

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EQUACIONAMENTO DOS VIESES EM CHEIAS DE PROJETO REFERÊNCIA E SIMULADA A PARTIR DE HIETOGRAMAS SINTÉTICOS: CASO DE ESTUDO BACIA HIDROGRÁFICA DE SÍTIOS NOVOS – CEARÁ

* Catine António Chimene ^{1,2}
José Nilson Bezerra Campos ¹

EQUATING THE BIAS FROM REFERENCE DESIGN FLOOD AND SIMULATED DESIGN FLOOD OBTAINED FROM SYNTHETIC HYETOGRAPH: CASE STUDY OF SÍTIOS NOVOS BASIN

Recibido el 25 de octubre de 2018; Aceptado el 30 de abril de 2020

Abstract

Water resource planning should be more coherent and concise so that the tool used in its management could be efficient following waterbody company instructions and guidelines. The temporal distribution of irregular precipitation in the Brazilian northeast (specifically in Ceará), requires a special attention for adoption of several equipment for water security, water supply, water management and other appropriate purposes. The objective of this paper is to improve the technique (correction factor) of bias removal in the design floods (reference and simulated) in different return periods for the Sítios Novos reservoir. After the simulation of the design storm (synthetic hyetographs) in different return period and flood generation, an underestimation of the respective flow rates was observed in detriment of the referential design floods and based on the mathematical calculation of bias correction factors in 6 different forms of rainfall distribution. These factors obey a temporal and spatial invariability and have presented an overestimation of the simulated flood in the course of their use. In this sense, we opted for the method of trial and error with the objective of finding an equality of the design flood (simulated and reference) in the same return period of study in a given watershed such as the Sítios Novos Basin – Ceará.

Keywords: design flood, synthetic hyetograph, return period, correction factor.

¹ Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

² Escola Superior de Desenvolvimento Rural, Universidade Eduardo Mondlane, Vilankulo - Inhambane, Moçambique.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Bloco 713, Avenida Humberto Monte S/N, Campus do Pici, Fortaleza–CE. CEP 60451–970, Brasil. Email: sacredsino5@gmail.com; catine.chimene@uem.mz

Resumo

O planejamento dos recursos hídricos deve ser mais coerente e conciso de modo que a ferramenta usada na sua gestão seja eficiente por certos períodos de tempo em algum empreendimento hídrico. A distribuição temporal das precipitações irregular no nordeste brasileiro (concretamente no Ceará) faz com que se adotem outros meios fundamentais tanto para a segurança hídrica, abastecimento de água, gestão de água e outros fins adequados. O objetivo da pesquisa consiste em aprimorar a técnica (fator de correção) da remoção dos vieses nas vazões de projeto (referência e simulada) em períodos de retorno diferentes para o açude de Sítios Novos. Após a simulação da chuva de projeto (hietogramas sintéticos) em diferentes tempos de retorno e geração das vazões verificou-se uma subestimação das respectivas vazões em detrimento das vazões de projeto referencial, tendo como base o cálculo por meio matemático de fatores de correção de vieses em 6 diferentes formas de distribuição da chuva. Esses fatores obedecem a uma invariabilidade temporal e espacial, tendo apresentado uma superestimação das vazões simuladas no decurso do seu uso. Nesse sentido, optou-se pelo método de tentativas e erros com o objetivo de encontrar-se uma semelhança igualitária das vazões de projeto (simuladas e referência) em períodos de retorno em estudo em uma determinada bacia hidrográfica como o caso de estudo de Sítios Novos – Ceará.

Palavras chave: vazão de projeto, hietograma sintético, período de retorno, fator de correção.

Introdução

A segurança de obras hidráulicas como barragens, diques de proteção, pontes, bueiros e outras, depende diretamente do hidrograma de projeto. As vazões de pico, para fins de dimensionamento, podem ser obtidas a partir de análises de frequência de eventos observados ou, alternativamente, a partir de uma chuva de projeto associada a uma forma de chuva *ad hoc* (hietograma sintético). Uma das práticas mais aplicadas consiste em fazer um estudo da frequência de chuvas observadas, adotar uma altura de chuva, com uma dada duração e determinado período de retorno, escolher uma forma sintética de chuva, aplicar chuva de projeto a um modelo chuva-deflúvio e obter a vazão de dimensionamento. Já foi detectado, para as condições hidrológicas da região litorânea do estado do Ceará, que essa metodologia leva a subdimensionamento da vazão de projeto (Chimene & Campos, 2017). Persiste a questão: o que fazer para corrigir esse subdimensionamento?

Os eventos extremos têm um impacto significativo quanto às consequências a serem obtidas para o desenvolvimento urbano e rural, segurança das infraestruturas hídricas, agricultura e a vida no geral. O conhecimento aleatório dos eventos extremos (precipitações ou vazões máximas) e as incertezas associadas à sua obtenção se tem afirmado como um dos obstáculos para a determinação das reais disponibilidades dos recursos hídricos em uma dada bacia hidrográfica ou reservatório, como o caso das regiões semiáridas. Os modelos computacionais bem como matemáticos usados na predição das vazões máximas para o uso futurista dos planejadores dos recursos hídricos apresentam certas incertezas incapazes da sua redução precisamente e recorrendo aos métodos empíricos de análises.

Segundo Studart (2000), as incertezas podem ser presentes em certas dimensões em modelos hidrológicos por causa das simplificações ou aproximações contidas em cada aplicabilidade na sua quantificação e/ou qualificação nas simulações dos eventos extremos para uma determinada bacia hidrográfica ou reservatório. Adam (2016) enfatiza que as incertezas podem ser reduzidas através do monitoramento e melhoria das pesquisas ou modelagem em análise permitindo uma melhor abordagem da quantificação e possível fonte de incertezas com a finalidade da melhor investigação e tomada da decisão. As abordagens do estudo das incertezas na determinação das vazões têm tido uma fraca aderência sendo que a metodologia que contempla análise das diversas formas da redução quantitativa se torna um grande desafio na modelagem hidrológica.

Os métodos matemáticos de análise são na maioria usadas na exploração e correção de erros (vieses) que podem advir no processo de simulação de eventos extremos (como o caso em estudo) ou quaisquer onde as vazões máximas observadas ou simuladas são equiparadas por meio das suas distribuições das funções de probabilidades e comparados atendendo que o viés será estacionário e sem mudanças ao longo do tempo. O objetivo principal desse artigo consiste na aplicação de metodologia de uma cheia ad hoc (hietogramas sintéticos) seja igualada a uma cheia de frequências (hietograma observado) em períodos de retorno diferentes estabelecidos em diferentes formas de distribuição da chuva e estabelecer a equação e relação empírica existente entre as cheias de projeto tendo sido usado os parâmetros da bacia hidrográfica do Açude de Sítios Novos no Ceará.

Dados e métodos

Caracterização da área de estudo e coleta dos dados

A bacia hidrográfica do Açude do Sítios Novos (Figura 1) é localizada nas regiões litorâneas oeste do Estado do Ceará, concretamente no município de Caucaia, a 50 km de Fortaleza (capital do estado de Ceará). O açude de Sítios Novos situa-se nas coordenadas geográficas UTM 504.706 E e 9.583.427 N, barrando o rio São Gonçalo (localizado no norte de Palmácia, percorrendo 61 km até o local do seu barramento), com uma área de drenagem na ordem dos 442 km² de extensão (Figueiredo & Campos, 2007). A capacidade do reservatório é de 126 milhões de metros cúbicos (m³) e tem a área de espelho d'água de 2.010 hectares. A bacia hidrográfica engloba os municípios de Caucaia, Maranguape, Palmácia e Pentecoste (COGERH, 2008).

Os dados da chuva extrema usados foram coletados no posto pluviométrico da estação meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), no campus do Pici – Fortaleza (Chimene, 2019). Devido à ausência do posto pluviométrico bem como fluviométrico na bacia hidrográfica, foi escolhida a estação que apresenta as características climáticas, fisiográfica e pedológicas semelhantes às da área de estudo. A série histórica da chuva extrema escolhida foi de 30 anos (1970 – 1999) com o tempo discretizado de 5 minutos em uma duração de 24 horas começando das 09:00h do dia e terminando na mesma hora do dia

seguinte. Os dados foram organizados, analisados, testados e tabulados (288 classes) com a finalidade de serem usados na modelagem pelo modelo SCS-CN na geração das vazões e posteriormente usados modelos probabilísticos na geração de vazões de projeto.

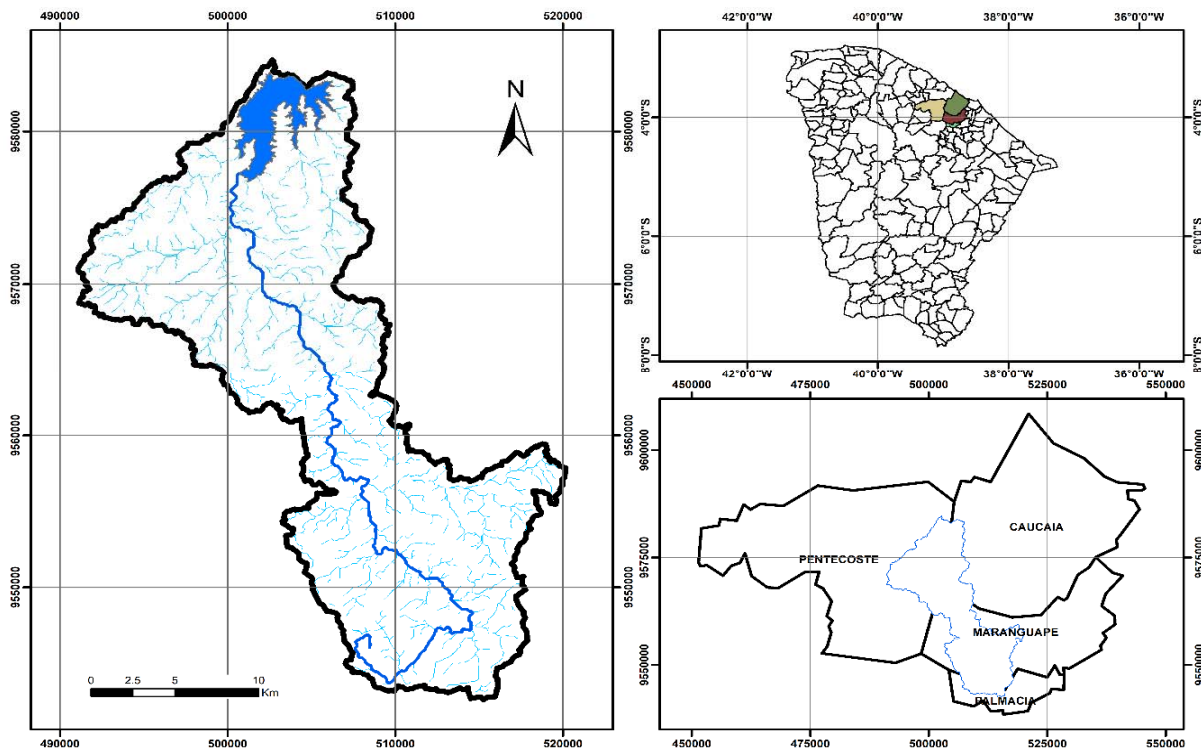


Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do Açude de Sítios Novos

O clima do estado do Ceará é predominantemente semiárido, o que implica uma distribuição irregular da chuva na região, implicando uma determinada incerteza na estimativa da vazão em um curso de água conferindo uma deficiência no planejamento e gerenciamento de água como uma das importantes ferramentas.

A chuva de projeto foi determinada com base na escolha do melhor ajuste de probabilidades em diferentes períodos de retorno após a seleção e organização dos eventos extremos anuais onde a distribuição Gumbel foi a mais aceitável com teste de aderência de Anderson-Darling.

A vazão de projeto foi, porém, calculada pelo método probabilístico em diferentes tempos de retorno a partir das vazões máximas estimadas pelo método de SCS-CN conforme os eventos extremos anuais selecionados na série histórica com o teste de aderência de Anderson-Darling.

Estimativa de Hietogramas de Projeto (Sintético)

Os hietogramas de projeto foram calculados com base no uso das chuvas de projeto com um determinado período de retorno para diferentes formas de distribuição da chuva e com a discretização temporal dos dados pluviométricos de 5 minutos. A duração da chuva foi considerada sensivelmente igual a 24h (1440 minutos), perfazendo-se um total de 288 blocos a serem preenchidos nos hietogramas. Foram analisadas seis (6) métodos de distribuição da chuva: Blocos Alternados, Blocos Retardados, Empírico, Blocos Avançados, Uniforme 24h e Uniforme com o tempo de concentração.

Método dos Blocos Alternados, Retardado e Avançado

O método de Blocos Alternados determina a distribuição temporal e é um método simples de desenvolver um hietograma de projeto a partir de uma curva intensidade-duração-frequência (IDF) e propondo a distribuição de totais de chuva em intervalos e tempo contidos na duração total do evento da chuva. Os procedimentos para a obtenção dos hietogramas de projeto a partir do método de Blocos Alternados são descritos a seguir:

- Define-se a duração total da chuva, normalmente relacionada com o tempo de concentração da bacia hidrográfica e o intervalo da discretização;
- Define-se o tempo de retorno a ser utilizado;
- Através da relação IDF, obtêm-se a intensidade da chuva para cada duração;
- As intensidades são transformadas em alturas de chuva e acumuladas até o último intervalo de tempo, isto é, multiplica-se cada valor da intensidade pela respectiva duração;
- Calculam-se os incrementos dos totais acumulados por intervalo, ou seja, a diferença entre a altura da lâmina sucessivas resulta no incremento de chuva em cada intervalo;
- Os incrementos ou blocos obtidos são rearranjados numa sequência tal que no centro da duração da chuva, se situe o bloco maior, e em seguida os demais blocos são dispostos em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior alternadamente (Chimene, 2019).

Para blocos avançados assim como os blocos retardados ou recuados seguem o mesmo procedimento dos *blocos alternados*, mas diferenciados na disposição dos blocos quanto ao rearranjo. Os Blocos Avançados, os incrementos obtidos são rearranjados da esquerda para direita sendo que o maior se localiza na esquerda e os demais seguem numa ordem decrescente segundo uma determinada sequência. Os Blocos Retardados ou Recuados, os incrementos obtidos são rearranjados no sentido inverso dos blocos avançados. Estes se dispõem da ordem crescente sendo sempre o menor se encontrar na esquerda e o maior na direita (no final).

$$i = \frac{K.T^m}{(t+b)^n}$$

Equação (1)

Onde: $k = 2345.29$; $m = 0.173$; $b = 28.31$ & $n = 0.904$

Método Empírico

Pode-se considerar o método empírico como mera racional dado que os hietogramas de projeto são constituídos pela chuva máxima anual diária da série histórica usada no estudo de caso. Os procedimentos para a obtenção do hietograma de projeto a partir do método Empírico são feitos da seguinte forma:

- Seleciona-se a duração total da chuva e o tempo da discretização (desagregação da chuva);
- Escolhe-se a chuva máxima anual diária de toda série histórica a ser estudada para uma determinada bacia hidrográfica;
- Define-se uma chuva de projeto com um tempo de retorno qualquer;
- Multiplica-se a chuva de projeto pré-definido com a chuva máxima anual diária escolhida anteriormente e modelar.

Método Uniforme

A distribuição da chuva uniforme é composta por dois tipos (tipo 1 e 2) na qual racionalmente presume-se que a chuva seja numa forma distribuída em torno do período planejado para o projeto. Para se obter os hietogramas de projeto utilizou-se a equação da chuva de Fortaleza (tipo 2) e a discretização temporal da chuva. Para o método uniforme do tipo 1 (24h) vai se fazer algumas suposições empíricas contando como parte as chuvas de projetos determinados em cada período de retorno.

Os hietogramas de projeto para o método uniforme (tipo 1), são construídos da seguinte forma:

- Deve-se indicar o total de hietogramas a serem construídos num período de 24h com a discretização temporal da chuva;
- Cada chuva de projeto já definido com um período de retorno deve-se dividir com o número total de hietograma de projeto;
- A distribuição da chuva deve ser igual para todos os hietogramas do projeto calculado em torno do valor total definido.

Os hietogramas de projeto para o método uniforme (tipo 2) que é construído a partir das suposições de que a chuva esteja distribuída em prol do tempo de concentração definido na bacia hidrográfica tal que:

- Calcula-se o valor de hietograma de projeto a ser preenchido no tempo de concentração determinado;
- Determina-se a intensidade da chuva de diversos tempos de retorno usando a equação da chuva de Fortaleza e calcular a precipitação efetiva;
- Após o cálculo da precipitação efetiva, multiplica-se com o fator de correção usado na determinação dos hietogramas de projeto nos Blocos Alternados;
- O tempo de concentração é dividida pelo tempo de discretização para que a chuva seja distribuída nesse contexto;
- Uma vez que a chuva total distribuída deve ser igual a chuva de projeto planejada, subtrai-se a chuva de projeto com o valor da precipitação efetiva obtida com a finalidade de se distribuir os outros valores em outros hietogramas de projetos (contornos na distribuição da chuva).

Bias ou Viés

Usa-se o erro médio ou viés (BIAS em Inglês) para quantificar erros de equilíbrio de um modelo por apresentar alguma tendência (erro sistemático) em superestimar ou subestimar os valores observados (nesse caso a precipitação ou vazão) expressando o desvio médio dos valores simulados/estimados em relação aos valores da referência ou observados. Quanto mais próximo de zero, a magnitude da estimativa do erro sistemático se torna menor e perfeita. Seu valor é calculado com base nas diferenças dos valores estimados/simulados e observados/referência admitindo valores positivos e negativos, tendo o zero como valor ideal, indicando uma simulação exata do modelo. Os valores positivos indicam que o modelo superestimou os valores observados/referência e valores negativos quer dizer que o modelo subestimou os valores da observação (Santos, 2016). O viés corresponde a precisão do cálculo da média amostral e estimando a variabilidade média com a seguinte fórmula:

$$BIAS = Viés = \frac{1}{Q_{ref}} (Q_{sim} - Q_{ref}) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: Q_{sim} – é o valor da vazão simulada, Q_{ref} – é o valor da vazão de referência/observado em um determinado tempo de retorno em análise.

A equação 2 é definido como sendo a média dos erros individuais ou viés sendo o primeiro momento da distribuição das diferenças e tornando ineficiente na definição da acurácia da simulação e inibindo um fraco uso estatisticamente nas análises. Embora forneça uma ideia da tendência ou erro sistemático é bastante afetado aquando do somatório dos erros sistemáticos que se cancelam levando a subestimação do erro das simulações (Hallak & Pereira Filho, 2011). O Viés foi estabelecido como sendo o erro observado nas estimativas da cheia de projeto (Q_{sim}) adquirida por uma chuva de projeto com hietogramas sintéticos e uma outra cheia de projeto (Q_{ref}) obtida de hietogramas observadas numa escala horária (Chimene, 2019).

Fator de Correção de vieses

Este fator é definido pela seguinte relação:

$$F(\theta) = \frac{Q_{ref}}{Q_{sim}} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: Q_{ref} – é a vazão do pico ($m^3.s^{-1}$) tomada como referência obtida a partir de métodos probabilísticos com base nos hietogramas observados; Q_{sim} – é a vazão do pico ($m^3.s^{-1}$) simulada a partir dos hietogramas sintéticos

O fator de correção de vieses (F) adimensional é multiplicado nos hietogramas sintéticos com tempos de retorno diferentes (concretamente de 1000, 500, 200, 100 e 50 anos) que posteriormente geraram as vazões de projeto pela simulação por modelo SCS-CN. Em cada tipo de distribuição da chuva usado foi feito o mesmo procedimento.

A equação 4 demonstra a vazão do pico que se obtém na multiplicação do fator de viés com a chuva de projeto em cada forma de distribuição da chuva analisada no presente estudo (Chimene, 2019).

$$VPCH = \theta.HP \quad \text{Equação (4)}$$

Onde: VPCH – vazão do pico da chuva de projeto; HP – Hietograma de projeto (sintético)

Esse fator foi usado em vazões de projetos de diferentes tempos de retorno, mas num método matemático empírico. Em caso de não se observar um ajuste perfeito das vazões de projeto em causa analisadas, recorrer-se-á ao método das tentativas na aquisição do fator de correção de vieses (φ) conforme a equação 5.

$$VPCH = \phi.HP \quad \text{Equação (5)}$$

O ponto fundamental desse trabalho é identificar um fator de correção de vieses para chuvas de projeto de um determinado tempo de retorno consoante a análise da frequência com o mesmo período de retorno.

Análise, tratamento e interpretação dos dados

As precipitações máximas escolhidas no presente artigo foram calculadas para cada mês em cada ano e depois selecionados as máximas em cada série anual e colocadas em uma distribuição acumulada. Os dados da precipitação máxima anual escolhidos foram determinados a partir das respectivas funções de distribuição de probabilidades para se averiguar o ajustamento dos modelos susceptíveis aos estudos desenvolvidos bem como as vazões máximas anuais em hietogramas observados. Após esse cenário, fora determinado a chuva e vazão de projeto usando os métodos probabilísticos usados como referência.

Os resultados da chuva de projeto de diferentes períodos de retorno (50, 100, 200, 500 e 1000 anos) foram usados na obtenção dos hietogramas sintéticos das diferentes formas de distribuição da chuva no decurso da bacia hidrográfica concretamente: Blocos Alternados, Blocos Retardados, Blocos Avançados, Uniforme 24h, Uniforme com tempo de concentração e Empírica. Os hietogramas sintéticos calculados com base em chuva de projeto (obtido a partir dos hietogramas observados) foram tabulados em 288 classes (correspondente a um dia, ou seja, ao total da precipitação observada no período de 24h) e modelados pelo SCS-CN para se obter vazões de projeto em diferentes períodos de retorno (Chimene, 2019).

Resultados e discussão

A simulação pelo método SCS-CN (para a perda por infiltração ou cálculo do balanço hídrico no solo) tomou em conta as características fisiográficas e pedológica da bacia hidrográfica de Sítios Novos: CN = 78, tempo de retardo = 285 e o tempo de concentração (tc) = 475 minutos calculado com base na fórmula de Kirpich. Adicionando a esse fato, o método Hidrograma Unitário SCS para a transformação da precipitação excedente em vazão foi adotada na simulação dos eventos extremos e sendo ainda a taxa de impermeabilidade quase nula (0%).

Os métodos probabilísticos (denominados como a nossa referência) foram usados no cálculo da chuva e vazão de projeto com o nível de significância de 5% ajustadas com uma distribuição estatística de *Gumbel* e *Lognormal* respectivamente. Ademais, os parâmetros estatísticos da escolha da função de probabilidades como o teste de aderência de Anderson-Darling registado para *Gumbel* 0.466 e 0.580 para Log-normal e o valor de p foi de > 0.250 e 0.120 para a chuva de projeto e vazão de projeto respectivamente.

Vazões de projeto: referência vs simulado

Foram simuladas vazões pelo método de SCS-CN atendendo as mesmas características previamente estabelecidas onde a duração da chuva (24h) seja maior que o tempo de concentração da bacia em tempos de retorno de 1000, 500, 200, 100 e 50 anos. À medida em que o período de retorno aumentava, as vazões simuladas/estimadas também seguiam o mesmo percurso dependendo da forma de distribuição da chuva em que se está analisando.

Para todas vazões do pico simuladas foram diferentes sendo que o método uniforme 24h mostrou os valores bem baixos das demais enquanto o método empírico teve valores maiores. A tabela 1 demonstra os valores das vazões de projeto em estudo.

Tabela 1. Vazões de projeto simuladas pelo método SCS-CN vs vazões de projeto de referência (Q_{ref} é a vazão do pico tomada como referência obtida a partir de métodos probabilístico com base nos hietogramas observados)

		Período de Retorno (anos)					
		1000	500	200	100	50	
Formas de Chuva e Vazões de projeto Sintéticos ($m^3.s^{-1}$)	<i>Empírico</i>	2797.1	2557.2	2242.3	2006.1	1771.6	
	<i>Uniforme 24h</i>	1043.5	963.5	858.7	778.5	698.2	
	<i>Uniforme com tc</i>	2075.6	2031.2	1785.1	1608.7	1421.6	
	<i>Blocos Alternados</i>	2606.6	2379.9	2080.1	1855.7	1633.3	
	<i>Blocos Avançados</i>	2012.1	1827.2	1586.2	1406.5	1229.6	
	<i>Blocos Retardados</i>	2746.9	2521.2	2223.4	1998.6	1774.1	
	Vazões de Projeto referencial ($m^3.s^{-1}$)	-----	3336.60	2963.27	2502.1	2176.1	1868.26

Fator de correção dos vieses nas diversas formas de distribuição da chuva

Conforme a variabilidade das vazões de projeto simulados a partir dos hietogramas de projeto pelo método de SCS-CN com as mesmas características previamente esboçadas e comparativamente com as vazões de projeto de referência que se subestimaram perante a esses, há uma necessidade de se colocar um método para a correção dos erros que se notabilizaram na tabela 3. O procedimento da correção dos vieses é sugerido para ajustar em particular as vazões estimadas em vazões de referências. Assume-se que não haverá uma repetitividade dos valores dos vieses no decurso temporal e espacial segundo a equação 3.

O modelo de correção de tendência (viés) ao longo do período histórico é assumido como sendo o mesmo em simulações futuras e, portanto, pode ser usado para obter as projeções futuras. A correção de viés mostrou ser um método simples e eficaz que pode ser aplicado rapidamente em grandes áreas, em vários modelos ou como etapa pré ou pós-processamento para métodos de baixa escala mais sofisticados (Johnson e Sharma, 2015).

Para o nosso estudo trabalhamos com o modelo matemático estatístico empírico onde se precisa encontrar os valores susceptíveis concisos e mais coerentes na forma mais fácil e que vá de acordo com o conteúdo que se pretende tratar. Entretanto, o planejamento hidrológico é geralmente ditado, por vezes, pela frequência e magnitude de anomalias nos valores da vazão simulada afetando assim os sistemas de recursos hídricos no seu todo em períodos de retorno desejados. Essas anomalias se têm verificado em pequenos ou grandes sistemas dos recursos hídricos que tem sofrido o estresse hidrológico e a falta de água durante um certo período dando, porém, a importância das suas abordagens e acertos no estudo de caso.

Para se efetivar uma correção perfeita do viés para as vazões de projeto obtidos pela simulação através do método SCS-CN, há que se corrigir os hietogramas de projeto bastando apenas multiplicar por um certo fator de correção e por fim modelar com as mesmas características noutora estabelecidas. O fator de correção dos vieses foi estabelecido como a razão entre as vazões de projeto referência (assume-se como sendo a observada no caso em estudo) com as vazões de projeto simulados pelo método SCS-CN (equação 3). Os hietogramas de projeto criados seguiram os mesmos procedimentos colocados nos dados e métodos. Ademais, esses fatores de correção irão implicar alguma mudança da chuva de projeto com a finalidade de se atingir as vazões de projeto de referência requeridas para um empreendimento hídrico como o caso da bacia hidrográfica do Açude de Sítios Novos. A tabela 2 demonstra os fatores de correção e as vazões de projeto gerados nos períodos de retorno em análise para cada forma de distribuição da chuva na bacia hidrográfica.

Os valores dos fatores de correção dos vieses constatados na tabela 2 para os períodos de retorno de 1000, 500, 200, 100 e 50 anos respectivamente obtidos pela divisão dos valores de vazões de projeto de referência com os valores de vazões de projeto simulados pelo método SCS-CN gerados foram multiplicados usando a equação 4 com os valores que constituíam a cada hietograma de projeto para as diferentes formas de distribuição da chuva estudada. Essa construção dos hietogramas de projeto foi simulada pelo método SCS-CN com as mesmas condições previamente colocadas na geração das vazões de projeto onde se resultou em valores bem superiores que os valores estimados anteriormente.

Tabela 2. Fator de correção de vieses nas diversas formas de distribuição da chuva

Forma da distribuição da chuva Período de retorno (anos)	Fator de Correção de Viés (θ)				
	1000	500	200	100	50
Empírica	1.19339	1.16398	1.13089	1.08474	1.05456
Blocos Retardados	1.21468	1.17534	1.12535	1.08881	1.053075
Blocos Alternados	1.28006	1.24507	1.20299	1.17266	1.14386
Uniforme com tc	1.60754	1.45888	1.40166	1.35271	1.31420
Blocos Avançados	1.65827	1.62176	1.57742	1.54717	1.51941
Uniforme 24h	3.19751	3.07553	2.91382	2.79525	2.67582

Após a aplicação dos fatores de correção dos vieses para cada forma de distribuição da chuva verificou-se que todas vazões de projeto obtidos por esses hietogramas de projeto se superestimaram em relação às vazões de projeto de referência comparativamente devido a forma de distribuição da chuva e por questões climáticas que compõe a bacia hidrográfica. O método de Blocos Avançados apresentou maiores erros e conseqüentemente maior vazão de projeto devido à sua distribuição em torno da bacia hidrográfica. Para se atingir os objetivos traçados nessa perspectiva teve-se que se fazer o uso de *métodos de tentativas* com a finalidade

de se encontrar os resultados exatos ou mais próximos possíveis conforme as vazões de projeto de referência. Na tabela 3 estão indicados os coeficientes ou fatores de correção dos vieses para todas formas da distribuição da chuva bem como as respectivas vazões de projeto.

Tabela 3. Fator de correção dos vieses corrigidos em diferentes formas da distribuição da chuva em períodos de retorno estipulados

Forma da distribuição da chuva	Fator de Correção de Viés Corrigidos (φ)				
	1000	500	200	100	50
Empírica	1.14544	1.12143	1.09385	1.06038	1.03798
Blocos Retardados	1.17048	1.1370	1.09538	1.06610	1.03860
Blocos Alternados	1.20669	1.17812	1.14325	1.11911	1.09650
Uniforme com tc	1.46450	1.36920	1.31410	1.27480	1.23670
Blocos Avançados	1.45356	1.42053	1.37976	1.35118	1.32426
Uniforme 24h	2.920961	2.787045	2.613525	2.481622	2.349528

Analogamente, todos fatores de correção colocados na tabela 3 foram usados para reconstruírem os hietogramas de projeto das formas de distribuição da chuva diferentes e com os períodos de retorno previamente estipulados. O mesmo procedimento foi feito quando da correção do viés pelo método matemático empírico na qual os valores obtidos foram multiplicados (conforme a equação 5) aos 288 blocos que compunham os hietogramas sintéticos e posteriormente modelados pelo método SCS-CN para que se gerasse as outras vazões de projeto e comparados com vazões de projeto de referência na área em estudo. A partir da tabela 3 verificou-se que os maiores valores foram obtidos no método Uniforme 24h porque detinha os valores baixos de vazões de projeto simulados ao longo do período de retorno. Os valores menores verificados foi o método Empírico no decurso dos tempos de retorno estudados seguidas pelo método de Blocos Retardados.

A correção dos vieses pelo método das tentativas com a finalidade de se obter vazões de projetos simulados equivalentes com as vazões de projeto de referência, notou-se que apenas a distribuição da chuva uniforme (24h e com tempo de concentração) apresentaram erros por causa da distribuição espacial e temporal da chuva no decurso dessas formas da chuva.

Conclusão

Perante os períodos de retorno diferentes delineados ao presente estudo na remoção dos vieses e o seu aprimoramento, há que se tirar as seguintes conclusões:

As vazões de projeto simuladas tiveram a tendência (viés) subestimativa em relação as vazões de projeto de referência em todas formas da chuva em análise sendo que o método empírico demonstrou erros menores e o método uniforme 24h obteve erros maiores.

O fator de correção de viés aplicado a cada hietograma de projeto em cada diferente forma de distribuição da chuva após a devida simulação pelo método de SCS-CN gerou vazões de projeto com tendência superestimada em relação a vazão de projeto de referência.

A remoção de vieses foi efetivada conforme ao método de tentativas e erros usado no fator da correção para os hietogramas de projeto das diferentes formas da distribuição da chuva onde depois de simuladas as vazões de projeto foram equivalentes com as vazões de projeto.

Referências bibliográficas

- Adam, K. N. (2016) *Incertezas e impactos de mudanças climáticas sobre o regime de vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai*, Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 237 pp.
- Beran, M. A. (1973) *Estimation of Design Floods and the Problem of Equating the Probability of Rainfall and Runoff*. Institute of Hydrology. Wallingford, Berkshire – England. Acesso em 3 de janeiro de 2018, disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242587237_ESTIMATION_OF_DESIGN_FLOODS_AND_THE_PROBLEM_OF_EQUATING_THE_PROBABILITY_OF_RAINFALL_AND_RUNOFF
- Borges, G. M. R., Thebaldi, M. S. (2016) Estimativa da precipitação diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG - Brasil. *Ambiente & Água - An interdisciplinary Journal of Applied Science*, **11**(4), 891-902.
- Campos, J.N.B. (2009) *Lições em modelos e simulação hidrológica*, ASTEF/Expressão Gráfica, Fortaleza, Ceara, 166 pp.
- Chimene, C. A., Campos, J. N. B. (2017) Uso de Modelos Probabilísticos para Estimar a Precipitação Máxima Anual na Bacia Hidrográfica do Rio Govuro em Vilankulo – Moçambique, *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Florianópolis – SC, Brasil.
- Chimene, C. A. (2019) Cheia de Projeto: equacionando os periodos de retorno obtidos de cheia de projeto com hietogramas sintéticos a cheia de projeto obtido de chuvas observadas, Tese (Doutorado em Recursos Hídricos), programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 180 pp
- COGERH, Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (2008). *Açude Sítios Novos: Fatores condicionantes da Qualidade das Águas*. Acesso no dia 15 de Julho de 2020, disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/arquivos/inventarios>
- Cunha, S. F., Oliveira e Silva, F. E., Mota, T. U., Pinheiro, M. C. (2015) Avaliação da Acurácia dos métodos do SCS para cálculo da Precipitação efetiva e Hidrogramas de Cheia, *Revista Brasileira de Recurso Hídricos*, **20**(4), 837-848.
- Damé, R. D. C. F., Teixeira, C. F., Terra, V. S. S., Rosskoff, J. L. C. (2009) Hidrograma de Projeto em Função da Metodologia Utilizada na Obtenção da Precipitação, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **14**(1), 46-54.
- Daniil, E. I., Michas, S. N., Lazaridis, L. S. (2005) Hydrologic Modeling for the determination of Design Discharges in Ungauged Basins, *Global NEST Journal*, **7**(3), 296-305.
- Hallak, R., Pereira Filho, A. J. (2011) Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: Sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados, *Revista Brasileira de Meteorologia*, **26**(4), 591-608.
- Johnson, F.; Sharma, A. (2015) What are the impacts of bias correction on future drought projections? *Journal of Hydrology*, **525**, 472-485.
- Joos, B. (2015) *Flood Evaluation and Dam Safety*, ANCOLD, Austrália, 153 pp.

- Kilgore, J. L. (1997) *Development and Evaluation of a GIS-Based Spatially Distributed Unit Hydrograph Model* Master thesis in Biological System Engineering, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 126 pp.
- Melo, C. R. D., Silva, A. M., Lima, J. M., Ferreira, D. F., Oliveira, M. S. (2003) Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **7**(1), 121-128.
- Pessoa, F. E. P., Campos, J. N. B. (2015) Ciclo Diário de Precipitações Pluviais em Intervalos de Cinco Minutos no Município de Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **30**(2), 195-204.
- Portela, M. M., Marques, P.; Carvalho, F. F. D. (2000) Hietogramas de Projecto para a Análise de Cheias baseada no Modelo do Hidrograma Unitário do Soil Conservation Service (SCS), *Actas do 5º Congresso de Água*, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Lisboa – Portugal, 17 pp.
- Raes, D. (2004) Frequency Analysis of Rainfall Data, College on Soil Physics (1983 – 2003): International Centre for Theoretical Physics. Inter-University Programme in Water Resources Engineering (IUPWARE), Leuven - Belgica, 44 pp.
- Santos, A. G. D. (2016) *Implementação do modelo Atmosférico WRF acoplado ao modelo hidrológico HEC-HMS na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio*, Tese (Doutorado em Recursos Hídricos), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 111 pp.
- Silva, F. O. E. D., Júnior, F. F. R. P., Campos, J. N. B. (2013) Equação de chuvas para Fortaleza - CE com dados do pluviógrafo da UFC, *Revista DAE*, **61**(192), 48-59.
- Studart, T. M. C. (2000) *Análise de incertezas na determinação de vazões regularizadas em climas semi-áridos*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 172 pp.
- Sule, B. F., Alabi, S. A. (2013) Application of synthetic unit hydrograph methods to construct storm hydrographs. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, **5**(11), 639-647.
- Walega, A., Grzebinoga, M., Paluszkiwicz, B. (2011) On Using the Snyder and Clark Unit Hydrograph for Calculations of Flood Waves in a Highland Catchment (The Grabinka River Example), *Acta Scientiarum Polonorum*, **10**(2), 47-56.