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q90)	=R90/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q90)
98	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q91)	=R91/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q91)
99	=CONT.SE(\$G\$2:\$G\$1029;Q92)	=R92/\$R\$94	=LOG10(1+1/Q92)
N	=SOMA(R3:R92)		

Fonte: elaboração própria

TABELA 11 – Preparação para o Teste dos Dois Primeiros Dígitos

TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS				
DÍGITOS	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	BENFORD	DIFERENÇA
10	66	0,064	0,041	0,023
11	36	0,035	0,038	-0,003
12	26	0,025	0,035	-0,009
...
96	11	0,011	0,005	0,006
97	5	0,005	0,004	0,000
98	1	0,001	0,004	-0,003
99	5	0,005	0,004	0,001

Fonte: elaboração própria

Assim como no Teste do Primeiro Dígitos, os testes estatísticos realizados para mensurar se as diferenças encontradas são significativas a ponto de indicar uma desconformidade com a Lei são o Teste Z, Qui-Quadrado e Média dos Desvios Absolutos, os quais serão detalhados na seção “Noções Preliminares de Estatística”.

Teste da Soma

Nigrini (2012), ao simular uma distribuição de valores numéricos seguindo a Lei de Benford, descobriu que as somas dos valores absolutos dos itens pertencentes a cada grupo de primeiros dígitos 10, 11, 12,..., 99 resultavam em valores aproximadamente iguais, correspondendo a $1/90 = 0,011$ do somatório de todos os itens analisados.

Por exemplo, se o somatório de todos os custos totais de uma planilha fosse R\$ 9.000.000,00, cada uma das 90 categorias de dois primeiros dígitos (10, 11, 12,...,99) deveria corresponder a aproximadamente R\$ 100.000,00 ($R\$ 9.000.000,00 \div 90$), quando somados os custos totais dos serviços pertencentes a ela.

O mesmo se aplica na análise dos custos unitários e das quantidades, considerando, nesses casos, que a referência do teste é o somatório dos custos unitários (valores maiores ou iguais a 10), ou o somatório das quantidades (valores maiores ou iguais a 10), respectivamente. Isso porque, nos testes cuja análise envolve dois dígitos, optou-se por excluir os valores inferiores a 10.

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

Apesar de possuir diferenças em relação à Curva ABC, a qual considera apenas os itens mais caros, o Teste da Soma também traz para a análise os serviços de valor relevante, mas, em vez de verificar a importância financeira do item individualmente, ele examina a importância do grupo de dois primeiros dígitos dentro do orçamento.

TABELA 12 – Soma dos dados dentro de cada categoria de dois primeiros dígitos.

=SOMASE(\$G\$2:\$G\$1029;I3;\$E\$2:\$E\$1029)									
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	1º DÍGITO	DOIS-PRIMEIROS DÍGITOS	Teste da Soma					
				Dígitos	Soma	Proporção	Benford	Diferença	
256.714.917,00	256.714.917,00	2	25						
48.844.340,89	48.844.340,89	4	48		10	=SOMASE(\$G\$2:\$G\$1029;I3;\$E\$2:\$E\$1029)	0,012	0,011	0,001
32.863.882,27	32.863.882,27	3	32		11	49.449.162,77	0,062	0,011	0,051
25.518.649,48	25.518.649,48	2	25		12	5.645.576,04	0,007	0,011	-0,004
22.904.212,57	22.904.212,57	2	22		13	21.621.601,43	0,027	0,011	0,016
21.439.722,66	21.439.722,66	2	21		14	9.289.157,36	0,012	0,011	0,001
20.206.546,09	20.206.546,09	2	20		15	4.118.052,96	0,005	0,011	-0,006
19.081.957,09	19.081.957,09	1	19		16	7.067.532,30	0,009	0,011	-0,002
18.600.382,98	18.600.382,98	1	18		17	22.067.204,84	0,027	0,011	0,016
17.544.505,41	17.544.505,41	1	17		18	19.805.126,11	0,025	0,011	0,014
11.920.282,97	11.920.282,97	1	11		19	23.554.834,63	0,029	0,011	0,018

Fonte: elaboração própria

A fórmula do Excel utilizada para fazer a soma dos custos totais de todos os serviços de uma específica categoria de dois primeiros dígitos é:

=SOMASE(\$G\$2:\$G\$1029;I3;\$E\$2:\$E\$1029)

Em que, nesse exemplo (Tabela 12), “G” é a coluna da planilha onde foi feita a contagem dos dois primeiros dígitos; “2” é a primeira linha da planilha contendo custo total; “1029” é a última linha; “I3” é a célula da tabela contendo os dois primeiros dígitos para os quais se quer fazer a contagem (nesse exemplo é 10); e “E” é a coluna contendo os custos totais de cada serviço.

Deve-se aplicar essa fórmula para todas as categorias de dois primeiros dígitos, para que sejam obtidos os valores da coluna soma, ilustrada na tabela a seguir.

TABELA 13 – Resultados do Teste da Soma

TESTE DA SOMA				
DÍGITOS	SOMA	PROPORÇÃO	BENFORD	DIFERENÇA
10	9.783.807,85	0,012	0,011	0,001
11	49.449.162,77	0,062	0,011	0,051
12	5.645.576,04	0,007	0,011	-0,004
...
96	1.195.660,63	0,001	0,011	-0,010
97	1.100.202,49	0,001	0,011	-0,010
98	987.081,60	0,001	0,011	-0,010
99	10.086.140,22	0,013	0,011	0,002
Soma total	803.349.444,88			

Fonte: elaboração própria

Para o cálculo da proporção de cada dígito neste teste, deve-se dividir os valores da coluna "soma" pela "soma total" (neste exemplo, o somatório de todos os custos totais da planilha = 803.349.444,88).

Por exemplo, de acordo com a Tabela 13, para os dois primeiros dígitos 10 foi obtida a soma de 9.783.807,85. É necessário, então, dividir esse valor por 803.349.444,88. O resultado fornece a proporção de 0,012.

Ao se fazer essa operação para cada uma das noventa categorias, deve-se comparar os resultados com os parâmetros estabelecidos pela Lei de Benford, apurando as possíveis diferenças entre os valores. Conforme já explicado anteriormente, segundo essa Lei, todas as proporções devem ser próximas de $1/90 = 0,011$.

Para esse teste, não são aplicadas ferramentas estatísticas, diferentemente dos casos anteriores. Os critérios de análise estão explicitados na seção "*Fases da Metodologia*".

IV – NOÇÕES PRELIMINARES DE ESTATÍSTICA

Significância estatística

Uma análise estatística estabelece se os resultados obtidos possuem significância estatística, de acordo com certos limites pré-determinados. Quando é formulada uma hipótese sobre determinada característica de uma população, a amostra dela obtida pode possuir diferenças decorrentes de flutuações normais ou as diferenças encontradas podem representar um efeito real, não podendo ser atribuídas ao acaso. Na primeira situação, as diferenças encontradas não são estatisticamente significativas e no segundo são estatisticamente significativas.

Quando é testada a conformidade de um banco de dados à Lei de Benford, é preciso avaliar se as diferenças observadas entre as frequências dos dígitos (tanto no Teste do Primeiro Dígito como no Teste dos Dois Primeiros Dígitos) de uma planilha orçamentária e as estabelecidas por essa metodologia são estatisticamente relevantes, a ponto de revelar uma desconformidade dos dados.

O nível de significância é o limite que se adota como base para afirmar que um certo desvio é decorrente do acaso ou não. Usualmente são utilizados para essa aferição os níveis 0,10, 0,05 e 0,01, ou seja, 10%, 5% e 1% respectivamente. Ele deve ser estabelecido antes da realização do experimento e corresponde ao risco que se corre de rejeitar uma hipótese verdadeira sobre o comportamento da amostra ou aceitar uma hipótese falsa sobre esse comportamento.

Graus de liberdade

Os graus de liberdade correspondem ao número de classes de resultados menos o número de parâmetros que se deseja estimar. No que diz respeito aos testes aqui considerados, o número de graus de liberdade pode ser calculado como o número de classes de dígitos menos 1.

Por exemplo, no Teste do Primeiro Dígito têm-se 9 possíveis categorias de primeiros dígitos. O número de graus de liberdade é, nessa situação, $9 - 1 = 8$, pois $GL = n - 1$, em que $n =$ número de classes.

Já no caso do Teste dos Dois Primeiros Dígitos, como existem 90 categorias de dois primeiros dígitos, o número de graus de liberdade é $90 - 1 = 89$.

Teste de hipóteses

Ao se realizar um teste, é necessário estabelecer uma hipótese nula e uma alternativa, sendo ambas antagônicas. Nesse caso, a hipótese nula (H_0) é tida como verdadeira até que evidências estatísticas indiquem o contrário.

Pode se tratar de uma afirmação quanto a um parâmetro que é propriedade de uma população (média, variância, desvio padrão, por exemplo) e, como é impossível observar toda a população, o teste é baseado na verificação de uma amostra aleatória dela retirada.

Também é comum que a hipótese nula consista em se afirmar que os parâmetros ou características matemáticas de duas ou mais populações são idênticos. No caso desta cartilha, os testes são realizados visando verificar se as frequências dos primeiros dígitos de uma planilha orçamentária são aderentes às frequências estabelecidas pela Lei de Benford, sendo essa a hipótese nula.

A hipótese alternativa (H_1) deve ser contrária à hipótese nula. Assim, quando se aceita H_0 também se rejeita H_1 e vice-versa.

Existem cinco etapas que devem ser seguidas para a realização de um teste de hipóteses:

- 1 - Identificar o teste estatístico apropriado para os dados que se deseja analisar, depois de estabelecido o nível de significância. O teste produz um valor numérico a partir dos valores dos próprios dados que serão testados (médias, correlações, frequências, tendências, etc., por exemplo);
- 2 - Definir a hipótese nula (H_0). É comum escolher como hipótese nula aquela que se deseja rejeitar e provar o contrário. No caso da metodologia baseada na Lei de Benford, a hipótese nula é que os dados apresentam conformidade com esta Lei, no que se refere às frequências dos primeiros dígitos;
- 3 - Definir a hipótese alternativa (H_1): H_0 não é verdadeira. Nesta cartilha, corresponde aos dados não se conformarem à Lei de Benford;
- 4 - Obter a distribuição nula, que é simplesmente a distribuição amostral do teste estatístico supondo que a hipótese nula seja verdadeira (frequências dos primeiros dígitos da Lei de Benford);
- 5 - Comparar a estatística observada com a distribuição nula. Caso o valor obtido esteja em uma região suficientemente improvável da distribuição nula, então H_0 é rejeitada como improvável de ser verdadeira. Se, por outro lado, o valor obtido estiver em uma região provável da distribuição nula, então H_0 não pode ser rejeitada. Cabe ressaltar que aceitar H_0 não significa que a hipótese nula seja verdadeira, mas, apenas que não existe evidência suficiente para rejeitá-la.

Erros estatísticos

Quando uma decisão é tomada a favor ou contra uma hipótese, existem exatamente dois tipos de erros estatísticos que podem ser cometidos:

Erro do tipo 1: rejeita-se H_0 , quando ela é verdadeira;
Erro do tipo 2: aceita-se H_0 , quando ela é falsa.

O valor máximo estabelecido para a ocorrência do erro do tipo 1 é que determina se a hipótese nula é aceita ou rejeitada e deve ser escolhido antes da realização do teste. O valor mais frequentemente adotado é o nível de significância 0,05.

Em suma, para aplicar um teste de significância, cria-se uma hipótese que, geralmente, é a de igualdade (hipótese nula). O teste é realizado para tentar refutar essa hipótese. Contudo, por erros amostrais pode-se incorrer em erros de tomada de decisão, como ilustrado na Tabela 14:

TABELA 14 - Erros estatísticos.

	SE A HIPÓTESE NULA FOR VERDADEIRA	SE A HIPÓTESE NULA FOR FALSA
ACEITA-SE A HIPÓTESE NULA	Corretamente, aceita-se a hipótese verdadeira	Erro do tipo II: Aceita-se uma hipótese nula que é falsa
REJEITA-SE A HIPÓTESE NULA	Erro do tipo I: Rejeita-se uma hipótese nula que é verdadeira	Corretamente, rejeita-se a hipótese falsa

Fonte: elaboração própria

A probabilidade p de se rejeitar H_0 quando ela é verdadeira corresponde ao nível de significância (alfa).

Teste Z

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

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

Em que PE denota a proporção esperada, PR é a proporção real, e n é o tamanho do banco 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.

TABELA 15 - Níveis usuais de significância adotados para o Teste Z e seus limiares.

SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA	LIMIAR DO TESTE Z
0,01	2,57
0,05	1,96
0,10	1,64

Fonte: elaboração própria

Nigrini (2012) utiliza para esse teste um nível de significância de 0,05, cujo limiar é 1,96. Qualquer resultado acima do limiar mostra uma desconformidade com a Lei de Benford. Também podem ser adotados outros níveis de significância; os mais usuais encontram-se exemplificados na Tabela 15.

Note que existem 9 aplicações desse cálculo para o Teste do Primeiro Dígito e 90 para o Teste dos Dois Primeiros Dígitos. 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 faz com que, à medida que o volume de dados aumenta, o resultado do Teste Z, para qualquer discrepância, torna-se mais alto. Isso significa que uma discrepância alta em um banco de dados pequeno pode não ser identificada como significativa pelo teste, e uma discrepância pequena em um banco de dados grande pode ser tida como significativa a um nível de 0,01.

A tabela a seguir, com os mesmos dados da Tabela 6 mostrada anteriormente (Teste do Primeiro Dígito), exibe os resultados do Teste Z na 6ª coluna.

TABELA 16 – Teste Z aplicado ao Teste do Primeiro Dígito.

TESTE DO PRIMEIRO DÍGITO					
1º DÍGITO	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	BENFORD	DIFERENÇA	TESTE-Z
1	324	0,315	0,301	0,014	0,957
2	168	0,163	0,176	-0,013	1,018
3	134	0,130	0,125	0,005	0,472
4	95	0,092	0,097	-0,005	0,444
5	84	0,082	0,079	0,003	0,265
6	56	0,054	0,067	-0,013	1,544
7	67	0,065	0,058	0,007	0,917
8	49	0,048	0,051	-0,003	0,415
9	51	0,050	0,046	0,004	0,478
N	1028				

Fonte: elaboração própria

No Excel, as fórmulas disponíveis para o Teste Z não são adaptáveis a essa modalidade de teste adotada pela Lei de Benford. Por isso, é recomendável que a fórmula apresentada nesta seção seja digitada no Excel. Neste exemplo, PE se encontra na coluna "Benford", PR está na coluna "frequência" e $n = 1028$.

Como é possível observar, nenhum dos resultados calculados na coluna "Teste Z" ultrapassou os limiares de 1,64, 1,96 e 2,57 para os níveis de significância de 0,10, 0,05 e 0,01 respectivamente. Isso mostra que, para qualquer nível adotado, o Teste Z apresentou uma conformidade e não apontou indícios de manipulação para a constituição de uma amostra de auditoria. Contudo, o Teste do Primeiro Dígito é muito superficial na análise e é necessário, portanto, aplicar o Teste dos Dois Primeiros Dígitos para um exame mais rigoroso. Os limiares são os mesmos para ambos os testes.

Na tabela a seguir, para o Teste dos Dois Primeiros Dígitos, foram incluídos apenas os valores detectados pelo Teste Z, a partir do limiar de 1,64 para o nível de significância de 0,10.

TABELA 17 – Teste Z aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos.

TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS					
DÍGITOS	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	BENFORD	DIFERENÇA	TESTE-Z
10	66	0,064	0,041	0,023	3,626
23	11	0,011	0,018	-0,008	1,723
27	9	0,009	0,016	-0,007	1,673
41	4	0,004	0,010	-0,007	1,909
56	14	0,014	0,008	0,006	2,014
57	1	0,001	0,008	-0,007	2,250
96	11	0,011	0,005	0,006	2,751
N	1024				

Fonte: elaboração própria

Caso fosse adotado o nível de 0,05 (1,96), haveria apenas 4 categorias de dois primeiros dígitos identificadas pelo teste. Já para o nível de 0,01 (2,57), haveria apenas o 10 e o 96 apontados como críticos, ilustrando a tendência natural de redução da amostra de itens eventualmente desconformes com a Lei de Benford, à medida que se exige uma menor significância estatística. Cabe ressaltar que para esse teste o $n = 1024$, suficientemente grande para permitir a identificação de pequenas discrepâncias mesmo a um baixo nível de significância.

Teste Qui-Quadrado (QQ)

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:

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

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, por exemplo, 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. Esse valor pode ser obtido por meio das fórmulas "INV.QUIQUA.CD(0,05;89)" ou "INV.QUI(0,05;89)" do Excel, em que o primeiro critério é o nível de significância e o segundo é o número de graus de liberdade.

Por exemplo, para 89 graus de liberdade e um nível de significância de 0.05, o valor crítico é 112,022. Caso o valor calculado exceda o valor crítico, a conformidade com a Lei de Benford deve ser rejeitada.

TABELA 18 – Limiares adotados para o Teste QQ aplicados aos Testes do Primeiro Dígito e dos Dois Primeiros Dígitos.

SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA	LIMIARES - TESTE DO PRIMEIRO DÍGITO	LIMIARES - TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS
0,01	20,090	122,942
0,05	15,507	112,022
0,10	13,362	106,469

Fonte: elaboração própria

A maioria dos livros de estatística possui tabela contendo valores críticos para esse teste (Tabela 18). Essa tabela também pode ser obtida no *Engineering Statistics Handbook* (Disponível em: <http://itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3674.htm>).

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.

Em geral, altos valores qui-quadrados para os vários dígitos estão associados a altos Z estatísticos, o mesmo se aplicando aos baixos valores.

TABELA 19 – Teste QQ aplicado ao Teste do Primeiro Dígito.

TESTE DO PRIMEIRO DÍGITO						
1º DÍGITO	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	BENFORD	DIFERENÇA	TESTE-Z	QQ
1	324	0,315	0,301	0,014	0,957	0,686
2	168	0,163	0,176	-0,013	1,018	0,924
3	134	0,130	0,125	0,005	0,472	0,235
4	95	0,092	0,097	-0,005	0,444	0,223
5	84	0,082	0,079	0,003	0,265	0,096
6	56	0,054	0,067	-0,013	1,544	2,407
7	67	0,065	0,058	0,007	0,917	0,912
8	49	0,048	0,051	-0,003	0,415	0,224
9	51	0,050	0,046	0,004	0,478	0,291
N	1028				Total	5,99

Fonte: elaboração própria

Observando a Tabela 19, verificou-se que o somatório dos valores qui-quadrados para o Teste do Primeiro Dígito resultou em 5,99, que é bem inferior ao valor crítico para quaisquer dos três níveis de significância adotados.

Isso mostra que o Teste Qui-Quadrado apresentou uma conformidade com a Lei de Benford. Entretanto, cabe ressaltar que uma conformidade não comprova a fidedignidade dos dados e, tampouco, uma desconformidade dos testes serve como prova inequívoca de manipulação.

A tabela a seguir ilustra o resultado do Teste Qui-Quadrado aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos. Para economizar espaço, não foram incluídas todas as categorias de dígitos.

TABELA 20 – Teste QQ aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos.

TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS						
Dígitos	Contagem	Frequência	Benford	Diferença	Teste-Z	QQ
10	66	0,064	0,041	0,023	3,626	13,156
11	36	0,035	0,038	-0,003	0,360	0,188
12	26	0,025	0,035	-0,009	1,552	2,587
...
96	11	0,011	0,005	0,006	2,751	8,864
97	5	0,005	0,004	0,000	-0,029	0,042
98	1	0,001	0,004	-0,003	1,422	2,736
99	5	0,005	0,004	0,001	0,014	0,063
N	1024				Total	93,424

Fonte: elaboração própria

Com base na Tabela 20, verifica-se que o somatório dos valores qui-quadrados para esse teste resultou em 93,424, que também é bem inferior ao valor crítico para quaisquer dos três níveis de significância adotados. Isso sugere uma conformidade com a Lei de Benford.

Tendo em vista os resultados do Teste Qui-Quadrado (QQ), não se pode rejeitar a hipótese nula (H_0) de que os dados se conformam com a Lei de Benford. Cabe ressaltar que aceitar H_0 não significa que a hipótese nula seja verdadeira, mas, apenas que não existe evidência suficiente para rejeitá-la.

Média dos Desvios Absolutos (MDA)

Esse teste, ao contrário dos anteriores, ignora o tamanho do banco de dados (não inclui n em sua fórmula). Por isso, ele é o mais indicado por Nigrini (2012) para extensos bancos de dados. Sua fórmula é apresentada a seguir:

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

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 a seguir:

TABELA 21 - 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	Desconformidade
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	Desconformidade

Fonte: Adaptada de Nigrini (2012)

TABELA 22 – Teste MDA aplicado ao Teste do Primeiro Dígito.

TESTE DO PRIMEIRO DÍGITO							
1º DÍGITO	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	BENFORD	DIFERENÇA	TESTE-Z	QQ	MDA
1	324	0,315	0,301	0,014	0,957	0,686	0,014
2	168	0,163	0,176	-0,013	1,018	0,924	0,013
3	134	0,130	0,125	0,005	0,472	0,235	0,005
4	95	0,092	0,097	-0,005	0,444	0,223	0,005
5	84	0,082	0,079	0,003	0,265	0,096	0,003
6	56	0,054	0,067	-0,013	1,544	2,407	0,013
7	67	0,065	0,058	0,007	0,917	0,912	0,007
8	49	0,048	0,051	-0,003	0,415	0,224	0,003
9	51	0,050	0,046	0,004	0,478	0,291	0,004
N	1028				Total	5,99	0,007

Fonte: elaboração própria

Em análise à Tabela 22, verificou-se que o resultado do MDA para o Teste do Primeiro Dígito resultou em 0,007, que, segundo os valores de referência adotados por Nigrini (2012), mostra uma conformidade aceitável dos dados. Esse teste não considera níveis de significância.

A Tabela 23 nos mostra o resultado da Média dos Desvios Absolutos aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos. Para economizar espaço, não foram incluídas todas as categorias de dígitos.

TABELA 23 – Teste MDA aplicado ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos.

TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS							
DÍGITOS	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	BENFORD	DIFERENÇA	TESTE-Z	QQ	MDA
10	66	0,064	0,041	0,023	3,626	13,156	0,023
11	36	0,035	0,038	-0,003	0,360	0,188	0,003
12	26	0,025	0,035	-0,009	1,552	2,587	0,009
...
96	11	0,011	0,005	0,006	2,751	8,864	0,006
97	5	0,005	0,004	0,000	-0,029	0,042	0,000
98	1	0,001	0,004	-0,003	1,422	2,736	0,003
99	5	0,005	0,004	0,001	0,014	0,063	0,001
N	1024				TOTAL	93,424	0,0025

Fonte: elaboração própria

O resultado do MDA para esse teste foi 0,0025, que, segundo os critérios adotados por Nigrini (2012), mostra uma desconformidade, cujo limiar é 0,0022.

Tendo em vista todos os testes estatísticos aplicados, verificou-se que, apesar de o Teste Z e do Teste Qui-Quadrado terem apresentado bons resultados, o MDA, para o Teste dos Dois Primeiros Dígitos, sinalizou uma desconformidade, ou seja, nesse caso rejeitou-se a hipótese nula de que os dados são aderentes à Lei de Benford.

V - ETAPAS DA APLICAÇÃO DA LEI DE BENFORD

Esta cartilha propõe um algoritmo com base na Lei de Benford para determinar a amostra a ser auditada.

O principal objetivo do algoritmo é selecionar uma amostra que contenha as observações que possuam a maior probabilidade de terem sido manipuladas, de acordo com os testes inspirados na Lei de Benford.

Cabe ressaltar que essa metodologia possui como limitação a exigência de que a planilha orçamentária contenha, no mínimo, 800 itens, já que, como os dados serão divididos em 90 grupos nos testes da Lei de Benford, um orçamento com poucos itens pode apresentar uma falsa desconformidade com essa Lei.

Primeiramente, definem-se os parâmetros básicos e é selecionada a primeira amostra de auditoria. Se o custo total da amostra já se aproximar do padrão estipulado inicialmente, então esta será a amostra final. Caso o valor total da amostra seja muito alto ou muito baixo, deve-se readequar, em primeiro lugar, os critérios de seleção do Teste da Soma para depois, se necessário, alterar o nível de confiança do Teste dos Dois Primeiros Dígitos. Nenhuma outra flexibilização deve ser permitida. Se a amostra final ainda assim continuar com o valor muito baixo, então o algoritmo não é capaz de selecionar itens suficientes com base exclusivamente no critério da Lei de Benford. Nesse caso, a amostra pode ser complementada com outro critério, tal como o custo dos serviços, da mesma forma adotada na metodologia da Curva ABC. A tabela a seguir detalha o algoritmo.

ETAPAS

TABELA 24 – Etapas de aplicação do algoritmo.

1ª ETAPA	<p>Definição dos parâmetros iniciais.</p> <p>Valor total do orçamento = T</p> <p>Variável a ser analisada: custo/preço total</p> <p>% do orçamento a ser examinado = 80%</p> <p>Nível de significância adotado no Teste dos Dois Primeiros Dígitos = 5%</p> <p>Limite mínimo para o resultado do Teste da Soma (coluna diferença) = 0,011</p> <p>Ajustes que podem ser realizados no limite mínimo (Teste da Soma) = +/-25% (1º ajuste; 0,01375/0,00825); +/-50% (2º ajuste; 0,0165/0,0055) e +/-75% (3º ajuste; 0,01975/0,00275)</p>
2ª ETAPA	<p>Teste dos Dois Primeiros Dígitos.</p> <p>(i) Aplicar o Teste dos Dois Primeiros Dígitos utilizando o critério de significância de 5%. Selecionar as categorias de dois primeiros dígitos que ultrapassem o valor crítico para o Teste Z (1,96). Avançar para a 3ª. Etapa (i).</p> <p>(ii) Aplicar o Teste dos Dois Primeiros Dígitos utilizando o critério de significância de 10% (aumentar o tamanho da amostra). Selecionar as categorias de dois primeiros dígitos que ultrapassem o valor crítico para o Teste Z (1,64). Avançar para a 3ª. Etapa (i).</p>
3ª ETAPA	<p>Teste da Soma.</p> <p>(i) Aplicar o Teste da Soma e selecionar todas as categorias de dois primeiros dígitos cujo resultado para a coluna diferença tenha ultrapassado 0,011. Avançar para a 4ª. Etapa.</p> <p>(ii) Aplicar o Teste da Soma e selecionar todas as categorias de dois primeiros dígitos cujo resultado para a coluna diferença tenha ultrapassado 0,00825 (1º ajuste), 0,0055 (2º ajuste) ou 0,00275 (3º ajuste; aumentar o tamanho da amostra). Avançar para a 4ª. Etapa.</p> <p>(iii) Aplicar o Teste da Soma e selecionar todas as categorias de dois primeiros dígitos cujo resultado para a coluna diferença tenha ultrapassado 0,01375 (1º ajuste), 0,0165 (2º ajuste) ou 0,0175 (3º ajuste; diminuir o tamanho da amostra). Avançar para a 4ª. Etapa.</p>
4ª ETAPA	<p>Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma.</p> <p>Selecionar as categorias de dígitos detectadas como críticas no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma. Realizar um confronto entre os testes para confirmar a criticidade dos dois primeiros dígitos selecionados, de modo a obter a amostra a ser auditada.</p>
5ª ETAPA	<p>Valor da amostra selecionada.</p> <p>Calcular o valor total da amostra na planilha orçamentária.</p>
6ª ETAPA	<p>Comparação da amostra com o valor total do orçamento.</p> <p>Verificar quanto a amostra selecionada representa em termos percentuais em relação ao valor total do orçamento.</p> <p>Se amostra = 80% (+/- 5%), então ir para a 7ª Etapa.</p> <p>Se amostra < 80%, então reduzir o limiar do Teste da Soma em 25%, 50% até 75% e ir para a 3ª Etapa (ii).</p> <p>Se amostra > 80%, então aumentar o limiar do Teste da Soma em 25%, 50% até 75% e ir para a 3ª Etapa (iii).</p> <p>Como último recurso, se a amostra continuar muito inferior a 80%, aumentar o nível de significância para 10% no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e retornar à 2ª Etapa (ii).</p>
7ª ETAPA	<p>Amostra de auditoria.</p> <p>Se for obtida uma amostra próxima ao percentual desejado em relação ao valor do orçamento (80%), tem-se a amostra final.</p>
8ª ETAPA	<p>Complementação da amostra adotando os critérios da Curva ABC</p> <p>Caso a metodologia baseada na Lei de Benford não seja capaz de identificar um número de categorias de dois primeiros dígitos suficientes para que os custos correspondentes se aproximem do percentual desejado, complementar a amostra adotando os critérios da Curva ABC.</p>

LEGENDA:

- (i) - Aplicação dos parâmetros básicos;
- (ii) - Aumento do tamanho da amostra de auditoria;
- (iii) - Redução do tamanho da amostra de auditoria.

1ª Etapa: definição dos parâmetros iniciais

O exemplo de aplicação do algoritmo adotado nesta cartilha incidiu sobre o orçamento da reforma do Maracanã inicialmente entregue ao TCU. Foram apresentados outros orçamentos posteriormente, pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, após a atuação da Corte de Contas, no intuito de reduzir o sobrepreço detectado na auditoria.

Qual é o valor total do orçamento?

O valor do orçamento é R\$ 931.885.382,19 com o BDI de 16% incluso, mas será adotado o valor de R\$ 803.349.467,41 sem o BDI.

Neste caso específico, esse percentual era uniforme para todos serviços, inclusive equipamentos. Dessa forma, sua inclusão não alteraria as frequências dos primeiros dígitos do banco de dados. Caso ele fosse diferenciado para serviços e equipamentos, deveria obrigatoriamente ser inserido nos dados.

Qual variável será analisada: quantidade, custo/preço unitário ou custo/preço total?

Neste exemplo, serão testados os custos totais (quantidades x custos unitários).

Cabe ressaltar que os itens idênticos da planilha orçamentária não devem ser agrupados, como ocorre na metodologia da Curva ABC.

Qual é o percentual do valor total do orçamento que deve ser examinado?

Ele será definido aqui em 80% para preservar o padrão adotado na metodologia da Curva ABC, mas outros padrões também podem ser utilizados. Tolerar-se uma variação de +/- 5% em cima desse percentual.

Qual é o nível de significância adotado no Teste dos Dois Primeiros Dígitos?

De acordo com Nigrini (2012), ele é inicialmente fixado em 5%.

Qual é o limite mínimo do resultado do Teste da Soma (coluna diferença), acima do qual os dois primeiros dígitos são considerados críticos?

Seguindo a proposta desta cartilha, ele é inicialmente fixado em 0,011, que corresponde a 100% do valor de referência da Lei de Benford para esse teste.

Qual ajuste deverá ser realizado no limite mínimo do Teste da Soma (0,011), para diminuir ou aumentar o rigor do teste, caso necessário?

Inicialmente, ele é fixado em 25%, podendo ser estendido para 50% em um segundo ajuste, até o limite de 75% em um terceiro ajuste, não se tolerando mais flexibilizações.

2ª Etapa: Teste dos Dois Primeiros Dígitos

O Teste dos Dois Primeiros Dígitos é aplicado adotando o nível de significância de 5% para os testes estatísticos.

Devem ser selecionadas as categorias de dois primeiros dígitos cujos resultados para o Teste Z superaram o valor crítico (1,96) para o nível de significância de 5%, como no exemplo da tabela a seguir:

TABELA 25 – Categorias de dígitos selecionadas no Teste dos Dois Primeiros Dígitos.

TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS					
DÍGITOS	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	BENFORD	DIFERENÇA	TESTE-Z (1,96)
10	66	0,064	0,041	0,023	3,626
56	14	0,014	0,008	0,006	2,014
57	1	0,001	0,008	-0,007	2,250
96	11	0,011	0,005	0,006	2,751

Fonte: elaboração própria

3ª Etapa: Teste da Soma

O Teste da Soma é aplicado e são selecionadas todas as categorias de dois primeiros dígitos cujos resultados para a coluna diferença sejam superiores a 0,011, como no exemplo da Tabela 26:

TABELA 26 – Categorias de dígitos selecionadas no Teste da Soma.

TESTE DA SOMA				
DÍGITOS	SOMA	PROPORÇÃO (P)	BENFORD	DIFERENÇA (P - 0,011)
11	49.449.162,77	0,062	0,011	0,051
13	21.621.601,43	0,027	0,011	0,016
17	22.067.204,84	0,027	0,011	0,016
18	19.805.126,11	0,025	0,011	0,014
19	23.554.834,63	0,029	0,011	0,018
20	24.616.301,13	0,031	0,011	0,020
21	26.959.600,97	0,034	0,011	0,023
22	27.809.166,60	0,035	0,011	0,024
25	282.627.128,73	0,352	0,011	0,341
32	36.623.266,22	0,046	0,011	0,035
48	59.124.527,96	0,074	0,011	0,063

Fonte: elaboração própria

4ª Etapa: confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma

Devem ser selecionadas as categorias de dígitos detectadas como críticas no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma. É realizado um confronto (Tabela 27) entre os testes para confirmar a criticidade dos dois primeiros dígitos selecionados, comparando o número de vezes em que eles se repetem na planilha (frequência), dada pelo Teste dos Dois Primeiros Dígitos, com a relevância financeira trazida pelo Teste da Soma (proporção). Os níveis de criticidade são mensurados de acordo com os critérios a seguir:

- 1 - Quando uma categoria de dois primeiros dígitos aparece como crítica em ambos os testes, esse é o maior nível de criticidade identificado por essa metodologia e, portanto, os serviços correspondentes devem ser priorizados na análise. No exemplo da tabela a seguir, não existem grupos de dígitos que apresentem esse nível de criticidade;
- 2 - Todos os grupos de dígitos detectados pelo Teste da Soma já entram automaticamente como críticos, em função de sua relevância financeira;
- 3 - Algumas categorias de dígitos, apesar de terem sido detectadas pelo Teste dos Dois Primeiros Dígitos, possuem baixa relevância financeira, como no caso do exemplo da tabela a seguir, no que se refere às categorias 57 e 96. Dessa forma, não compensa incluir esses itens na amostra de auditoria, quando são examinados custos ou preços totais do orçamento. Ademais, como se pode observar, o grupo 57 foi identificado pelo Teste Z em função de sua baixa frequência na planilha (0,001), ou seja, ele foi considerado irrelevante em ambos os testes. É preciso ter atenção a esse fato na análise. Todavia, estão sendo analisados os custos totais. Caso estivessem sendo examinados os custos/preços unitários ou as quantidades, tal exclusão em função da baixa relevância financeira não se aplicaria, pois existem, por exemplo, valores unitários muito baixos que, quando multiplicados pela quantidade, resultam em valores totais significativos. O mesmo se aplica às quantidades. Após um exame criterioso, são eliminados os grupos de dígitos com baixa relevância financeira da amostra de auditoria.

TABELA 27 – Confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma.

DÍGITOS	FREQUÊNCIA (TESTE DOIS PRIMEIROS DÍGITOS)	PROPORÇÃO (TESTE DA SOMA)	CRÍTICO?
10	0,064	0,012	SIM
11	0,035	0,062	SIM
13	0,034	0,027	SIM
17	0,028	0,027	SIM
18	0,021	0,025	SIM
19	0,024	0,029	SIM
20	0,022	0,031	SIM
21	0,025	0,034	SIM
22	0,021	0,035	SIM
25	0,013	0,352	SIM
32	0,015	0,046	SIM
48	0,012	0,074	SIM
56	0,014	0,017	SIM
57	0,001	0,000	NÃO
96	0,011	0,001	NÃO

Fonte: elaboração própria

5ª Etapa: valor da amostra selecionada

Deve ser calculado o valor total da amostra em termos financeiros, fazendo uma varredura na planilha orçamentária, para buscar quais serviços possuem as categorias de dois primeiros dígitos críticos selecionados na etapa anterior. Caso seja adotado o Excel, para facilitar, podem ser utilizados filtros, selecionando-se, na planilha, os serviços referentes a cada categoria de dois primeiros dígitos, e somando-se os seus valores totais.

TABELA 28 – Somatório dos custos totais dos serviços cujos dois primeiros dígitos são 25.

	A	B	C	D	E	G
1	DESCRICAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	DOIS PRIMEIROS DÍGITOS
2	SISTEMA DE COBERTURA TENSIONADA,	UN	1,00	256.714.917,00	256.714.917,00	25
5	MOBILIÁRIO ESPORTIVO, E MOBILIÁRIO	UN	1,00	25.518.649,48	25.518.649,48	25
163	REVEST.MATER.ALUM.COMP.(ACM),E.4I	M2	1.195,00	214,80	256.686,00	25
358	PLAFONIER DE EMBUTIR, MOD.SAVIO (E	UN	24,00	1.080,64	25.935,36	25
359	CAIXA SUBTERRÂNEA EM ALVENARIA,EM	UN	57,00	451,72	25.748,04	25
360	VALVULA DE GAVETA,HASTE ASCENDEN	UN	68,00	378,17	25.715,56	25
361	REGISTRO DE GAVETA EM BRONZE C/DIA	UN	782,00	32,86	25.696,52	25
362	TUBO DE CONCR. ARMADO, CLASSE CA-	M	272,00	94,26	25.638,72	25
679	POSTE TIPO G9,COLUNA DE DIAMETRO 2	UN	8,00	324,06	2.592,48	25
680	UNIDADE DE CONTROLE,PARA USO COM	UN	5,00	506,25	2.531,25	25
681	CURVA DE 90° COM FLANGES,FºFº,PN10	UN	17,00	147,62	2.509,54	25
966	CURVA DE 45° COM FLANGES,FºFº,PN10	UN	2,00	128,91	257,82	25
967	CURVA DE INVERSAO,L=400MM E ABA=1	UN	8,00	31,37	250,96	25
3659					282.627.128,73	

Fonte: elaboração própria

No exemplo da Tabela 28, adotando-se filtro no Excel, foram selecionados todos os serviços do orçamento que possuem os dois primeiros dígitos 25. Seus valores totais devem ser somados para que se encontre o resultado, em termos financeiros, dessa categoria de dígitos. O mesmo deve ser feito com todos os outros dígitos críticos. Dessa maneira, após serem obtidos os somatórios de cada categoria (Tabela 29), deve ser calculado o valor total da amostra.

Cabe ressaltar que, como este exemplo trata de custos totais, os somatórios dos valores totais referentes aos serviços de cada categoria de dígitos poderiam ser obtidos no próprio Teste da Soma, na coluna "Soma". Todavia, como podem ser testados também os valores unitários e as quantidades, nesses casos o procedimento descrito na Tabela 28 deve ser adotado.

TABELA 29

Somatório de cada categoria de dois primeiros dígitos considerados críticos.

DOIS PRIMEIROS DÍGITOS CRÍTICOS	SOMATÓRIO DOS VALORES TOTAIS R\$
10	9.783.807,85
11	49.449.162,77
13	21.621.601,43
17	22.067.204,84
18	19.805.126,11
19	23.554.834,63
20	24.616.301,13
21	26.959.600,97
22	27.809.166,60
25	282.627.128,73
32	36.623.266,22
48	59.124.527,96
56	13.668.391,44
VALOR TOTAL OBTIDO NA AMOSTRA	617.710.120,68

Fonte: elaboração própria

6ª Etapa: comparação da amostra com o valor total do orçamento

É necessário verificar o quanto a amostra selecionada representa em termos percentuais em relação ao valor total do orçamento.

Caso ela se aproxime dos 80% estipulados na 1ª etapa, com uma diferença de, no máximo, 5% para mais ou para menos, então é necessário seguir para a 7ª etapa.

Se a amostra for mais de 5% inferior aos 80% estabelecidos, deve-se relaxar o critério de seleção do Teste da Soma reduzindo o limite mínimo do resultado em 25% ($0,011 \times (1-0,25)$) para aumentar o seu tamanho.

No caso de a amostra ser mais de 5% superior aos 80%, deve-se aumentar o limite mínimo do resultado em 25% ($0,011 \times 1,25$) para reduzi-la.

Se, mesmo adotando todos esses critérios, for obtida uma amostra com o percentual muito inferior a 80% do valor total do orçamento, é preciso aumentar o nível de significância de 5% para 10% no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e retornar à 2ª Etapa (ii).

Neste exemplo, como se observa na Tabela 30, a amostra selecionada, utilizando os parâmetros básicos, corresponde a 77% do orçamento, estando dentro da margem aceitável de 80% +/- 5%. Nesse caso específico, não foi necessário alterar os critérios do Teste da Soma e do Teste dos Dois Primeiros Dígitos.

TABELA 30 – Cálculo do valor percentual da amostra em relação ao custo total do orçamento.

DOIS PRIMEIROS DÍGITOS CRÍTICOS	SOMATÓRIO DOS VALORES TOTAIS R\$
10	9.783.807,85
11	49.449.162,77
13	21.621.601,43
17	22.067.204,84
18	19.805.126,11
19	23.554.834,63
20	24.616.301,13
21	26.959.600,97
22	27.809.166,60
25	282.627.128,73
32	36.623.266,22
48	59.124.527,96
56	13.668.391,44
VALOR TOTAL OBTIDO NA AMOSTRA	617.710.120,68 (77%)
VALOR TOTAL DA PLANILHA	803.349.467,41 (100%)

Fonte: elaboração própria

7ª Etapa: amostra de auditoria

Após a realização de todos os procedimentos anteriores, deve ser obtida uma amostra próxima ao percentual desejado em relação ao valor total do orçamento (80%).

8ª Etapa: complementação da amostra adotando os critérios da Curva ABC

Se a amostra final ainda assim continuar com o valor muito baixo, então o algoritmo não é capaz de selecionar itens suficientes com base exclusivamente no critério da Lei Benford. Nesse caso, a amostra pode ser complementada com outro critério, tal como o custo dos serviços, da mesma forma adotada na metodologia da Curva ABC. Esse complemento final não será introduzido neste trabalho.

VI – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA ANÁLISE DOS PREÇOS TOTAIS DA OBRA DE CONSTRUÇÃO DA ARENA DA AMAZÔNIA

Considerações iniciais

Origem dos recursos federais. Como o Brasil foi escolhido o país sede dos jogos da Copa do Mundo de Futebol de 2014 e das Olimpíadas de 2016, demandaram-se várias obras envolvendo a construção e a reforma de estádios que requeriam vultosos investimentos. Grande parte dos recursos foram emprestados pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), entre eles, R\$ 400 milhões, destinados a financiar parte da elaboração do projeto executivo e da execução das obras de construção da Arena da Amazônia, cujo custo inicial foi estimado em R\$ 615.992.824,67 (data-base fev/2010).

FIGURA 1 – Arena da Amazônia.



Fonte: <http://odia.ig.com.br/esporte/copa-do-mundo/2014-02-10/arena-da-amazonia-tem-inauguracao-adiada-diz-governador.html> (acessado em 19/7/2016).

Atuação do Tribunal de Contas da União (TCU). O TCU, como órgão dotado de prerrogativas constitucionais, é responsável por auxiliar o Congresso Nacional no exercício do controle externo. Entre suas atribuições, insere-se a auditoria de obras públicas, quando a execução envolver recursos federais. O Tribunal analisou o edital da obra da Arena da Amazônia e seus anexos, consoante Acórdão TCU 1.164/2010-Plenário, e a Controladoria-Geral da União (CGU), órgão responsável pelo controle interno do poder executivo federal, analisou o projeto básico e a proposta vencedora do certame, conforme Nota Técnica nº 1657 GSGAB/SFC/CGU/PR. Verificou-se a existência de indícios de sobrepreço e de

irregularidades graves relacionadas a deficiências no projeto. Com base nesses achados, o TCU expediu medidas preventivas e as estendeu às demais operações envolvendo o BNDES, 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.

Seleção da amostra de auditoria: Curva ABC. Os órgãos de controle, ao elaborarem a Curva ABC, usualmente selecionam em torno de 20% dos serviços do orçamento, em ordem decrescente de relevância financeira, totalizando 80% do valor global da obra. O que conta para a seleção da amostra de auditoria é apenas a relevância financeira dos serviços, sem considerar possíveis indícios de manipulação nos dados. O TCU, ao adotar essa metodologia, selecionou os serviços mais caros da planilha orçamentária até atingir o percentual 79,97% do custo total (valor próximo aos 80% usualmente adotados), ou seja, R\$ 492.594.332,98 de R\$ 615.992.824,67 (data-base fev/2010).

Agrupamentos de itens. Devido à complexidade do projeto, alguns serviços foram repetidos várias vezes na planilha, cada vez que se referiam a uma parte diferente da construção. O preço unitário era sempre o mesmo, naturalmente, mas as quantidades mudavam de acordo com o uso esperado. Portanto, em alguns casos, o mesmo item apareceu com diferentes códigos e preços totais em toda a planilha orçamentária. Por exemplo, o serviço "ferragens de aço CA-50A" surgiu com 19 códigos de itens diferentes, correspondentes aos preços totais em 15 categorias de dois primeiros dígitos. Para a elaboração da Curva ABC, segundo geralmente feito pelos auditores, o TCU agrupou em um só item os serviços idênticos da planilha orçamentária. Porém, no que tange à metodologia da Lei de Benford, os itens repetidos não podem ser agrupados, pois isso descaracteriza as frequências dos primeiros dígitos. Assim, a planilha deve ser utilizada da forma como foi elaborada, sem nenhum tipo de tratamento prévio dos dados.

Sistema de ar condicionado. Como exceção à metodologia de análise usualmente adotada, o Tribunal aglutinou, em um só item, todos os serviços do referido sistema, 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. Encontrou-se, para essa categoria, um sobrepreço de R\$ 2.613.808,35. Entretanto, para fins da análise de conformidade com a Lei de Benford, 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 essa metodologia.

Análise de preços. Ao examinar os itens elencados na Curva ABC, a unidade técnica do TCU 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 Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (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 adotados custos de serviços semelhantes em obras de outros estádios da Copa.

Sobrepço inicialmente encontrado. No cálculo geral do sobrepço, foram descontados os subpreços encontrados em alguns serviços do orçamento. O TCU apurou um valor a maior de R\$ 114.998.316,93 (data-base fev/2010) na amostra selecionada, perfazendo 29,50% de sobrepço. 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.

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

Reanálise do sobrepço. Após avaliar as considerações trazidas pela Seinf, o TCU apurou um valor a maior de R\$ 86.544.009,11, em uma amostra de, aproximadamente, 80%, perfazendo um sobrepço da ordem de 21%. Esse montante representava uma necessidade de redução adicional de cerca de R\$ 38 milhões, para complementar os R\$ 48 milhões aceitos pelo órgão público.

Liberação dos recursos federais. A Corte de Contas condicionou, então, a liberação de recursos pelo BNDES à adequação do orçamento apresentado, elidindo os indícios de sobrepço, e à assinatura de termo aditivo formalizando as alterações no projeto e no orçamento. Foi feito o Terceiro Termo Aditivo ao Contrato nº 044/2010, acompanhado do orçamento da obra, no valor de R\$ 550.705.891,94, bem como dos projetos executivos, não subsistindo mais óbices para a liberação do crédito.

Adaptações realizadas para a aplicação da metodologia

- 1 - Um serviço que apareça repetidas vezes no orçamento, cujo sobrepço foi detectado pelo TCU, possivelmente estará inserido em categorias diferentes de dois primeiros dígitos. Se qualquer uma destas categorias for sinalizada pelos testes da Lei de Benford, então pode-se afirmar que o item foi descoberto por essa metodologia e, portanto, deve-se considerar o sobrepço total determinado pelo TCU para esse serviço agregado;
- 2 - O que importa para a análise é a manipulação dos valores totais da planilha, seja mediante alteração nas quantidades ou preços. Dessa forma, como estão sendo examinados os preços totais, é irrelevante de onde veio a manipulação;
- 3 - Os subpreços identificados pelo TCU não foram abatidos do sobrepço total. Portanto, a princípio, o sobrepço referencial adotado corresponde a R\$ 90.394.830,23, o qual ultrapassa o valor calculado pelo TCU de R\$ 86.544.009,11;
- 4 - O sobrepço incidente sobre o item "Serviços agrupados do sistema de ar condicionado" (R\$ 2.613.808,35) não foi considerado, para fins desta análise, conforme detalhado no tópico "Sistema de ar condicionado" inserido em "Considerações iniciais". Então, deve-se adaptar o sobrepço referencial adotado (R\$ 90.394.830,23), subtraindo dele o valor de R\$ 2.613.808,35, de modo a obter a quantia de R\$ 87.781.021,88. Assim, feitas as devidas adequações, os parâmetros numéricos que nortearam a elaboração dos testes apresentados estão consubstanciados na Tabela 37 deste trabalho.

Aplicação do algoritmo

1ª Etapa: definição dos parâmetros iniciais

a) Qual é o valor total do orçamento?

R\$ 615.992.824,67 (data-base fev/2010).

b) Qual variável será analisada: quantidade, custo/preço unitário ou custo/preço total?

Preço total.

Cabe ressaltar que os itens idênticos da planilha orçamentária não devem ser agrupados, como ocorre na metodologia da Curva ABC.

Neste exemplo, foram testados os preços totais (quantidades x preços unitários) com a inclusão do BDI, para acompanhar a análise de preços do TCU.

c) Qual é o percentual do valor total do orçamento que deve ser examinado?

*Ele será definido aqui em **80%** para preservar o padrão adotado na metodologia da Curva ABC, mas outros padrões também podem ser utilizados.*

d) Qual é o nível de significância adotado no Teste dos Dois Primeiros Dígitos?

*De acordo com Nigrini (2012), ele é inicialmente fixado em **5%**.*

e) Qual é o limite mínimo do resultado do Teste da Soma (coluna diferença), acima do qual os dois primeiros dígitos são considerados críticos?

*Seguindo a proposta desta cartilha, ele é inicialmente fixado em **0,011**, que corresponde a 100% do valor de referência da Lei de Benford para esse teste.*

f) Qual ajuste deverá ser realizado no limite mínimo do Teste da Soma (0,011), para diminuir ou aumentar o rigor do teste, caso necessário?

*Inicialmente, ele é fixado em **25%**.*

2ª Etapa: Teste dos Dois Primeiros Dígitos

O Teste dos Dois Primeiros Dígitos é aplicado adotando o nível de significância de 5% para os testes estatísticos.

Devem ser selecionadas as categorias de dois primeiros dígitos cujos resultados para o Teste Z superaram o valor crítico (1,96) para esse nível de significância.

Os resultados encontram-se reportados na Tabela 31, em que: "Dígitos" se referem aos dois primeiros dígitos dos valores; "Contagens" são as contagens desses dígitos no banco de dados; "Frequências" são as frequências relativas com que os dígitos aparecem na planilha; "LB" são as frequências padrão da Lei de Benford; "Diferenças" são as diferenças entre as colunas "Frequências" e "LB"; "Teste Z" se refere aos resultados do Teste Z; "QQ" se relaciona ao cálculo estatístico intermediário do Teste Qui-Quadrado; e "MDA" corresponde ao cálculo estatístico intermediário da Média dos Desvios Absolutos.

TABELA 31 – Teste dos Dois Primeiros Dígitos para os preços totais da Arena da Amazônia.
Número de observações (N) = 1.724

DÍGITOS	CONTAGENS	FREQUÊNCIAS	LB	DIFERENÇAS	TESTE Z	QQ	MDA
10	45	0,026	0,041	-0,015	3,127	9,738	0,015
11	82	0,048	0,038	0,010	2,065	4,359	0,010
12	67	0,039	0,035	0,004	0,864	0,834	0,004
13	43	0,025	0,032	-0,007	1,636	2,810	0,007
14	64	0,037	0,030	0,007	1,673	2,949	0,007
15	52	0,030	0,028	0,002	0,464	0,280	0,002
16	55	0,032	0,026	0,006	1,370	2,034	0,006
17	53	0,031	0,025	0,006	1,502	2,433	0,006
18	55	0,032	0,023	0,008	2,230	5,207	0,008
19	24	0,014	0,022	-0,008	2,269	5,403	0,008
20	37	0,021	0,021	0,000	-0,005	0,006	0,000
21	26	0,015	0,020	-0,005	1,426	2,239	0,005
22	39	0,023	0,019	0,003	0,913	0,982	0,003
23	31	0,018	0,018	-0,001	0,065	0,024	0,001
24	36	0,021	0,018	0,003	0,901	0,967	0,003
25	29	0,017	0,017	0,000	-0,025	0,005	0,000
26	16	0,009	0,016	-0,007	2,230	5,317	0,007
27	77	0,045	0,016	0,029	9,518	90,973	0,029
28	30	0,017	0,015	0,002	0,634	0,528	0,002
29	38	0,022	0,015	0,007	2,423	6,272	0,007
30	18	0,010	0,014	-0,004	1,230	1,748	0,004
31	30	0,017	0,014	0,004	1,183	1,632	0,004
32	12	0,007	0,013	-0,006	2,211	5,290	0,006
33	20	0,012	0,013	-0,001	0,394	0,247	0,001
34	21	0,012	0,013	0,000	0,044	0,023	0,000
35	23	0,013	0,012	0,001	0,308	0,173	0,001
36	13	0,008	0,012	-0,004	1,558	2,752	0,004
37	17	0,010	0,012	-0,002	0,555	0,441	0,002
38	12	0,007	0,011	-0,004	1,585	2,853	0,004
39	12	0,007	0,011	-0,004	1,491	2,553	0,004
40	25	0,015	0,011	0,004	1,406	2,294	0,004
41	18	0,010	0,010	0,000	-0,108	0,000	0,000
42	16	0,009	0,010	-0,001	0,268	0,149	0,001
43	12	0,007	0,010	-0,003	1,142	1,579	0,003
44	8	0,005	0,010	-0,005	2,040	4,630	0,005
45	16	0,009	0,010	0,000	-0,011	0,013	0,000
46	11	0,006	0,009	-0,003	1,152	1,617	0,003
47	20	0,012	0,009	0,002	0,946	1,139	0,002
48	7	0,004	0,009	-0,005	2,029	4,612	0,005
49	10	0,006	0,009	-0,003	1,195	1,737	0,003
50	18	0,010	0,009	0,002	0,697	0,679	0,002
51	10	0,006	0,008	-0,003	1,064	1,417	0,003
52	15	0,009	0,008	0,000	0,063	0,038	0,000
53	12	0,007	0,008	-0,001	0,401	0,284	0,001
54	11	0,006	0,008	-0,002	0,606	0,546	0,002
55	6	0,003	0,008	-0,004	1,911	4,159	0,004
56	15	0,009	0,008	0,001	0,344	0,231	0,001
57	16	0,009	0,008	0,002	0,689	0,681	0,002
58	17	0,010	0,007	0,002	1,038	1,379	0,002
59	11	0,006	0,007	-0,001	0,307	0,199	0,001
60	5	0,003	0,007	-0,004	1,962	4,396	0,004
61	9	0,005	0,007	-0,002	0,769	0,828	0,002
62	9	0,005	0,007	-0,002	0,719	0,741	0,002
63	8	0,005	0,007	-0,002	0,962	1,219	0,002
64	7	0,004	0,007	-0,003	1,210	1,829	0,003
65	9	0,005	0,007	-0,001	0,573	0,517	0,001
66	5	0,003	0,007	-0,004	1,722	3,480	0,004
67	10	0,006	0,006	-0,001	0,178	0,108	0,001
68	28	0,016	0,006	0,010	5,028	26,657	0,010
69	10	0,006	0,006	0,000	0,083	0,055	0,000
70	3	0,002	0,006	-0,004	2,192	5,468	0,004
71	6	0,003	0,006	-0,003	1,231	1,910	0,003
72	7	0,004	0,006	-0,002	0,882	1,072	0,002
73	14	0,008	0,006	0,002	1,041	1,427	0,002
74	9	0,005	0,006	-0,001	0,174	0,110	0,001
75	10	0,006	0,006	0,000	-0,133	0,001	0,000
76	8	0,005	0,006	-0,001	0,413	0,326	0,001
77	16	0,009	0,006	0,004	1,884	4,159	0,004
78	11	0,006	0,006	0,001	0,312	0,224	0,001
79	7	0,004	0,005	-0,001	0,627	0,621	0,001
80	6	0,003	0,005	-0,002	0,921	1,172	0,002
81	4	0,002	0,005	-0,003	1,550	2,929	0,003
82	9	0,005	0,005	0,000	-0,141	0,001	0,000
83	5	0,003	0,005	-0,002	1,161	1,755	0,002
84	13	0,008	0,005	0,002	1,226	1,934	0,002
85	6	0,003	0,005	-0,002	0,765	0,868	0,002
86	6	0,003	0,005	-0,002	0,735	0,815	0,002
87	9	0,005	0,005	0,000	-0,020	0,023	0,000
88	20	0,012	0,005	0,007	3,805	15,740	0,007
89	15	0,009	0,005	0,004	2,126	5,261	0,004
90	14	0,008	0,005	0,003	1,822	3,964	0,003
91	6	0,003	0,005	-0,001	0,590	0,582	0,001
92	9	0,005	0,005	0,001	0,143	0,101	0,001
93	10	0,006	0,005	0,001	0,529	0,496	0,001
94	13	0,008	0,005	0,003	1,630	3,253	0,003
95	9	0,005	0,005	0,001	0,236	0,172	0,001
96	15	0,009	0,005	0,004	2,426	6,758	0,004
97	4	0,002	0,004	-0,002	1,150	1,763	0,002
98	5	0,003	0,004	-0,002	0,764	0,890	0,002
99	4	0,002	0,004	-0,002	1,105	1,651	0,002

Segundo a Tabela 31, com base no Teste Z, foram apontadas desconformidades dos dois primeiros dígitos 10, 11, 18, 19, 26, 27, 29, 32, 44, 48, 60, 68, 70, 88, 89 e 96 em relação às proporções da Curva descendente da Lei de Benford. Essas 16 categorias de dígitos que excederam o limite de 1,96 do Teste Z superam os cinco picos permitidos por Nigrini (2012), indicando uma desconformidade dos dados. Cabe ressaltar que alguns dos picos correspondem a categorias de dígitos que apareceram com muita frequência na planilha enquanto outras se referem a dígitos que se repetiram muito pouco. Naturalmente, é esperado que aqueles que tiveram uma frequência alta sejam os grandes candidatos a terem sofrido manipulação.

O resultado do Teste Qui-Quadrado, que consiste no somatório da coluna "QQ", foi 293,73, o qual ultrapassa o valor crítico de 112,02 para 89 graus de liberdade e 5% de significância estatística. Portanto, rejeita-se a hipótese nula de que os dados apresentam conformidade em relação à Lei de Benford, sugerindo, novamente, uma desconformidade.

O último teste aplicado foi o MDA, cujo resultado corresponde ao somatório da coluna "MDA". O valor encontrado para a Arena da Amazônia foi 0,0033, o qual ultrapassa o limite de 0,0022 (valor limítrofe entre conformidade e desconformidade adotado por Nigrini 2012), o que sugere, novamente, uma possível manipulação dos dados.

3ª Etapa: Teste da Soma

O Teste da Soma é aplicado e são selecionadas todas as categorias de dois primeiros dígitos cujos valores para a coluna diferença sejam iguais ou superiores a 0,011. Os resultados estão ilustrados na Tabela 32.

Na Tabela 32, a 1ª e 6ª colunas se referem aos dois primeiros dígitos; as 2ª e 7ª colunas correspondem à soma dos itens que possuem os dois primeiros dígitos apontados nas 1ª e 6ª colunas, respectivamente; as 3ª e 8ª colunas mostram as proporções das somas calculadas nas 2ª e 7ª colunas, respectivamente, em relação ao somatório de todos os custos unitários da planilha; as 4ª e 9ª colunas apresentam as frequências padrão da Lei de Benford; e as 5ª e 10ª colunas trazem a diferença entre as proporções das somas e as frequências da Lei de Benford.

Conforme se observa na Tabela 32, houve picos nos dois primeiros dígitos 11, 12, 13, 14, 15, 52, 60, 67, 77 e 78. Chama a atenção a proporção encontrada para a categoria 60, que representou 20,7% do somatório dos preços totais. Esse teste sugere uma grande desconformidade com a Lei de Benford.

TABELA 32 – Teste da Soma para os preços unitários da Arena da Amazônia
Número de observações (N) = 1.724

DÍGITO	SOMA	PROP.	LB	DIF.	DÍGITO	SOMA	PROP.	LB	DIF.
10	6.779.337,27	0,011	0,011	0,000	55	734.563,64	0,001	0,011	-0,010
11	13.321.384,80	0,022	0,011	0,011	56	942.726,17	0,002	0,011	-0,009
12	16.925.818,66	0,027	0,011	0,016	57	1.990.461,73	0,003	0,011	-0,008
13	19.373.384,39	0,031	0,011	0,020	58	2.000.276,50	0,003	0,011	-0,008
14	22.580.106,79	0,037	0,011	0,026	59	7.540.247,05	0,012	0,011	0,001
15	28.505.937,80	0,046	0,011	0,035	60	127.223.393,04	0,207	0,011	0,196
16	8.798.956,04	0,014	0,011	0,003	61	332.069,66	0,001	0,011	-0,010
17	5.324.811,18	0,009	0,011	-0,002	62	948.407,85	0,002	0,011	-0,009
18	5.174.192,59	0,008	0,011	-0,003	63	783.863,39	0,001	0,011	-0,010
19	9.160.737,42	0,015	0,011	0,004	64	329.013,41	0,001	0,011	-0,010
20	5.700.596,87	0,009	0,011	-0,002	65	2.122.060,55	0,003	0,011	-0,008
21	5.706.353,64	0,009	0,011	-0,002	66	332.589,49	0,001	0,011	-0,010
22	4.128.765,13	0,007	0,011	-0,004	67	9.486.088,97	0,015	0,011	0,004
23	7.594.421,93	0,012	0,011	0,001	68	315.803,31	0,001	0,011	-0,010
24	10.850.773,13	0,018	0,011	0,007	69	854.916,40	0,001	0,011	-0,010
25	6.773.131,14	0,011	0,011	0,000	70	78.632,23	0,000	0,011	-0,011
26	3.718.898,40	0,006	0,011	-0,005	71	8.697.745,38	0,014	0,011	0,003
27	9.754.202,70	0,016	0,011	0,005	72	313.056,63	0,001	0,011	-0,010
28	1.467.372,18	0,002	0,011	-0,009	73	2.611.687,45	0,004	0,011	-0,007
29	5.378.772,64	0,009	0,011	-0,002	74	7.655.137,69	0,012	0,011	0,001
30	6.774.856,16	0,011	0,011	0,000	75	279.397,79	0,000	0,011	-0,011
31	5.134.543,48	0,008	0,011	-0,003	76	329.847,91	0,001	0,011	-0,010
32	1.114.827,30	0,002	0,011	-0,009	77	78.725.633,04	0,128	0,011	0,117
33	581.314,36	0,001	0,011	-0,010	78	17.555.153,59	0,028	0,011	0,017
34	5.699.104,65	0,009	0,011	-0,002	79	414.123,69	0,001	0,011	-0,010
35	5.754.647,32	0,009	0,011	-0,002	80	185.950,12	0,000	0,011	-0,011
36	1.568.419,89	0,003	0,011	-0,008	81	913.013,16	0,001	0,011	-0,010
37	1.370.164,55	0,002	0,011	-0,009	82	133.992,08	0,000	0,011	-0,011
38	220.564,72	0,000	0,011	-0,011	83	343.503,97	0,001	0,011	-0,010
39	756.380,76	0,001	0,011	-0,010	84	2.848.420,58	0,005	0,011	-0,006
40	9.925.971,95	0,016	0,011	0,005	85	351.228,64	0,001	0,011	-0,010
41	10.243.159,92	0,017	0,011	0,006	86	185.162,72	0,000	0,011	-0,011
42	1.170.449,44	0,002	0,011	-0,009	87	2.041.493,74	0,003	0,011	-0,008
43	1.530.502,13	0,002	0,011	-0,009	88	407.834,26	0,001	0,011	-0,010
44	1.071.595,82	0,002	0,011	-0,009	89	2.018.837,03	0,003	0,011	-0,008
45	601.959,44	0,001	0,011	-0,010	90	1.255.957,83	0,002	0,011	-0,009
46	1.506.748,31	0,002	0,011	-0,009	91	2.030.709,91	0,003	0,011	-0,008
47	1.714.607,67	0,003	0,011	-0,008	92	999.639,96	0,002	0,011	-0,009
48	6.377.647,71	0,010	0,011	-0,001	93	2.107.473,07	0,003	0,011	-0,008
49	227.670,25	0,000	0,011	-0,011	94	1.354.079,96	0,002	0,011	-0,009
50	1.226.073,95	0,002	0,011	-0,009	95	1.095.960,57	0,002	0,011	-0,009
51	698.252,58	0,001	0,011	-0,010	96	1.613.890,82	0,003	0,011	-0,008
52	53.463.119,57	0,087	0,011	0,076	97	39.068,09	0,000	0,011	-0,011
53	7.026.444,91	0,011	0,011	0,000	98	306.419,34	0,000	0,011	-0,011
54	355.504,46	0,001	0,011	-0,010	99	30.806,34	0,000	0,011	-0,011

SOMA TOTAL DOS VALORES UNITÁRIOS: 37.228.652,99

Fonte: elaboração própria

4ª Etapa: confronto entre o Teste dos Dois Primeiros Dígitos e o Teste da Soma

Devem ser selecionadas as categorias de dígitos detectadas como críticas no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma. É realizado um confronto (Tabela 33) entre os testes para confirmar a criticidade dos dois primeiros dígitos selecionados, comparando o número de vezes em que eles se repetem na planilha (frequência), dada pelo Teste dos Dois Primeiros Dígitos, com a relevância financeira trazida pelo Teste da Soma (proporção). Os níveis de criticidade são mensurados de acordo com os critérios a seguir:

- 1) Quando uma categoria de dois primeiros dígitos aparece como crítica em ambos os testes - neste exemplo a "11" - esse é o maior nível de criticidade identificado por essa metodologia e, portanto, os serviços correspondentes devem ser priorizados na análise;
- 2) Todos os grupos de dígitos detectados pelo Teste da Soma já entram automaticamente como críticos, em função de sua relevância financeira;
- 3) Algumas categorias de dígitos - neste exemplo 10, 19, 26, 32, 44, 48 e 70 - foram detectadas pelo Teste dos Dois Primeiros Dígitos em função de sua baixa frequência na planilha em comparação com a Lei de Benford e, concomitantemente, segundo o Teste da Soma, elas possuem baixa relevância financeira. Além disso, a categoria 68, apesar de ter sido identificada como significativa pelo primeiro teste, foi considerada irrelevante no segundo. Sendo assim, não compensa incluir os itens correspondentes na amostra de auditoria e, portanto, eles devem ser descartados da análise.

TABELA 33 – Confronto entre os dígitos selecionados no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e no Teste da Soma

DÍGITOS	FREQUÊNCIA (TESTE DOS DOIS PRIMEIROS DÍGITOS)	PROPORÇÃO (TESTE DA SOMA)	CRÍTICO?
10	0,026	0,011	NÃO
11	0,048	0,022	SIM
12	0,039	0,027	SIM
13	0,025	0,031	SIM
14	0,037	0,037	SIM
15	0,030	0,046	SIM
18	0,032	0,008	SIM
19	0,014	0,015	NÃO
26	0,009	0,006	NÃO
27	0,045	0,016	SIM
29	0,022	0,009	SIM
32	0,007	0,002	NÃO
44	0,005	0,002	NÃO
48	0,004	0,010	NÃO
52	0,009	0,087	SIM
60	0,003	0,207	SIM
68	0,016	0,001	NÃO
70	0,002	0,000	NÃO
77	0,009	0,128	SIM
78	0,006	0,028	SIM
88	0,012	0,001	SIM
89	0,009	0,003	SIM
96	0,009	0,003	SIM

Fonte: elaboração própria

A Tabela 33, na primeira coluna, mostra as categorias de dois primeiros dígitos que foram selecionadas por qualquer um dos testes aplicados. A segunda coluna se refere às frequências relativas desses dígitos na planilha orçamentária, de acordo com o Teste dos Dois Primeiros Dígitos. A terceira corresponde à proporção de cada somatório de preços totais dentro de determinada categoria de dois dígitos, segundo calculado no Teste da Soma. Finalmente, a quarta coluna define quais dois primeiros dígitos serão incluídos na amostra de auditoria, segundo sua criticidade.

O confronto entre os testes sugere excluir os dois primeiros dígitos 10, 19, 26, 32, 44, 48, 68 e 70 da análise. Portanto, essa metodologia sugere os seguintes pontos críticos para o processo de auditoria: 11, 12, 13, 14, 15, 18, 27, 29, 52, 60, 77, 78, 88, 89 e 96.

5ª Etapa: valor da amostra selecionada

Deve ser calculado o valor total da amostra em termos financeiros, fazendo-se uma varredura na planilha orçamentária, para buscar quais serviços possuem as categorias de dois primeiros dígitos críticos selecionados na etapa anterior. Caso seja adotado o Excel, podem ser utilizados filtros, selecionando-se, na planilha, os serviços referentes a cada categoria de dois primeiros dígitos, e somando-se os seus valores totais.

Cabe ressaltar que, como este exemplo trata de preços totais, os somatórios dos valores totais referentes aos serviços de cada categoria de dígitos foram obtidos no próprio Teste da Soma, na coluna “Soma”. Os resultados dos somatórios podem ser visualizados na tabela a seguir:

TABELA 34 – Somatório de cada categoria de dois primeiros dígitos considerados críticos.

DOIS PRIMEIROS DÍGITOS CRÍTICOS	SOMATÓRIO DOS VALORES TOTAIS R\$
11	13.321.384,80
12	16.925.818,66
13	19.373.384,39
14	22.580.106,79
15	28.505.937,80
18	5.174.192,59
27	9.754.202,70
29	5.378.772,64
52	53.463.119,57
60	127.223.393,04
77	78.725.633,04
78	17.555.153,59
88	407.834,26
89	2.018.837,03
96	1.613.890,82

VALOR TOTAL OBTIDO NA AMOSTRA: 402.021.661,72

Fonte: elaboração própria

6ª Etapa: comparação da amostra com o valor total do orçamento

É necessário verificar o quanto a amostra selecionada representa em termos percentuais em relação ao valor total do orçamento.

Caso ela se aproxime dos 80% estipulados na 1ª etapa, com uma diferença de, no máximo, 5% para mais ou para menos, então é necessário seguir para a 7ª etapa.

Neste exemplo, como se observa na Tabela 35, a amostra selecionada, utilizando os parâmetros básicos, corresponde a 65,26% do orçamento. Nesse caso específico, como ela é mais de 5% inferior aos 80% estabelecidos, deve-se relaxar o critério de seleção do Teste da Soma reduzindo o limite mínimo do resultado em 25% ($0,011 \times (1-0,25) = 0,00825$) para aumentar o seu tamanho. Contudo, mesmo adotando esse procedimento, nenhuma nova categoria foi adicionada à amostra.

TABELA 35 – Cálculo do valor percentual da amostra em relação ao valor total do orçamento da Arena da Amazônia.

DOIS PRIMEIROS DÍGITOS CRÍTICOS	SOMATÓRIO DOS VALORES TOTAIS R\$
11	13.321.384,80
12	16.925.818,66
13	19.373.384,39
14	22.580.106,79
15	28.505.937,80
18	5.174.192,59
27	9.754.202,70
29	5.378.772,64
52	53.463.119,57
60	127.223.393,04
77	78.725.633,04
78	17.555.153,59
88	407.834,26
89	2.018.837,03
96	1.613.890,82

VALOR TOTAL OBTIDO NA AMOSTRA: 402.021.661,72 (65,26%)

VALOR TOTAL DA PLANILHA: 615.992.824,67 (100%)

Fonte: elaboração própria

Mesmo ao se relaxar mais ainda o critério de seleção do Teste da Soma, reduzindo o limite mínimo em mais 25% ($0,011 \times (1-0,50) = 0,0055$), obtiveram-se apenas duas novas categorias (24 e 41), que aumentaram o valor total da amostra para R\$ 423.115.594,77 (68,69%).

Foi realizada uma última tentativa em se reduzir o limite mínimo do Teste da Soma em mais 25% ($0,011 \times (1-0,75) = 0,00275$), que agregou à amostra as categorias de dígitos 16, 19, 40 e 67, aumentando o seu valor para R\$ 460.487.349,15 (74,76%).

Como foram esgotadas todas as tentativas com o Teste da Soma, foi preciso alterar o nível de significância de 5% para 10% no Teste dos Dois Primeiros Dígitos e retornar à 2ª Etapa, adotando como limiar do Teste Z o valor de 1,64. Embora duas novas categorias tenham sido selecionadas de acordo com o Teste dos Dois Primeiros Dígitos (55 e 90), nenhuma delas passou no confronto com o Teste da Soma, em função de sua baixa relevância financeira.

7ª Etapa: amostra de auditoria

A amostra de auditoria final, sugerida por esta metodologia é {11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 24, 27, 29, 40, 41, 52, 60, 67, 77, 78, 88, 89, 96}, cujo valor total de R\$ 460.487.349,15 corresponde a 74,76% do orçamento (mais de 5% inferior aos 80% estabelecidos inicialmente).

8ª Etapa: complementação da amostra adotando os critérios da Curva ABC

Como a amostra final ainda assim continuou com o valor baixo, então o algoritmo não foi capaz de selecionar itens suficientes com base exclusivamente no critério da Lei de Benford. Nesse caso, a amostra pode ser complementada com outro critério, tal como o custo dos serviços, da mesma forma adotada na metodologia da Curva ABC. Esse complemento final não será introduzido neste trabalho por não fazer parte do escopo desta cartilha.

Comparação da amostra selecionada com a análise de preços do TCU

A análise realizada pelo TCU adotando a Curva ABC para a seleção da amostra de auditoria detectou sobrepreço em vários itens que possuíam algum dos dois primeiros dígitos apontados como críticos pela metodologia com base na Lei de Benford.

Ao se comparar a amostra selecionada com base no algoritmo proposto nesta cartilha com a análise de preços realizada pelo TCU (Tabela 36), foi possível identificar um sobrepreço de R\$ 77.760.930,67 (data-base fev/2010), que corresponde a 88,59% do sobrepreço total apurado pelo Tribunal (R\$ 87.781.021,88).

TABELA 36 – Confronto entre a amostra obtida com o algoritmo proposto e a análise de preços do TCU.

DÍGITOS	CÓDIGOS DOS ITENS	SOBREPREÇO DETECTADO PELO TCU (R\$) DATA-BASE FEV/2010
11	11.4.1	6.235.225,71
	15.105	13.555,84
	24.10	202.334,75
	24.26	78.798,00
	24.34	5.859.425,46
12	8.17	338.948,36
	8.11	6.235.225,71 (JÁ CONSIDERADO)
	24.31	5.859.425,46 (JÁ CONSIDERADO)
13	8.12	6.249.520,46
	11.4.2	5.859.425,46 (JÁ CONSIDERADO)
	24.27	6.235.225,71 (JÁ CONSIDERADO)
14	13.15	124.310,17
	13.19	706.545,34
	24.15	1.993.872,00
15	7.1	610.038,38
	10.5	1.253.793,13
	13.2	504.835,29
	15.108	758.675,38
	11.7.2	5.859.425,46 (JÁ CONSIDERADO)
16	11.6.1	6.235.225,71 (JÁ CONSIDERADO)
	11.6.5	6.387.800,00
	2.7	12.544,92
	20.175	249.771,91
	24.20	202.334,75 (JÁ CONSIDERADO)
	24.24	1.993.872,00 (JÁ CONSIDERADO)
18	15.51	431.398,36
19	11.9.1	6.235.225,71 (JÁ CONSIDERADO)
	11.1.5	1.453.833,10
	6.20	1.722.255,68
24	24.36	6.235.225,71 (JÁ CONSIDERADO)
	11.10.2	5.859.425,46 (JÁ CONSIDERADO)
	13.18	14.855,16
27	11.8.5	6.387.800,00 (JÁ CONSIDERADO)
	14.1	1.141.339,79
	11.6.2	5.859.425,46 (JÁ CONSIDERADO)
29	8.6	145.951,68
	24.5	202.334,75 (JÁ CONSIDERADO)
	24.12	78.798,00 (JÁ CONSIDERADO)
40	3.2	936.495,80
41	11.5.2	5.859.425,46 (JÁ CONSIDERADO)
	18.304	2.968.064,00
52	12.3	8.827.023,45
60	4.2	22.180.663,27
67	9.8	6.235.225,71 (JÁ CONSIDERADO)
77	24.21	78.798,00 (JÁ CONSIDERADO)
78	6.16	5.915.199,94
	9.10	1.993.872,00 (JÁ CONSIDERADO)
	11.2.1	6.235.225,71 (JÁ CONSIDERADO)
89	24.1	443.855,34
TOTAL:		77.760.930,67

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pelo TCU.

Conclusão

A metodologia proposta nesta cartilha, desenvolvida com base na Lei de Benford, foi aplicada aos preços totais da planilha orçamentária da obra de construção da Arena da Amazônia para a seleção da amostra de auditoria. Todos os testes aplicados apontaram desconformidade desse banco de dados com essa Lei.

A amostra final sugerida por esta metodologia é {11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 24, 27, 29, 40, 41, 52, 60, 67, 77, 78, 88, 89, 96}, cujo valor total de R\$ 460.487.349,15 (data-base fev/2010) corresponde a 74,76% do orçamento (R\$ 615.992.824,67).

Mediante a comparação da amostra obtida com a análise de preços realizada pelo TCU, encontrou-se um sobrepreço de R\$ 77.760.930,67 (data-base fev/2010) equivalente a 88,59% do sobrepreço total identificado pelo TCU (R\$ 87.781.021,88), demonstrando uma forte convergência entre o método com base na Lei de Benford e a apuração final de sobrepreço realizada por aquele Tribunal.

VII – CONCLUSÃO GERAL

Esta cartilha foi elaborada com o objetivo de fornecer, de forma didática, aos agentes responsáveis pela fiscalização de obras públicas e aos pesquisadores interessados o passo a passo na aplicação da Lei de Benford para seleção da amostra de auditoria nos orçamentos de obras públicas, mediante o uso do Sistema Excel. Cabe ressaltar que o Sistema R é outra opção de aplicação dessa metodologia, com o uso do pacote "*benford.analysis*".

O principal objetivo do uso da Lei de Benford, neste trabalho, é apontar quais serviços de uma planilha orçamentária são os mais prováveis de terem sofrido manipulação nos valores (custos/preços unitários, quantidades e custos/preços totais), dando ensejo ao sobrepreço e eventual superfaturamento.

Este material foi dividido em: I – Introdução; II – Noções preliminares sobre seleção da amostra de auditoria; III – Testes da Lei de Benford: construções preliminares; IV – Noções preliminares de estatística; V – Etapas da aplicação da Lei de Benford; VI – Exemplo de aplicação da metodologia – Análise dos preços totais da obra de construção da Arena da Amazônia; e VII – Conclusão geral.

O presente trabalho constitui tão somente o início de um estudo sobre a aplicação da Lei de Benford à auditoria de obras públicas. Como sugestão para pesquisas futuras, poder-se-ia comparar a seleção da amostra de auditoria mediante o algoritmo ora proposto e também com o uso da tradicional Curva ABC. Por exemplo, duas equipes de auditores fiscalizariam, simultaneamente uma obra, uma adotando a metodologia com base na Lei de Benford e a outra utilizando a Curva ABC, comparando-se os resultados encontrados.

Outra pesquisa interessante e inédita seria testar isoladamente a variável quantidade das planilhas orçamentárias, como alternativa à variável preço, para verificar a aplicabilidade e efetividade da Lei de Benford 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 BIBLIOGRÁFICAS

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

BRASIL. Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas, Orientação Técnica (OT) IBR 005/2012, de 01 de setembro de 2012 – Dispõe sobre a apuração do sobrepreço e superfaturamento em obras públicas.

BUGARIN, M.; CUNHA, F.C.R. A didactic note on the use of Benford's Law in public works auditing, with an application to the construction of Brazilian Amazon Arena 2014 World Cup soccer stadium. Economia (Yokohama) 66(1): 23-55, 2015.

CAFÉ, R. M. O uso da lei de Benford na auditoria de obras públicas: o caso do VLP. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia Bacharelado em Economia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

CONTI, F. Teste de hipóteses e significância. Muitas Dicas. Laboratório de Informática ICB – UFPA. Pará. Mar. 2011. Disponível em: <http://www.ufpa.br/dicas/biome/biotestes.htm>. Acesso em: 9 ago. 2016.

CUIABANO, S. M.; LEANDRO, T.; OLIVEIRA, G. A. S.; BOGOSSIAN, P. Filtrando cartéis: a contribuição da literatura econômica na identificação de comportamentos colusivos. Revista de Defesa da Concorrência – Cade. RDC, vol. 2, n. 2, p. 43-63, nov. 2014.

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.

CUNHA, F.C.R.; BUGARIN, M. S. Lei de Benford e Auditoria de Obras Públicas: uma análise de sobrepreço na reforma do Maracanã. Revista do TCU, ano 46, n. 131, p. 46-53, set/dez 2014.

_____. 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.

_____. Benford's Law for audit of public works: an analysis of overpricing in Maracanã soccer arena's renovation. Economics Bulletin, v.35, p. 1168-1176, 2015.

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

DURTSCHI, C., HILLISON, W., e PACINI, C. (2004). The effective use of Benford's Law to assist in detecting fraud in accounting data. Journal of Forensic Accounting, 5(1), 17-34.

EUROPEAN COMMISSION (2010), 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 Acesso em: 24 Mar. 2014.

FILHO, R. N. A. Fraude em licitações e a Lei de Benford – Aplicação em Perícias de Engenharia Civil do DPF In: Seminário de Perícias de Engenharia da Polícia Federal, 8., 2016, Maceió. Anais... Maceió, 2016.

MEBANE, W. R. Election Forensics: vote counts and Benford's Law. The Society for Political Methodology. Papers, Posters and Syllabi. N° 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, Vol. 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.

PINKHAM, R. S. On the Distribution of First Significant Digits. Annals of Mathematical Statistics 32, 1223-1230. 1961.

RAUCH, B.; GÖTTSCHE, M., BRÄHLER, G.; ENGEL. 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.

APÊNDICE

ANÁLISE DE PREÇOS DO TCU (ADAPTADA) – ARENA DA AMAZÔNIA

TABELA 37 – Análise de preços do TCU da planilha orçamentária da obra de construção da Arena da Amazônia (adaptada) – data base fev/2010.

ITEM	UN	ORÇAMENTO PROJETO EXECUTIVO			ANÁLISE DO TCU			SOBREPREÇO	CATEGORIA DE DOIS PRIMEIROS DÍGITOS
		QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL		
COBERTURA EM BALANÇO COM MALHA DE VIGAS DE AÇO INTERTRAVADAS [...]	KG	3.510.000,00	22,00	77.224.674,84	3.510.000,00	22,00	77.224.674,84	0,00	77
FACHADA EM MALHAS "X" DE VIGAS INTERTRAVADAS PARA REVESTIMENTO [...]	KG	2.749.000,00	22,00	60.481.661,29	2.842.720,00	22,00	62.539.840,00	-2.058.178,71	60
ADMINISTRAÇÃO LOCAL - PROJETO EXECUTIVO	URAL	36,00	1.670.300,47	60.130.816,75	36,00	1.054.170,93	37.950.153,48	22.180.663,27	60
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	52
FERRAGEM DE AÇO CA-50 A	KG	5.108.143,68	8,32	42.474.214,69	4.971.054,73	7,29	36.238.988,98	6.235.225,71	10, 11, 12, 13, 16, 19, 20, 23, 24 (três diferentes códigos), 25, 34, 42, 59, 65, 67, 78 e 94.
CONCRETO FCK 40 MPA ALTO DESEMPENHO (CAD) COM ADIÇÃO DE MICROSILICA E FIBRA DE POLIPROPILENO	M3	30.847,21	816,80	25.196.001,14	30.847,21	626,85	19.336.575,68	5.859.425,46	41, 40 (dois diferentes códigos), 35, 27, 24, 23, 22, 15, 13, 12, 11 e 10
ASSENTO RETRÁTIL - GERAL	UN	40.761,00	383,69	15.639.588,09	40.554,00	373,20	15.134.752,80	504.835,29	15
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	14
CONCRETO ESPECIAL ESTACA HÉLICE - FCK 20 MPA AUTO-ADENSÁVEL	M3	17.626,32	810,42	14.284.722,25	12.292,82	653,65	8.035.201,79	6.249.520,46	13 e 63
FORMA PLANA APARENTE CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA DE 18 MM, COM [...]	M2	139.441,17	91,08	12.700.301,77	139.441,17	45,27	6.312.501,77	6.387.800,00	30, 27, 22, 21, 16 e 90
SERVIÇOS AGRUPADOS DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO (EXCLUINDO OS DUTOS)	TR	652,00	13.365,95	8.714.596,22	652,00	9.357,04	6.100.787,87	2.613.808,35	-
CONCRETO PRÉ-MOLDADO FCK 40 MPA ALTO DESEMPENHO [...]	M3	7.378,56	1.389,28	10.250.885,84	6.925,45	1.182,39	8.188.582,83	2.062.303,01	48 e 53
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	14, 16 e 78
DEMOLIÇÃO MECANIZADA DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO, EXCETO PISOS [...]	M3	23.846,83	327,53	7.810.552,23	23.846,83	79,48	1.895.352,29	5.915.199,94	78
TRANSPORTES - PROJETO EXECUTIVO	MÊS	36,00	205.763,26	7.407.477,36	36,00	190.511,39	6.858.409,99	549.067,37	74

ITEM	UN	ORÇAMENTO PROJETO EXECUTIVO		ANÁLISE DO TCU			SOBREPREÇO	CATEGORIA DE DOIS PRIMEIROS DÍGITOS
		QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	QUANTIDADE	PREÇO UNIT.		
TRANSPORTE, LANÇAMENTO E ESPALHAMENTO DE MATERIAL ESCAVADO [...]	M3	325.934,00	21,85	7.121.657,90	325.934,00	18,69	6.093.153,19	71
CIMBRAMENTO METÁLICO	M3	180.118,07	34,02	6.127.616,74	180.118,07	38,62	6.956.159,67	11 (dois diferentes códigos), 15, 17 (dois diferentes códigos), 42, 53 e 95
IMPERMEABILIZAÇÃO COM MANTA ASF. 3 MM, TIPO III-B, EL, OU SIMILAR, ADERIDA COM ASFALTO [...]	M2	41.649,69	144,31	6.010.466,76	41.649,69	147,45	6.141.291,64	60
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	59
DUTOS CONVENCIONAIS, EM SEÇÃO RETANGULAR E EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADA, E ESPESURAS [...]	KG	51.200,00	80,82	4.137.984,00	51.200,00	22,85	1.169.920,00	41
LOCAÇÃO DE GUINDASTE SOBRE PNEUS, LANÇA TRELICADA [...]	EQ	20,00	201.853,99	4.037.079,80	20,00	155.029,20	3.100.584,00	40
DUTOS CONVENCIONAIS, EM SEÇÃO RETANGULAR E EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADA, E [...]	KG	83.298,00	43,63	3.634.291,74	83.298,00	20,81	1.733.250,07	26 e 95
SWITCH ACESSO, 24 PORTAS, 10/100/1000MB, POE FULL, 2XSFP 10GB MM, LC	UN	81,00	38.603,60	3.126.891,60		NÃO ANALISADO		31
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE GUARDA CORPO METÁLICO	KG	110.080,25	28,13	3.096.557,43		NÃO ANALISADO		30
ESTACA ESCAVADA TIPO HÉLICE CONTÍNUA, COM DIÂMETRO 80 [...]	M	18.784,00	157,54	2.959.231,36	18.784,00	149,77	2.813.279,68	29
FORMA PLANA APARENTE CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA DE 18 MM, [...]	M2	31.736,15	91,08	2.890.528,54	31.736,15	45,27	1.436.695,44	19 e 48
TELÃO PARA PROJEÇÃO (PLACARES)	M2	80,00	34.965,03	2.797.202,40	120,00	13.798,86	1.655.862,61	27
CORTE DE AÇO (VERGALHÃO), INCLUSIVE REMOÇÃO DO LOCAL [...]	KG	1.216.188,44	2,13	2.590.481,38	1.216.188,44	0,38	460.854,48	25
FORMA PLANA APARENTE CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA [...]	M2	27.369,42	91,08	2.492.806,77	27.369,42	45,27	1.239.013,64	15 e 91
DUTOS CONVENCIONAIS, EM SEÇÃO RETANGULAR E EM CHAPA PRETA, [...]	KG	36.000,00	64,69	2.328.840,00	36.000,00	38,58	1.388.985,39	23

ITEM	UN	ORÇAMENTO PROJETO EXECUTIVO			ANÁLISE DO TCU			SOBREPREÇO	CATEGORIA DE DOIS PRIMEIROS DÍGITOS
		QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL		
ELEVADOR SEM CASA DE MÁQUINA 5 PARADAS 26 PASSAGEIROS [...]	UN	6,00	360.383,13	2.162.298,78	6,00	360.383,13	2.162.298,78	0,00	21
SWITCH CORE, XX PORTAS SFP 10GB MM, 48 PORTAS RJ45, 2XSUP, 2XFONTES	UN	2,00	1.044.451,08	2.088.902,16	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO		20
CUBÍCULO BLINDADO - COM MEDIÇÃO (CONF. DIAGRAMA DES. MAN. [...])	CJ	1,00	1.961.122,65	1.961.122,65	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO		19
DESMONTAGEM / RETIRADA 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	19
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	18
IMPLANTAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS (INFRAESTRUTURA / EDIFICAÇÕES / MOBILIÁRIO)	M2	2.005,00	929,26	1.863.166,30	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO		18
ESTACA ESCAVADA TIPO HELICE CONTÍNUA, COM DIÂMETRO 60 [...]	M	14.515,00	121,10	1.757.766,50	14.515,00	106,28	1.542.654,20	215.112,30	17
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	16
FORMA PLANA COMUM COMPENSADO RESINADO 12 [...]	M2	28.550,00	57,67	1.646.478,50	28.550,00	54,91	1.567.680,50	78.798,00	11, 29, 34, 46, 55, 59 e 77
DIVISÓRIA SANITÁRIA EM PAINÉIS ESPECIAIS ANTI VANDALISMO, EM LAMINADO ESTRUTURAL [...]	M2	2.540,76	640,19	1.646.478,50	2.540,76	549,72	1.396.706,59	249.771,91	16
INFORMÁTICA / TELECOMUNICAÇÃO (EQUIPAMENTOS / SOFTWARES / LICENÇAS)	MÊS	4,00	391.268,92	1.565.075,68	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO		15
PLACAS DE GESSO ACARTONADO - ACÚSTICA ET - 09.29.00 - 01	M2	7.338,10	211,70	1.553.475,77	7.338,10	108,31	794.799,88	758.675,89	15
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	15
FORRO MODULAR COM ALTA PERFORMANCE ACÚSTICA, 625X625MM, [...]	M2	8.117,31	184,84	1.500.403,58	8.117,31	188,34	1.528.814,17	-28.410,59	15
BARRAMENTO BLINDADO EM ALUMÍNIO COM CONEXÕES [...]	M	420,00	3.542,88	1.488.009,60	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO	NÃO ANALISADO		14
TRANSPORTE, LANÇAMENTO E ESPALHAMENTO DE MATERIAL [...]	M3	93.124,00	13,58	1.264.623,92	93.124,00	14,27	1.328.437,47	-63.813,55	12
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	11

ITEM	UN	ORÇAMENTO PROJETO EXECUTIVO			ANÁLISE DO TCU			SOBREPREÇO	CATEGORIA DE DOIS PRIMEIROS DÍGITOS
		QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL		
EMASSAMENTO DE PAREDE EXTERNA COM MASSA ACRÍLICA COM DUAS DEMÃO, [...]	M2	118.168,55	8,55	1.010.341,10	118.168,55	9,46	1.117.874,48	-107.533,38	10
VIDRO LAMINADO TEMPERADO ESPESURA 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	91
CARGA, TRANSPORTE, DESCARGA E ESPALHAMENTO DO MATERIAL [...]	M3	71.487,91	12,02	859.284,68	71.487,91	7,28	520.336,32	338.948,36	12 e 84
CARGA, TRANSPORTE, DESCARGA E ESPALHAMENTO DO MATERIAL [...]	M3	26.944,13	27,05	728.838,72	26.944,13	19,54	526.503,97	202.334,75	11, 16, 21, 29 e 45
IMPERMEABILIZAÇÃO COM MANTA ASF. 3 MM, TIPO III-B, EL, OU SIMILAR, [...]	M2	6.629,14	110,27	730.995,27	6.629,14	97,93	649.201,14	81.794,13	73
LOCAÇÃO DE SISTEMA DE TRILHOS PARA GRUA MÓVEL SOBRE TRILHOS, INCLUINDO: MOBILIZAÇÃO [...]	MÊS	14,00	97.714,22	1.367.999,08	14,00	97.714,22	1.367.999,08	0,00	13
MONTAGEM E DESMONTAGEM DE GRUA, INCLUINDO MÁO DE OBRA, EQUIPAMENTOS [...]	UN	2,00	356.403,46	712.806,92	2,00	211.870,09	423.740,18	289.066,74	71
ASSENTOS REBATÍVEL VIP - COM ESTRUTURA METÁLICA, ASSENTO E ENCOSTO [...]	UN	1.400,00	1.034,98	1.448.972,00	746,00	995,21	742.426,66	706.545,34	14
ASSENTOS REBATÍVEL VIP/HOSPITALIDADE, COM ESTRUTURA METÁLICA, [...]	UN	2.252,00	623,33	1.403.739,16	2.631,00	486,29	1.279.428,99	124.310,17	14
ASSENTOS PARA ESPECTADORES, REBATÍVEL COM ESTRUTURA [...]	UN	50,00	999,69	49.984,50	60,00	643,43	38.605,80	11.378,70	49
ASSENTOS REBATÍVEL VIP - COM ESTRUTURA METÁLICA, ASSENTO E ENCOSTO EM [...]	UN	17,00	1.446,61	24.592,37	7,00	1.391,03	9.737,21	14.855,16	24
GRAMA SINTÉTICA	M2	3.177,13	135,49	430.469,34	3.177,13	137,68	437.427,26	-6.957,92	43
ESTACA ESCAVADA TIPO HÉLICE CONTÍNUA, COM DIÂMETRO 30 [...]	M	17.999,00	81,60	1.468.718,40	17.999,00	56,94	1.024.863,06	443.855,34	57 e 89
AMOSTRA DE AUDITORIA							492.594.332,98		
% ORÇAMENTO TOTAL							79,97%		
SOBREPREÇO							86.544.009,11		
% SOBREPREÇO							20,87%		

Fonte: Elaboração própria com base nos dados fornecidos pelo TCU.





IBRAOP

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA
DE OBRAS PÚBLICAS
www.ibraop.org.br

ISBN: 978-85-93840-00-5