

Uso de testes de hipóteses para verificar a relação entre chuvas e interrupções no fornecimento de energia elétrica no sistema de distribuição

Use of Hypothesis Tests to Check the Relationship between Rainfall and Interruptions in the Supply of Electricity in the Distribution System

Uso de pruebas de hipótesis para verificar la relación entre lluvias e interrupciones en el suministro de energía eléctrica en el sistema de reparto

Utilisation des essais d'hypothèse pour vérifier la relation entre les précipitations et les interruptions de l'approvisionnement en énergie dans le réseau de distribution

Obed Leite Vieira 
 obed@dee.ufc.br
 Universidade Federal do Ceará (UFC)

Camilo Martins Castelo 
 Branco Camurca
 camilo.camurca@enel.com
 Enel Distribuição Ceará

Francisco Jeandson Rodrigues da Silva 
 jeandson@dee.ufc.br
 Centro Universitário 7 de Setembro (UNI7)

Douglas Aurélio Carvalho Costa 
 douglas.aurelio84@gmail.com
 Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Fellipe Souto Soares 
 fellipe@dee.ufc.br
 Universidade Federal do Ceará (UFC)

José Roberto Bezerra 
 jbroberto@ifce.edu.br
 Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Giovanni Cordeiro Barroso 
 gcb@fisica.ufc.br
 Universidade Federal do Ceará (UFC)

Resumo

Diversos eventos climáticos são causa de interrupções no fornecimento de energia no sistema de distribuição de energia elétrica. Entre eles, as chuvas são empiricamente consideradas causas diretas de interrupção. Com o objetivo de verificar estatisticamente a existência de uma relação entre o aumento do número de interrupções e a ocorrência de chuva, é utilizada a teoria do teste de hipóteses. Foi feito o comparativo da diferença das médias entre duas populações (quantidade média de interrupções em dias com chuvas e em dias sem chuvas) e testou-se a hipótese desse valor ser maior que zero. Entre as 70 localidades analisadas no sistema de distribuição da Enel Distribuição Ceará, em 56% há essa relação, com uma margem de 95% de confiança. Considerando o estado do Ceará como um todo, foi feito o teste para amostras emparelhadas cujo valor “p” foi próximo de zero, assim foi possível inferir uma forte relação entre a maior quantidade de interrupções quando ocorrem chuvas.

Palavras-chave: Chuva. Interrupções. Sistema de distribuição. Testes de hipóteses.

Abstract

Several climatic events are the causes of interruptions in the energy supply in the electricity distribution system. Among them, rains are empirically considered direct causes of the interruption. To statistically verify the existence of a relationship between the increase in the number of interruptions and rain occurrence, the hypothesis test theory is used. A comparison of the difference in means between two populations was made (average number of interruptions on days with rain and on days without rain) and the hypothesis that this value was greater than zero was tested. Among the 70 locations analyzed in the distribution system of Enel Distribuição Ceará, 56% has this relationship with a 95% confidence limit. Considering the state of Ceará as a whole, the test was performed for paired samples whose “p” value was close to zero, so it was possible to infer a strong relationship between the largest amounts of interruptions when it rains.

Keywords: Rain. Interruptions. Distribution system. Hypothesis tests.

Resumen

Distintos eventos climáticos son motivos de interrupciones en el suministro de energía en el sistema de reparto de energía eléctrica. Entre ellos, las lluvias son empíricamente consideradas causas directas de interrupción. Con el objetivo de verificar estadísticamente la existencia de una relación entre el aumento del número de interrupciones y la ocurrencia de lluvia, es utilizada la teoría de la prueba de hipótesis. Se hizo el comparativo de la diferencia de las medias entre dos poblaciones (cantidad media de interrupciones en días con lluvias y en días sin lluvias) y se probó la hipótesis de este valor ser mayor que cero. Entre los 70 lugares analizados en el sistema de reparto de la Enel Reparto Ceará, 56% hay esta relación con una fiabilidad de 95%. Considerando el Estado del Ceará como un todo, se hizo la prueba para muestras emparejadas cuyo valor “p” fue cerca de cero, de esta forma fue posible inferir una fuerte relación entre la mayor cantidad de interrupciones cuando ocurren lluvias.

Palabras-clave: Lluvia. Interrupciones. Sistema de reparto. Pruebas de hipótesis.

Résumé

Plusieurs événements climatiques sont la raison pour laquelle il y a d'interruptions de l'approvisionnement en énergie du réseau de distribution d'électricité. Parmi eux, les précipitations sont empiriquement considérées comme des causes directes d'interruption. Afin de vérifier statistiquement l'existence d'une relation entre l'augmentation du nombre d'interruptions et l'occurrence de précipitations, la théorie des tests d'hypothèses est utilisée. Une comparaison de la différence de moyenne entre deux populations a été effectuée (nombre moyen d'interruptions dans les jours pluvieux et dans les jours sans pluie) et l'hypothèse que cette valeur était supérieure à zéro a été testée. Parmi les 70 sites analysés dans le système de distribution d'Enel Distribuição Ceará (au Brésil), 56% ont cette relation avec une marge de confiance de 95%. En prenant de l'état du Ceará dans son ensemble, l'essai a été effectué pour des échantillons appariés dont la valeur « p » était proche de zéro. Il a, donc, été possible d'inférer une forte relation entre le plus grand nombre d'interruptions en cas de précipitation.

Mots-clés: Précipitation. Interruptions. Réseau de distribution. Essai d'hypothèse.

1 Introdução

O estudo do sistema elétrico de potência (SEP) apresenta importância em termos de geração, transmissão e de consumo de energia elétrica. Em específico, há o sistema de distribuição que faz a ligação entre a transmissão e o consumo, cujo fornecimento do serviço é realizado pelas concessionárias e permissionárias de energia elétrica, com o setor regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

O sistema de distribuição pode ser confundido com a topologia das cidades, pois sofre profunda influência das características urbanísticas, sociais, econômicas, geográficas e ecológicas da região em que está inserido, a fim de aumentar a proximidade entre o fornecimento e o consumidor final de energia elétrica (PUERTAS; NOGUEIRA, 1986).

Entre as diversas funções das distribuidoras, deve ser destacada aquela que está intimamente relacionada ao seu fim, que é o fornecimento de energia elétrica de forma contínua. A Aneel, por meio dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist), regulamenta como deve ser esse fornecimento e estipula indicadores que devem ser alcançados pelas concessionárias. As distribuidoras de energia elétrica possuem, atualmente, um elevado grau de responsabilidade e compromisso com o padrão de qualidade nos serviços prestados aos seus consumidores (SILVA JUNIOR, 2009).

Em específico, há o Módulo 8 do Prodist que estabelece os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica (ANEEL, 2008). Nele, há uma série de definições de indicadores e limites a serem adotados

pelas concessionárias, e um desses pontos é a interrupção no fornecimento que toma forma nos indicadores de continuidade do serviço de distribuição de energia elétrica. Os indicadores de continuidade do serviço de distribuição de energia elétrica são estabelecidos quanto à duração e frequência de interrupção, sendo agrupados em dois conjuntos (ANEEL, 2008): indicadores de continuidade individuais, conforme Tabela 1, e indicadores de continuidade de conjunto de unidades consumidoras, conforme Tab.(2).

Tabela 1 - Resumo dos indicadores de continuidade individuais.

Indicador	Definição
<i>Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC)</i>	Intervalo de tempo que, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica.
<i>Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC)</i>	Número de interrupções ocorridas, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão.
<i>Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão (DMIC)</i>	Tempo máximo de interrupção contínua de energia elétrica, em uma unidade consumidora ou ponto de conexão.
<i>Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão (DICRI)</i>	Corresponde à duração de cada interrupção ocorrida em dia crítico, para cada unidade consumidora ou ponto de conexão.

Fonte: Aneel (2018).

Tabela 2 - Resumo dos indicadores de continuidade de conjunto de unidades consumidoras.

Indicador	Definição
<i>Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC)</i>	Intervalo de tempo que, em média, no período de apuração, em cada unidade consumidora do conjunto considerado ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica.
<i>Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC)</i>	Número de interrupções ocorridas, em média, no período de apuração, em cada unidade consumidora do conjunto considerado.

Fonte: Aneel (2018).

Constantemente, as distribuidoras devem assegurar níveis mínimos de interrupção no sistema de acordo com as metas estabelecidas pela Aneel e, nesse caso, deve ser feito um estudo contínuo das suas possíveis causas. Todos os anos são estabelecidos limites máximos para interrupções em dois aspectos: frequência e duração das interrupções. Caso haja violação dos indicadores individuais, a distribuidora deve realizar a compensação aos consumidores afetados, na forma de crédito na fatura, em até dois meses após o período de apuração (ANEEL, 2008; ANEEL, 2014).

Muitos fatores podem ocasionar as falhas no sistema elétrico de potência SEP, tendo cada região suas peculiaridades, mas podem ser citadas as recorrentes em qualquer grande sistema de distribuição: vegetação em contato com a rede elétrica, descargas atmosféricas, defeito em equipamentos acidentados com terceiros – como o abalroamento de veículos com postes (SARWAT *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2015). No Ceará, nas regiões litorâneas, ainda podem ser citados os efeitos da maresia, que possui grande impacto nas redes elétricas litorâneas, resultando no desgaste da estrutura e, conseqüentemente, em possível queda de poste e rompimento dos cabos condutores de energia elétrica. Na Figura 1 pode ser observada a degradação dos cabos devido à erosão causada pela maresia (PINHEIRO, 2008).

Figura 1 – Efeito da maresia nos cabos.



Fonte: Pinheiro (2008).

Uma das causas que se relaciona indiretamente com as apresentadas anteriormente é a incidência de chuvas. Não se pode afirmar que as chuvas em si causem diretamente as interrupções no sistema de distribuição, mas pode-se atribuir devido ao impacto que ela traz junto com outros efeitos secundários, fatores determinantes para tais ocorrências (FARIAS; CORREIA, 2008):

- Aumento da incidência de ventos (intimamente relacionado ao contato da rede elétrica com a vegetação);
- Com as impurezas na água da chuva, podem ser fechados curtos-circuitos nas linhas aéreas de distribuição (também reforçado pela maresia);
- Aumento das descargas atmosféricas.

Apesar da intuição e experiência mostrar que existe uma relação entre as chuvas e as interrupções no SEP, procura-se, neste artigo, verificar, através de ferramentas da estatística descritiva e inferencial, o seguinte questionamento: **Quando chove, há um aumento na quantidade de interrupções no fornecimento de energia elétrica no sistema de distribuição?**

O estudo foi feito tomando como referência os níveis de precipitação fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2018) e os dados de interrupções do sistema de distribuição da concessionária local, a Enel Distribuição Ceará.

2 Metodologia

2.1 Área de estudo

O presente estudo iniciou-se com uma análise de cada base de dados: a de precipitações e a de interrupções no sistema.

O histórico de precipitações dos municípios e dos principais distritos cearenses é obtido por meio da base de dados fornecida pela Funceme (FUNCEME, 2018). Os dados são apresentados da data mais antiga que se tem a medição até os dias atuais, segmentados por ano, mês e dia. Portanto, é possível extrair o nível de precipitação diário de cada localidade.

Já na base de interrupções, há o histórico das faltas que resultaram em um desligamento com mais de 3 minutos para o restabelecimento. Na presente análise, foi considerado o período de janeiro de 2014 a outubro de 2016, quando foi realizado o estudo. É marcada a data/hora do início e do fim para cada ocorrência, bem como o respectivo conjunto de unidades consumidoras.

Dos 447 municípios e distritos presentes na base de precipitações, apenas 70 deles possuem correspondência direta com a base de interrupções.

Nesse ponto, algumas considerações foram necessárias:

- Apesar dos anos de 2014 a 2016 serem considerados anos de seca, houve incidência de chuvas, ainda que raras e esparsas, ao longo desse período. Como o intuito do trabalho é verificar uma relação entre chuvas e interrupções, basta saber se, em determinado dia, choveu ou não;
- Apesar de existirem causas que independem da incidência de chuvas (como furtos na rede, vandalismo e acidente com terceiros) e que estão presentes na base de interrupções, o presente estudo não tem o objetivo de expurgar essas causas, visto que isto pode ocorrer em dias de chuva ou sem chuva, portanto não interferindo significativamente no estudo;
- Não foram consideradas interrupções nas linhas de alta tensão (69 kV), pois, além de ser uma parcela pequena (menos de 10% do total de interrupções), essas faltas atingem várias localidades, resultando em difícil segregação do efeito e da localidade do evento, não sendo possível identificar se a ocorrência da interrupção foi em uma região em que estava havendo chuvas ou um região sem chuvas;
- Também foram expurgadas as intervenções na rede por meio da manutenção programada, uma vez que são eventos previsíveis.

2.2 Procedimentos

Para a análise da possível relação entre as chuvas e o número de ocorrências, foi utilizada a teoria dos testes de hipóteses. Uma explicação melhor dessa teoria pode ser encontrada em:

Em estatística, um teste de hipóteses é um método para verificar se os dados são compatíveis com alguma hipótese, podendo muitas vezes sugerir a não-validade de uma hipótese. O teste de hipóteses é um procedimento estatístico baseado na análise de uma amostra, através da teoria de probabilidades, usado para avaliar determinados parâmetros que são desconhecidos numa população

(...)

Os testes de hipóteses são sempre constituídos por duas hipóteses, a hipótese nula H_0 e a hipótese alternativa H_1 .

- Hipótese nula (H_0): é a hipótese que traduz a ausência do efeito que se quer verificar;
- Hipótese alternativa (H_1): é a hipótese que o investigador quer verificar.

(...)

O valor-p é uma estatística muito utilizada para sintetizar o resultado de um teste de hipóteses. Formalmente, o valor-p é definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema quanto aquela observada em uma amostra, assumindo verdadeira a hipótese nula (SAMPAIO; LEONI, 2014, p. 1-2).

O estudo presente neste artigo é voltado para a diferença entre duas médias populacionais (BORTOLON, 2008). Foram utilizados dois procedimentos dentro da teoria:

- O primeiro comparou duas populações com quantidade de elementos diferentes. Esse procedimento foi aplicado para cada um dos 70 municípios;
- O segundo utilizou medições de forma emparelhada, ou seja, uma quantidade fixa de pares de valores. Cada par se refere a um município. Portanto, foram avaliados 70 pares (municípios).

2.2.1 Primeiro procedimento

Deseja-se saber se há mais ocorrências de interrupções no sistema de distribuição de energia elétrica, com tempo de duração maior ou igual a três minutos, em dias de chuva ou em dias sem chuva. Logo, têm-se duas populações:

- Dias em que choveu, com o seu respectivo número de ocorrências; e
- Dias em que não choveu, com o seu respectivo número de ocorrências.

Nesse caso, para cada um dos 70 municípios, no período de tempo levantado nas bases de dados, foi feito o seguinte teste de hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 \geq \mu_2 \rightarrow \mu_2 - \mu_1 \leq 0 \\ H_1: \mu_1 < \mu_2 \rightarrow \mu_2 - \mu_1 > 0 \end{cases}$$

Em que:

- μ_1 : é a média da quantidade de ocorrências nos dias em que **não** choveu;
- μ_2 : é a média da quantidade de ocorrências nos dias em que **choveu**.

Nesse caso, testa-se a hipótese nula (H_0), que representa uma média de ocorrências nos dias em que não choveu maior ou igual a média de ocorrências nos dias em que choveu. Já a hipótese alternativa (H_1) é referente à média de ocorrências quando chove ser maior que a média de ocorrências quando não chove. Trata-se, assim, de um teste unilateral.

Admitindo que o número de ocorrências por dia seja representado por uma distribuição normal, e considerando o número de medições grande, calcula-se o teste Z, com a variável z calculada pela Eq.(1):

$$z = \frac{(\bar{x}_2 - \bar{x}_1) - (\mu_2 - \mu_1)}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2}}} \quad (1)$$

Em que:

- z: variável a ser comparada com o correspondente do nível de significância na distribuição normal;
- \bar{x}_1 : média de ocorrências da amostra para dias em que não houve chuva;
- \bar{x}_2 : média de ocorrências da amostra para dias em que choveu;
- n_1 : número de dias em que não choveu;
- n_2 : número de dias em que choveu;
- σ : é o desvio padrão populacional.

Como se deseja saber se a diferença das médias populacionais é maior que zero, $(\mu_2 - \mu_1) = 0$.

Como se trata de uma amostra cujo σ é desconhecido, pode-se estimá-lo pelo desvio padrão amostral de cada população, através da Eq.(2):

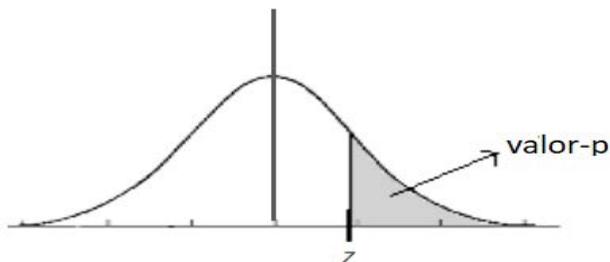
$$\sigma^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2)$$

Em que:

- s_1 : desvio padrão amostral das ocorrências nos dias em que não choveu;
- s_2 : desvio padrão amostral das ocorrências nos dias em que choveu.

De posse do valor do desvio padrão populacional, passa-se ao cálculo de z para aferir o valor “p” (área à direita da distribuição normal), como é mostrado na Figura 2. Como é um teste unilateral, é considerada a área à direita do valor da diferença entre as médias como valor “p”.

Figura 2 - Representação gráfica dos valores z e p.



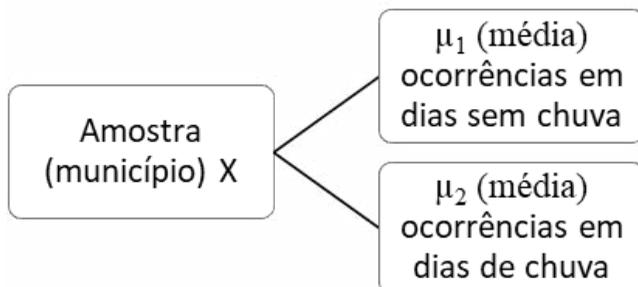
Fonte: Elaboração própria (2019).

O nível de significância utilizado neste trabalho é de 5% (95% de confiança do resultado teste), valor comumente aceito pela comunidade científica. Assim, se o valor “p” for maior que o nível de significância, se aceita a hipótese nula (H0). caso contrário, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa.

2.2.2. Segundo procedimento

Para cada um dos 70 municípios foi feito o teste de hipóteses para verificar se o número de ocorrências aumenta ou não com as chuvas. Para considerar um resultado levando em conta o estado do Ceará, em vez de levantar todos os dias de todos os conjuntos, é considerada como amostra os próprios 70 municípios. Assim, são 70 medições, com cada município fornecendo as respectivas informações: média de ocorrência dos dias em que choveu e a média dos dias em que não choveu, como é mostrado na Fig.(3).

Figura 3 - Diagrama exemplificativo do tratamento de cada amostra no estudo do teste de hipóteses para todo estado do Ceará.



Fonte: Elaboração própria (2018).

Contudo, para esse caso geral do estado do Ceará, é preferível utilizar amostras emparelhadas, pois cada um dos 70 municípios possui duas medições (μ_1, μ_2) (LOPES *et al.*, 2015). Assim, cada município será um par amostral (70 pares no total), e a variável utilizada no teste de hipóteses continua sendo a diferença entre a média de ocorrências dos dias em que choveu e dos dias em que não choveu.

Para tanto, é utilizado o mesmo teste de hipóteses já mencionado, mas com a variável “z”, obtida agora pela Eq.(3):

$$z = \frac{(\mu_2 - \mu_1)}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} \tag{3}$$

3 Resultados e discussão

O primeiro procedimento apresentado foi aplicado em cada um dos 70 municípios separadamente. Os resultados são mostrados na Tab.(3).

Tabela 3 - Resumo dos testes de hipóteses para os 70 municípios.

	Aceita H_0	Rejeitada H_0 (= aceita H_1)
N.º conjuntos	31	39
N.º conjuntos (%)	44%	56%

Fonte: Elaboração própria (2019).

A Tabela 4 aborda os testes de hipóteses específicos para dois casos: um município com H_0 aceita e outro para H_0 rejeitada. São mostrados nessa tabela os parâmetros e resultados do estudo, bem como os valores obtidos por meio das fórmulas apresentadas ao longo deste artigo.

Tabela 4 – Exemplo de um município analisado nos testes de hipóteses, um município com H_0 aceita e outro para H_0 rejeitada.

	Município com H_0 aceita	Município com H_0 rejeitada
S_1	7,78	2,67
S_2	9,14	2,71
μ_1	7,65	3,64
μ_2	8,97	4,22
$\bar{x}_2 - \bar{x}_1$	1,32	0,58
n_1	933	962
n_2	101	72
σ	7,92	2,67
Valor p	0,055 (>5%, aceita H_0)	0,037 (<5%, rejeita H_0)

Fonte: Elaboração própria (2019).

Observa-se, pela Tabela 3, que a maioria dos conjuntos rejeitou a hipótese nula (39 conjuntos), ou seja, a média de ocorrências em dias **com** chuva **é maior** que a média em dias **sem** chuva, com uma confiança de 95%. Contudo, apesar de ser a maioria, a diferença das quantidades que rejeitaram e aceitaram H_0 não foi notória (56% em comparação com 44%). Dessa forma, não se pode afirmar que é unânime para cada sistema de distribuição de cada conjunto em que há essa relação de chuva com a quantidade de ocorrências.

Para exemplificação, na Tabela 4, mostram-se os resultados parciais para que se encontre o valor “**p**” em dois casos, com H_0 sendo aceita e outro com H_1 aceito (H_1 aceito quando H_0 é rejeitado). Os dois municípios mostrados fazem parte dos 70 municípios analisados. Ressalta-se, conforme já discutido neste artigo, que o aceite de H_0 está relacionado ao valor **p** ser maior que 5% (5,5% na Tabela 4), e a rejeição de H_0 a ter o valor **p** menor que zero (3,7% na Tabela 4).

O valor obtido para σ , na Tabela 4, foi calculado por meio da equação apresentada no tópico 2.2.1, cujos parâmetros estão também mostrados na Tabela 4: desvios padrões amostrais S_1 e S_2 ; médias μ_1 e μ_2 ; número de dias (número de elementos) n_1 e n_2 , lembrando que o índice 1 representa dias sem chuva e o índice 2, dias com chuva.

Ainda na Tabela 4, observa-se que o município que rejeitou H_0 (ou seja, maior número de ocorrências em dias em que não chove) possui valores de n_1 e n_2 diferentes do município com H_0 rejeitada (ou seja, maior número de ocorrências em dias em que chove). Para H_0 rejeitada, houve 29 (101-72) dias a menos de chuva do que para H_0 aceita. Assim, mesmo com menos dias de chuva, o método foi aplicado e foi verificado que o município H_0 rejeitado apresentou maiores interrupções em dias de chuva. Portanto, não há uma relação direta entre quantidade de dias de chuva com o fato de, aquele município em específico, ter mais ocorrências nesses dias, mas, sim, mesmo com poucos dias de chuva, esses dias apresentarem maior quantidade de ocorrências.

Para o segundo procedimento, considerando o teste de hipóteses para todo o estado do Ceará, utilizou-se os 70 pares, para o mesmo teste, com a diferença do desvio padrão não ser mais entre duas amostras, mas sim o desvio padrão do conjunto dessas diferenças. O resultado é mostrado na Tab.(5).

Tabela 5 - Parâmetros utilizados no teste de hipóteses para o estado do Ceará.

$\bar{x}_2 - \bar{x}_1$	1,56
σ	1,55
n	70
z	8,45
Valor p	$\approx 0,00$

Fonte: Elaboração própria (2019).

Observa-se pela Tabela 5 que a diferença das médias foi positiva em 1,56, ou seja, em média, ocorre 1,56 ocorrências a mais em dias em que chove do que nos dias em que não chove. O valor de p obtido foi praticamente 0, ou seja, bem abaixo do nível de significância, rejeitando a hipótese nula H_0 .

Dessa forma, por meio dos testes de hipóteses, é possível acreditar fortemente que, levando em consideração 70 localidades do estado do Ceará, **a quantidade de interrupções no fornecimento é maior nos dias em que chove do que nos dias em que não chove.**

4 Conclusão

Apresentou-se neste trabalho, através de testes de hipóteses, uma análise do sistema de distribuição quanto à interrupção no fornecimento em dias com chuva e sem chuva.

Foram obtidas duas respostas para a pergunta “Quando chove, há um aumento na quantidade de interrupções no fornecimento de energia elétrica no sistema de distribuição?”, de acordo com a abrangência do estudo. Considerando 70 sistemas de distribuição isoladamente, para 56% deles pode-se afirmar, com 95% de confiança, que a resposta é “sim”. Mas, por ser um número próximo da metade das amostras observáveis, não é possível dizer que essa regra vale para todos os conjuntos.

Considerando todo o estado do Ceará, com 70 municípios servindo como amostra do comportamento do sistema de distribuição de energia elétrica em dias com chuva e dias sem chuva, foi possível obter um valor médio de 1,56 ocorrências - faltas com durações maiores que 3 minutos - a mais em dias com chuva do que em dias sem chuva, além de um valor “p” praticamente nulo, abaixo do nível de significância de 5%, sendo possível aceitar fortemente que há maiores interrupções no sistema de distribuição em dias de chuva.

De posse da base de dados de interrupções (obtida pela concessionária de energia elétrica local) e de precipitações (obtida pela entidade meteorológica local), é possível estender a análise, em trabalhos futuros, para as demais regiões do país, e verificar uma relação nacional entre chuvas e falhas na rede de distribuição de energia elétrica.

Referências

ANEEL. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional**: PRODIST, módulo 8 – qualidade da energia elétrica. [S. l.]: ANEEL, 2008.

ANEEL. **Indicadores de fornecimento**. [S. l.]: ANEEL, 2014.

ANEEL. **Indicadores coletivos de continuidade**: DEC e FEC. [S.L]: ANEEL, 2018.

BARBOSA, V. E. T; *et al.* **A influência de fatores climáticos nas interrupções do sistema de distribuição de energia elétrica**: um estudo de caso. [S. l.]: COMTECC. 2015.

BORTOLON, P. M. **Aula 10: testes para duas amostras.** [S. l.]: Universidade do Espírito Santo. 2008.

FARIAS, W. R. G.; CORREIA, M. de F. Descargas atmosféricas e interrupções de energia elétrica na área da CHESF: relação com variáveis atmosféricas em anos de El Niño e La Niña. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 270-281, set. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000300002> Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862008000300002&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 17 fev. 2020.

FUNCEME. **Base de dados de precipitações na região do Ceará.** [S. l.]: FUNCEME, 2018.

LIMA, H.; COSTA, R.; SOARES, A.; LAUREANO, G. Reconhecimento de árvores usando visão computacional para prevenir interrupções no sistema de distribuição de energia elétrica. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 11., 2015, Goiania. **Anais[...]** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2015. p. 135-138.

LOPES, A. C. B.; LEINIOSKI, A. C.; CECCON, L. **Testes t para comparação de médias de dois grupos independentes.** [S. l.]: UFPR, 2015.

MARTINS, B. G. **Sistemas de energia (SIE): aula 15 - qualidade de energia.** [S. l.]: IFSC, 2017.

PINHEIRO, W. **A corrente de fuga como parâmetro indicativo do estado de degradação de materiais poliméricos de rede compacta de média tensão, instalados em ambientes agressivos.** Orientador Geraldo Francisco Burani, 2008, 247f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PONTES, M. do S.; REBOUÇAS, C. R. Boas práticas de manutenção para a melhoria dos indicadores de qualidade de serviço. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 17. 2006, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: [s.d.], 2006. p. 1-12.

PUERTAS, H.; NOGUEIRA, C. A. M. **Sistema de distribuição de energia elétrica.** Revista do Serviço Público, v. 43, n. especial, p. 49-53, 1986. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/2799>. Acesso em: 17 fev. 2020.

SAMPAIO, N. A. de S.; LEONI, R. C. **Utilização dos testes de hipóteses para a média na tomada de decisão.** São Paulo: UNESP, 2014.

SARWAT, A. I.; AMINI, M. H.; DOMIJAN, A. J.; DAMNJANOVIC, A.; KALEEM, F.; Weather-based interruption prediction in the smart grid utilizing chronological data. **Journal of Modern Power Systems and Clean Energy**, v. 4, n. 2, p. 308-315, 2016.

SILVA JUNIOR, J. L.; OLIVEIRA, J. T.; LACERDA, E. G. M.; FRANÇA, R. V.; OLIVEIRA, R.; MEDEIROS JUNIOR, M. F.; Reconfiguração da rede de distribuição da COSERN para restabelecimento do fornecimento de energia. *In*: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 5., 2009, Belém. **Anais [...]**. Belém: [s.d.], 2009, p.1-8.

Sobre os autores

Obed Leite Vieira

Mestre em Engenharia Elétrica (Sistemas de Energia Elétrica) pela Universidade Federal do Ceará (UFC) em 2019. Graduado em Engenharia Elétrica pela UFC em 2014. Auditor fiscal de tributos do município de São Luís desde 2019. Exerceu função de professor substituto na Universidade Federal de Ceará, no curso de Engenharia Elétrica, em 2015, e de engenheiro eletricista na Enel Distribuição Ceará entre 2015 e 2017.

Camilo Martins Castelo Branco Camurca

Pós-Graduando em Gestão de Negócios, com ênfase no setor elétrico, pelo IBMEC/Unifanor (2017-Atual). Especialista de planejamento da expansão do sistema elétrico de distribuição de alta e média tensão da Enel Ceará. Pós-Graduado em Gerenciamento de Projetos pela Universidade de Fortaleza (2012). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (2007). Experiência em redes de computadores: protocolo IP, Wi-Fi, VoIP, segurança e análise de tráfego. Experiência em sistemas de potência: simulação computacional de fluxo de carga, análise de viabilidade técnica de conexão de acessantes (carga/geração) e elaboração de projetos de investimento para a expansão e melhoria do fornecimento de energia elétrica do estado do Ceará. Experiência em sistemas de gestão de qualidade (ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001). Experiência com ferramentas de business intelligence - Power BI / Analytics.

Francisco Jeandson Rodrigues da Silva

Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (2019). Graduado em Engenharia Elétrica pela UniFanor (2016). É professor dos Centros Universitários Uni7 e UniFanor Wyden. Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (2010). Realiza pesquisa voltada para as áreas de sistemas de potência com a inserção de energias renováveis, com ênfase em análise de fluxo de carga em microrredes trifásicas conectadas e monofásicas ilhadas. Tem experiência em empresa de distribuição de energia elétrica.

Douglas Aurélio Carvalho Costa

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (2018). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (2011). Possui experiência profissional em instalações elétricas prediais. Foi professor adjunto do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Universitário 7 de Setembro (UNI7). Atualmente, é professor EBTT dedicação exclusiva no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *campus* Cedro. Tem interesse em atividades de instalações elétricas, sistema de potência e fontes alternativas de energia. Atualmente, tem como foco em suas pesquisas a geração distribuída fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica.

Fellipe Souto Soares

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (2016). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (2018). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (2016). Atualmente, suas pesquisas se concentram na área de métodos computacionais aplicados a sistemas de potência.

José Roberto Bezerra

Doutor em Engenharia Elétrica na área de *smart grids* pela Universidade Federal do Ceará (2015) e pesquisador visitante na *Brunel University London* (2015), supervisionado pelo Professor Dr. Ahmed Zobaa no âmbito do programa CsF. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (2004). Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Informática Industrial (2002). Atualmente, é professor associado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Tem experiência na área de sistemas de automação e controle de sistemas de potência, atuando principalmente nos seguintes temas: diagnóstico de falta, sistemas de potência, redes de petri, redes inteligentes (*smart grids*) e restauração automática de redes de distribuição de energia.

Giovanni Cordeiro Barroso

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1996). Mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1986). Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (1982). Professor titular da Universidade Federal do Ceará. Tem experiência na área de engenharia elétrica e ensino a distância, com ênfase em controle supervisorio, redes de Petri coloridas, *smart grids*, algoritmos evolucionários, análise e modelagem de sistemas produtivos e avaliação na educação a distância.

Recebido em: 08.02.2020

Aceito em: 13.03.2020