

ESTATÍSTICA APLICADA A ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS NA ENGENHARIA CIVIL

Eugênio Queiroz Chaves – eugenioqc30@gmail.com

UNICHRISTUS

Rua Coronel Jucá, nº1612, apto. 701

60170320 – Fortaleza – Ceará

Carlos Alex Martins Oliveira – Calexmo@hotmail.com

UNICHRISTUS

Rua capitão Nestor Góis nº33 apto 303

60320380 – Fortaleza – Ceará

Mariana Gomes de Azevedo – marianagomesazevedo@outlook.com

UNICHRISTUS

Rua Rafael Tobias, 710

60833196 - Fortaleza – Ceará

Nelson de Oliveira Quesado Filho – nquesado@gmail.com

UNICHRISTUS

Av. Dom Luís, 911

60160230 – Fortaleza – Ceará

Diego de Sousa Rodrigues – diego.sousa.ismart@gmail.com

UNICHRISTUS

Rua Jorge Dumar, 1703

60410426 – Fortaleza – Ceará

Resumo: Aliar teoria e prática é um ponto a ser analisado pelo estudante de engenharia, principalmente a partir das disciplinas iniciais de sua grade curricular. Partindo desse pensamento, o trabalho de pesquisa elaborado buscou abranger as disciplinas de estatística e hidrologia e teve como objetivo constatar a existência da relação entre a estatística e os dados pluviométricos. A pesquisa situou-se em um local mais específico, com o intuito de ter maior precisão nos dados coletados, sendo esta região o Posto Pluviométrico Pici, no município de Fortaleza, estado do Ceará. No caso do trabalho em questão, adotaram-se às quantidades de chuva em cada mês do ano durante um período de dez anos para posteriores interpretações desses dados. Para auxiliar o entendimento dos valores obtidos, utilizou-se ferramentas estatísticas como gráficos e tabelas desenvolvidos e exibidos através do software Excel. Desse modo, observou-se que a estatística é uma ferramenta que pode ser utilizada nos estudos pluviométricos em projetos de engenharia, pois a partir dos dados coletados, obteve-se a média e o total de chuvas de cada ano na cidade de Fortaleza. Com base nesses dados despreendeu-se que as quantidades de chuvas por ano, em um determinado período apresenta uma maior incidência, sendo mais especificamente de Março até Maio.

Palavras-chave: Estatística. Hidrologia. Precipitação. Excel. Fortaleza.

1 INTRODUÇÃO

O excesso de chuva ou a falta dela pode provocar diversos problemas para a sociedade, como alagamentos ou problemas nos abastecimentos hídrico-sanitários. Nesse contexto, algumas ciências estudadas na engenharia, como é o caso da hidrologia, mostram de forma mais clara e fácil como interpretar os dados pluviométricos, auxiliada pela estatística.

De acordo com Calvetti (2006), precipitação é um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência. O tratamento dos dados de precipitação para grande maioria dos problemas hidrológicos é estatístico. Isso inclui neve, chuva e chuva de granizo. A precipitação é uma parte importante do ciclo hidrológico, sendo responsável por retornar a maior parte da água doce ao planeta. O estudo pluviométrico é de extrema importância para o estudo estratégico de planejamento do meio ambiente. Dentre as áreas que mais se relacionam com o estudo da precipitação, destacam-se estradas, abastecimento hídrico e saneamento básico.

A pesquisa tem como destaque o planejamento de vias e suas declividades, dimensionamento de bocas de lobo, dentre outros fatores que englobam as devidas estimativas que se deve ter para um planejamento de obras de boa qualidade. Ainda assim, o trabalho se propôs a ajustar modelos estatísticos para estimativa dos totais precipitados médios mensais no período chuvoso, os quais foram computados, do total precipitado médio no período mais seco do ano e do total médio anual, para a aplicação na cidade de Fortaleza.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar o nível pluviométrico da região de Fortaleza em torno do Posto Pici, através do auxílio de conhecimentos na área da estatística aliada à hidrologia e mostrar as consequências decorrentes dos resultados obtidos nos setores de mobilidade urbana, abastecimento de água e saneamento básico.

1.2 Objetivos Específicos

- Estudar as aplicações que a estatística traz para a hidrologia;
- Verificar de que modo a variabilidade dos dados afetam na engenharia civil;
- Discutir como a correlação e regressão auxilia como meio mais fácil de visualização de resultados no ramo da hidrologia;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo terá como enfoque dissertar as pesquisas bibliográficas feitas em torno do assunto em questão: estatística aplicada à hidrologia. Logo depois será mostrada uma aplicação direta da estatística em estudos pluviométricos.

2.1 Correlação e regressão

A correlação é a medida padronizada da relação entre duas variáveis e indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. A correlação nunca pode ser maior do que 1 ou menor do que -1. Quando fica próxima de zero indica que as duas variáveis não estão relacionadas.

Ademais, a relação fica mais forte quanto mais próxima à correlação de -1. Duas variáveis que estão perfeitamente correlacionadas positivamente ($r=1$) movem-se essencialmente em perfeita proporção na mesma direção. Dois conjuntos que estão perfeitamente correlacionados negativamente movem-se em perfeita proporção em direções opostas. A relação entre as variáveis é evidenciada pela formação de um padrão no diagrama de Dispersão.

→ Tipos de correlação:

- i. A correlação entre 02 variáveis pode ser:
- ii. Correlação Positiva: O aumento de uma variável corresponde ao aumento da outra.
- iii. Correlação Negativa: O aumento de uma variável corresponde a diminuição da outra.
- iv. Correlação Linear: Quando é possível ajustar uma reta, pode ser forte (quanto mais próximas da reta) ou fraca (quanto mais distantes da reta).
- v. Correlação não linear: Quando não é possível ajustar uma reta.

→ Diagrama de dispersão

O diagrama de dispersão é um gráfico onde pontos no espaço cartesiano xy são usados para representar simultaneamente os valores de duas variáveis quantitativas medidas em cada elemento do conjunto de dados.

2.2 Aplicações na engenharia

Com o propósito de solucionar diversos problemas de engenharia no cotidiano, métodos e pensamentos estatísticos são claramente necessários para se obter decisões corretas em meio a inúmeras dúvidas. Para resolver os problemas da sociedade, engenheiros civis utilizam o chamado método de engenharia ou métodos científicos, no qual se utiliza inúmeros métodos da estatística, como coletar, analisar e demonstrar dados, além de conduzir vários experimentos com o objetivo de encontrar uma solução apropriada para determinado problema.

“Devido a muitos aspectos da prática de engenharia envolverem o trabalho com dados, obviamente algum conhecimento de estatística é importante para qualquer engenheiro” (MONTGOMERY, 2000).

2.3 Estudos hidrológicos em projetos de engenharia

Dentre os inúmeros casos que podem ser estudados usando a estatística, aqui se destaca um. Tal caso se encontra em uma pequena parte da hidrologia, que são os estudos pluviométricos em projetos de engenharia. A utilização da estatística tem como objetivo fornecer auxílio para trabalhar com coleta, organização, resumos, análise e apresentação de todos os dados levantados.

“Chama-se pluviometria (do latim *pluvia*, que significa chuva) à quantificação das precipitações” (VAREJÃO-SILVA, 2000). Quando se estuda hidrologia, pensa-se logo em vazões, precipitações, evaporações, escoamento e armazenamento de água, chuvas, entre várias outras variáveis hidrológicas.

2.4 Modelos estatísticos presentes na hidrologia

Desse modo, modelos estatísticos se propõem demonstrar para melhor entendimento do assunto. Dentre os modelos existentes, neste trabalho consta a demonstração de somatórios, médias, probabilidades, correlações e regressões, desvio-padrão e variância.

3 MÉTODOS

A pesquisa realizada foi do tipo quantitativo, na qual se buscou resultados que pudessem ser medidos, pelo meio da coleta de dados sem instrumentos formais e estruturados de uma maneira mais organizada e intuitiva. “A pesquisa quantitativa é aquela que se baseia em dados mensuráveis, buscando verificar e explicar sua existência, relação ou influência, através da aplicação de ferramentas estatísticas” (RICHARDSON, 2017). O tipo de pesquisa de campo foi o escolhido dentre as pesquisas quantitativas. Este tipo de pesquisa vai além da observação dos fatos e fenômenos e faz uma coleta do que ocorre na realidade a ser pesquisada. Depois disso,

a amostra é analisada e seus dados são interpretados com base em uma fundamentação teórica sólida com o desígnio de elucidar o problema pesquisado. Dentre os métodos de coleta de dados, foram utilizados documentos, observação e análise estatística.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é abordada uma aplicação direta da estatística em estudos pluviométricos no município de Fortaleza, no Estado do Ceará. Com a coleta de dados realizada durante a pesquisa, é demonstrado médias anuais, gráficos e tabelas para um bom entendimento do assunto.

Em função da justificada preocupação atual com a utilização racional da água potável, é cada vez maior a busca por alternativas eficientes para a redução do seu consumo. Entre essas soluções, o aproveitamento da água pluvial aparece como uma alternativa, pois, além de reduzir o consumo da água potável, funciona indiretamente como uma medida não estrutural para a drenagem urbana. Dentro deste sistema, a dimensão do reservatório é item fundamental para que o mesmo possua viabilidade econômico-financeira (DE AMORIM e DE ANDRADE PEREIRA, 2008).

4.1 Apresentação dos dados

A partir de dados obtidos pelo FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) puderam-se aplicar tópicos da estatística, com o intuito de ajustar modelos estatísticos para estimativa dos totais precipitados médios anuais e do total precipitado do ano, no município de Fortaleza, no estado do Ceará. De acordo com a Tabela 1, é mostrado todos os valores das precipitações durante dez anos no Pici, em Fortaleza.

Tabela 1: Quantidade de chuvas no posto do Pici – Fortaleza

Quantidade de chuvas no POSTO PICI - Fortaleza											
MESES	ANOS										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Janeiro	14,5	53,7	36,5	251,6	140,7	35,9	679,4	48,1	37,7	63,4	114,8
Fevereiro	87,3	74,9	279,8	1,8	304,9	25,8	458,2	173,2	105,4	112,5	193,7
Março	255	203,9	335,5	219,4	451	206,1	217,2	488,6	38,3	218,5	418,6
Abril	163,9	398,7	226	490,4	510,3	334	343,1	169,7	156,3	272	445
Maiο	335,2	405	181,6	223,7	302,9	167,2	196,9	99,7	150,3	237,6	102,4
Junho	150,4	189,3	81	77,9	208,3	59,4	128,2	271,7	107,3	32,6	92,1
Julho	23,2	55,5	78,1	21,7	215,4	44,9	130,7	1,1	89,1	43,2	145,1
Agosto	3,2	12,5	*	34,3	37,8	*	50,2	*	10,6	10,5	11,2
Setembro	1	10,4	*	*	1,8	*	*	*	15,1	17	12,7
Outubro	0	3,2	*	*	1,4	*	23,8	*	2,4	6,6	16,8
Novembro	0	2,7	5	*	4,1	*	7,3	0	*	17,7	2,4
Dezembro	1,4	11,5	87,5	*	40,3	58,3	2,5	4,6	1,8	19,3	24,4
* Não há histórico de chuvas para este posto neste período											
Total por ano:	1035,1	1421,3	1311	1320,8	2218,9	931,6	2237,5	1256,7	714,3	1050,9	1579,2
Média	86,25833	118,4417	145,6667	165,1	184,9083	116,45	203,4091	139,6333	64,93636	87,575	131,6

Fonte: FUNCEME (2016).

A partir dos dados obtidos na Tabela 1, foi analisada, em seguida, a correlação existente entre os anos demonstrados na Tabela 2. Os resultados obtidos estão demonstrados em 12 tabelas referentes aos anos de 2005 a 2015 como por exemplo a Tabela 2:

Tabela 2: Correlação entre o ano de 2005 e os demais

R (Relação ano 2005)	
R	R ²
2005/2005 r=1	2005/2005 r ² =1
2005/2006 r=0,888223965485814	2005/2006 r ² =0,788941812863344
2005/2007 r=0,731588058333903	2005/2007 r ² =0,53522108709677
2005/2008 r=0,577907974829468	2005/2008 r ² =0,333977627371497
2005/2009 r=0,768586288040862	2005/2009 r ² =0,590724882164431
2005/2010 r=0,722275804341177	2005/2010 r ² =0,521682337536694
2005/2011 r=0,211934075128115	2005/2011 r ² =0,0449160522004095
2005/2012 r=0,699387239020953	2005/2012 r ² =0,489142510105352
2005/2013 r=0,697546841103334	2005/2013 r ² =0,48657159553324
2005/2014 r=0,848788741266419	2005/2014 r ² =0,720442327300632
2005/2015 r=0,586469392805601	2005/2015 r ² =0,34394634869777

Fonte: Autor (2017).

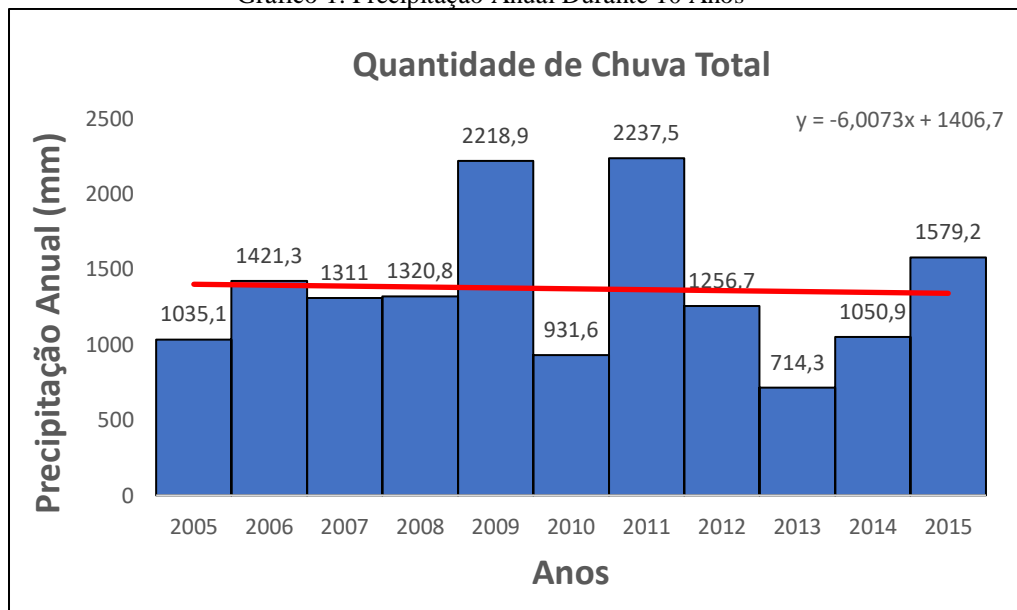
Quando é calculado o r (coeficiente de correlação), esta quantificando a intensidade de correlação entre as duas variáveis e quando se calcula o r² (coeficiente de determinação ou explicação) é analisada a porcentagem de correlação entre as duas variáveis. Por exemplo, comparando o grau de correlação entre os anos de 2014 e 2015, percebeu-se que existem aproximadamente 69% de relação entre as chuvas nos dois anos.

4.2 Utilizando os dados para demonstração de modelos estatísticos

Com todos esses dados coletados foi possível realizar gráficos para que representem de forma ilustrativa os resultados obtidos. Foi utilizado o software Excel para auxiliar na elaboração de gráficos e tabelas, além dos cálculos desta pesquisa.

O Gráfico 1 traz a informação da quantidade total de chuva em cada ano, desde 2005 até 2015. Para realizar tal gráfico foi feito um somatório de cada ano e adicionado uma linha de tendência, representada por uma linha vermelha, a qual mostra que a quantidade de chuva aumenta ou diminui com uma taxa fixa.

Gráfico 1: Precipitação Anual Durante 10 Anos



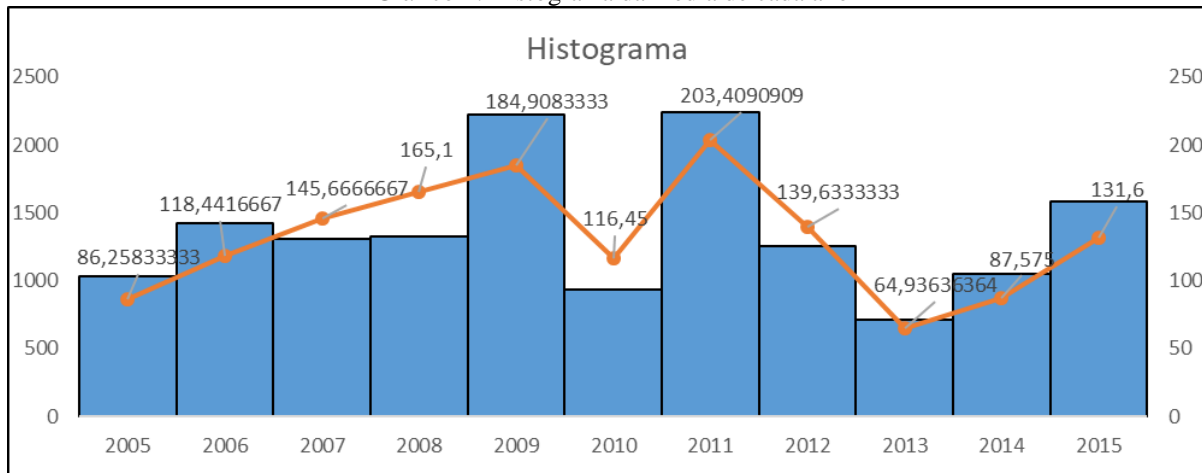
Fonte: Autor (2017).

A partir do gráfico acima, conseguiu-se fazer um histograma, o qual representa a média de chuva de cada ano. Para obter a média de cada ano foi feito o seguinte cálculo:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Onde x_1, x_2, \dots, x_n representam os valores de cada mês durante um ano. Por exemplo, se tomar o ano de 2005, soma-se todos os valores obtidos durante este ano. Em seguida, o total é dividido pela quantidade de meses somados, ou seja, o doze, representado no Gráfico 2:

Gráfico 2: Histograma da média de cada ano



Fonte: Autor (2017).

Outro dado que se pode obter é o desvio padrão. O qual é a medida mais comum da dispersão estatística. Ele mostra o quanto de variação ou "dispersão" existe em relação à média. Para obter o desvio padrão de um grupo de dados agrupados (frequência) tem-se:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(\sum_{i=1}^k f_i)} \times \sum_{i=1}^k ((x_i - \bar{x})^2 \times f_i)} \quad (2)$$

Onde k é o número de observações diferentes. Em outras palavras, o desvio padrão amostral de uma variável aleatória X pode ser calculada como:

- i. Para cada valor x_i (valor de cada mês, em cada ano) calcula-se a diferença $x_i - \bar{X}$.
- ii. Calcula-se o quadrado dessa diferença. No caso de os dados estarem tabelados (com frequências), multiplica-se cada um destes quadrados pela respectiva frequência.
- iii. Encontra-se a soma dos quadrados das diferenças. No caso de os dados estarem tabelados (com frequências), a soma é a dos produtos dos quadrados das diferenças pela respectiva frequência.
- iv. Divide-se este resultado por: (número de valores - 1), ou seja, $(n - 1)$. Esta quantidade é a variância elevada ao quadrado.
- v. Tome a raiz quadrada deste resultado.

4.3 Resultados Alcançados

Com o devido trabalho conseguiu-se apresentar diversos tópicos da estatística como amostragem, estatística descritiva, estatística inferencial, somatórios, médias, probabilidades, correlação e regressão, desvio-padrão e variância.

A amostra com a qual foi trabalhada era à quantidade de chuva no posto do Pici, no município de Fortaleza. Com a devida amostra foi possível realizar a elaboração de somatórios, médias e suas devidas tabelas e gráficos, além de histogramas. Foram apresentados também os gráficos de dispersão de cada ano, onde foi possível ver que não existe nenhum tipo de correlação linear entre as duas variáveis discutidas, as quais foram o ano e a quantidade de chuva no respectivo ano.

Com todos os dados obtidos foi possível demonstrar que o evento trabalhado trata-se de um evento probabilístico, ou seja, a quantidade de chuva que se obtém a cada ano pode ser

diferente. Assim, pode-se obter máximos e mínimos, informações que devem ser suficientes para a engenharia solucionar seus problemas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da estatística com a hidrologia, só foi possível tirar uma conclusão a partir da realização dos cálculos apresentados nas tabelas do tópico 4. **RESULTADOS E DISCUSSÃO.** Portanto, observou-se que a estatística é uma ferramenta utilizada nos estudos pluviométricos em projetos de engenharia, pois a partir dos dados coletados, obteve-se a média e o total de chuvas de cada ano na cidade de Fortaleza e com base nesses dados desprende-se que as quantidades de chuvas por ano, em um determinado período apresenta uma maior incidência, mais especificamente de Março até Maio.

A partir desse contexto, diferentes medidas referentes a questões hidrológicas aplicadas a engenharia podem ser adotadas, como a escolha correta do dimensionamento das bocas de lobo, planejamentos de ruas e suas declividades, construção de barragens, dentre outras.

REFERÊNCIAS

CALVETTI, L. et al. **Definição de classes de precipitação para utilização em previsões por categoria e hidrológica.** 2006.

DE AMORIM, S. V.; DE ANDRADE PEREIRA, D. J. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial.** Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

FUNCEME- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorologico/548-grafico-de-chuvas-dos-postos-pluviom%9A9tricos#todospelaagua>. Acesso em: 22 Nov. 2016.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; CALADO, V. **Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros**. Grupo Gen-LTC, 2000.

REIS, E. et al. **Estatística aplicada.** Lisboa: Edições Sílabo, 1999.

RICHARDSON, R. J. **Pós-Graduação-Metodologia-Pesquisa Social: Métodos e Técnicas- Métodos Quantitativos e Qualitativos-Capítulo 5.** Editora ATLAS SA-2015-São Paulo, 2017.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** Brasília: INMET, 2000.

TOLEDO, G. L.; OVALLE, I. I. **Estatística básica.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 1989.

STATISTICS APPLIED TO PLUVIOMETRIC STUDIES IN CIVIL ENGINEERING

Abstract: *Allying theory and practice is a point to be analyzed by the engineering student, especially from the earliest disciplines of his curriculum. Based on this line of thought, the developed research work sought to cover the disciplines of statistics and hydrology. Additionally, it had an objective to verify the existence of the relationship between statistics and pluviometric data. The research was located in a more specific place, with the purpose of having greater precision in the collected data. The chosen location was the Pluviometric Station Pici, in the city of Fortaleza, state of Ceará. In the case of the work in question, rainfall amounts were adopted in each month of the year over a period of ten years for further interpretation of these data. To help understand the values obtained, we used statistical tools such as graphs and tables developed and displayed through Excel software. Thus, it was observed that the statistic is a tool that can be used in pluviometric studies in engineering projects, as, from the data collected, the average and total rainfall of each year in the city of Fortaleza was obtained. Based on these data it was revealed that the amount of rainfall per year in a given period has a higher incidence, more specifically from March to May.*

Key-words: *Statistic. Hydrology. Precipitation. Excel. Fortaleza.*