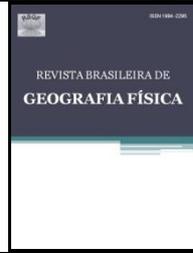




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Drenagem Urbana: Uma Análise de Vazão de Cheia para a Sub-Bacia do Rio Beberibe utilizando o modelo ABC6

Cíntia Rafaela Lima dos Santos¹, Gisellia Muniz da Silva², Kássia Carneiro da Silva Santana³, Kalinny Patrícia Vaz Lafayette⁴, Simone Rosa da Silva⁵

¹Mestranda em engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Rua Benfca, 455, Recife – Pernambuco. CEP: 50.720-001. crs@poli.br. <https://orcid.org/0000-0002-7474-987X>.

²Mestranda em engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Rua Benfca, 455, Recife – Pernambuco. CEP: 50.720-001. gms1@poli.br. <https://orcid.org/0000-0002-8709-3275>.

³Mestranda em engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Rua Benfca, 455, Recife – Pernambuco. CEP: 50.720-001. kcss@poli.br, <https://orcid.org/0000-0003-1206-7854>

⁴Professor Dr. Associado, Universidade de Pernambuco, Rua Benfca, 455, Recife – PE, CEP: 50.720-001, klafayette@poli.br. <https://orcid.org/0000-0002-7954-2317>

⁵Professor Dr. Associado, Universidade de Pernambuco, Rua Benfca, 455, Recife – PE, CEP: 50.720-001, simonerosa@poli.br. <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546>

Artigo recebido em 06/12/2021 e aceito em 13/06/2022

RESUMO

A bacia do rio Beberibe abrange quatro municípios de Pernambuco e tem significativa importância nos seus sistemas de drenagem urbana. O trecho do baixo Beberibe possui um adensamento populacional intenso, inclusive nas suas margens, que associado ao descarte irregular dos resíduos sólidos, polui e estrangula a calha do rio. E na ocorrência de picos de chuvas, resulta em alagamentos e inundações na área. Na intenção de minimizar esses transtornos, essa pesquisa visa analisar a vazão de cheia da sub-bacia do rio Beberibe, para implementar medidas estruturais e não estruturais de drenagem urbana sustentável. A metodologia utilizada consistiu em simular as vazões de cheia para tempos de retorno de 05 e 10 anos, a partir dos hidrogramas de cheias gerados por meio do modelo ABC6. Os resultados demonstraram que a sub-bacia do rio Beberibe tende a uma vazão de pico de 46,61m³/s e 63,95 m³/s, respectivamente. Dessa forma, foram apresentadas áreas permeáveis disponíveis para implementação de reservatórios de detenção, para atuarem como medida de controle de enchente nos períodos de chuvas intensas, além de medidas não estruturais a serem implantadas no entorno do rio e para as comunidades ribeirinhas.

Palavras chaves: águas pluviais. modelo hidrológico. entraves.

Urban Drainage: A Flood Flow Analysis for the Beberibe River Sub-Basin using the ABC6 model

ABSTRACT

The Beberibe river basin covers four municipalities in Pernambuco and has significant importance in its urban drainage systems. The lower Beberibe stretch has an intense population density, including on its banks, which, associated with the irregular disposal of solid waste, pollutes and strangles the river channel. And in the occurrence of rain peaks, it results in flooding and flooding in the area. In order to minimize these inconveniences, this research aims to analyze the flood flow of the Beberibe River sub-basin, to implement structural and non-structural measures for sustainable urban drainage. The methodology used consisted of simulating the flood flows for return times of 05 and 10 years, from the flood hydrographs generated through the ABC6 model. The results showed that the Beberibe River sub-basin tends to a peak flow of 46.61 m³/s and 63.95 m³/s, respectively. Thus, permeable areas available for the implementation of detention reservoirs were presented, to act as a flood control measure in periods of intense rain, in addition to non-structural measures to be implemented around the river and for riverside communities.

Keywords: rainwater. hydrological model. obstacles.

Introdução

A expansão urbana nas cidades ocorreu de forma não planejada, trazendo alterações em toda sua infraestrutura. A intensificação do uso do solo para construção de moradias e edificações, junto ao crescimento da população, resultou em áreas pouco permeáveis, desfavorecendo assim o processo natural de infiltração das águas pluviais no solo urbano.

O aumento das superfícies impermeáveis atrelado à velocidade de escoamento superficial acarreta uma menor absorção das águas das chuvas pelo solo natural (Darnthamrongkul E Mazingo, 2021).

Assim a impermeabilidade do solo, que foi impulsionada devido ao adensamento populacional, vem ocorrendo até aos dias de hoje, influenciando na redução da evapotranspiração, alteração do escoamento subterrâneo e consequente diminuição do tempo de concentração na bacia hidrográfica, fato que atua diretamente na drenagem urbana, quando na ocorrência de chuvas de grandes intensidades, provocando enchentes e alagamentos (Goetzinger *et al.*, 2020).

A partir do crescimento desordenado na cidade, juntamente com uso de aterros nas áreas de marinha, a população que não podia pagar pelo processo formal de acesso à terra urbanizada, ocupou as áreas ambientalmente frágeis. Partindo assim, para uma intensa degradação do meio ambiente e seus recursos hídricos e naturais (Alencar, 2014).

Até meados do século XIX, o rio Beberibe foi uma das principais fontes de abastecimento de água para os municípios de Recife e Olinda.

Atualmente, este cenário é bem diferente devido à bacia hidrográfica ser densamente urbanizada, possuindo alto índice de contaminação das águas, o que resultou na degradação do rio Beberibe, tornando-se inviável a utilização de suas águas para fins potáveis, pois elas apresentam aspecto escuro e com cheiro desagradável, onde o Índice de Qualidade de Água (IQA) varia de ruim a péssimo (Campos, 2016).

Para Wang *et al.*, (2021) reduzir a poluição à jusante resultaria em um melhor desempenho e eficiência para o sistema de drenagem urbana.

Estudos recentes apontaram que a bacia do Rio Beberibe não é predisposta às inundações, pois o seu principal rio, o Beberibe, compreende uma extensão de 17 km que associado à sua forma alongada o favorece, determinando assim a característica de sua bacia como bem drenada.

Embora possuindo esse atributo, nas áreas mais urbanizadas do rio, no baixo Beberibe, ocorrem alagamentos e inundações (Soares e Galvínio, 2020).

Uma parte dessa situação ocorre devida falta do planejamento urbano, onde a população busca ocupar a calha do rio, construindo suas moradias e atrelados isso à negligência e desleixo por parte dos moradores, que obstrui a calha do rio, não destinando seus resíduos sólidos corretamente. Por outro lado, é perceptível também o assoreamento que ocorre nele. Dessa forma, esses moradores têm habitado em áreas insalubres, fragilizadas ambientalmente e passíveis de inundações (Silva, 2020).

A deterioração da calha do rio se agravou com as ocupações irregulares nas suas margens e com o lançamento de esgoto doméstico e dos resíduos sólidos em sua calha, que em grande volume obstrui os canais e as redes de drenagem urbana, acarretando grandes transtornos (Pinho, 2019).

Soares e Galvínio (2020) pontuam ainda a importância da bacia hidrográfica do rio Beberibe para o sistema de macrodrenagem urbana de todos os municípios por ela cortados, por se encontrarem em áreas bastante urbanizadas e contribuir para o aumento do uso e ocupação do solo, gerando impactos na gestão dos recursos hídricos.

Nesse contexto, para amenizar os problemas provocados pelo excedente de águas pluviais, diversos pesquisadores têm estudado a implementação de técnicas compensatórias integradas à rede de drenagem urbana local (Vergutz, 2019).

Pour *et al.*, (2020) fizeram uma análise da gestão de águas pluviais utilizando técnicas de desenvolvimento de baixo custo com o intuito de mitigar os impactos das enchentes urbanas. O estudo revela um aumento nas futuras inundações urbanas, dentre alguns fatores têm-se a mudança no uso do solo, resultante da urbanização, além da mudança climática, visando retardar o escoamento superficial e preservar o comportamento hidrológico natural das bacias hidrográficas.

Dentre essas técnicas têm-se os reservatórios de detenção, que são estruturas criadas para reservar as águas pluviais, evitando o deslocamento de cheias para outros locais.

Diferentes técnicas também são utilizadas tais como: valas de infiltração, telhados verdes e jardins de chuva. Além de pavimento poroso, evidenciando assim que o uso combinado entre a drenagem tradicional e a sustentável, melhora a eficácia do uso desses dispositivos, no entanto sua implementação e manutenção nas grandes cidades

urbanas é um desafio a ser vencido (Vergutz, 2019; Pour *Et Al.*, 2020).

Almeida e Serra (2017) realizaram, um estudo dentro da bibliografia sobre o que têm em destaque da modelagem hidrológica, os modelos têm sido utilizados para prever eventos futuros, potencialmente danosos à sociedade, relacionados com o regime hídrico e para auxiliar os processos de tomada de decisão nas políticas públicas. Uma vez que os modelos podem ser usados para prever condições futuras por meio de simulação, eles são ferramentas bastante úteis para lidar com problemas ambientais e possíveis alternativas para atenuar impactos.

O modelo ABC6 foi desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo com propósito acadêmico, como Sistema de Suporte à Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas, visando auxiliar nas tomadas de decisões, a depender do problema e do objetivo que se pretende alcançar. Devido à sua clareza de utilização, o software vem sendo bastante utilizado também no meio profissional, para análises de pequenas bacias urbanas e rurais e pré-dimensionamentos de macrodrenagem (Freitas *et al.*, 2018).

Sampaio *et al.*, (2017) utilizaram o método do Soil Conservation Service (SCS), para ao modelo ABC6 para calcular a chuva excedente baseada no hidrograma, adotando intervalos de discretização de 30 minutos para tempos de retornos de 5, 10, 15, 20 e 25 anos para uma área de voçoroca na ravina do Córrego do Cravo em Nazareno - MG. Eles propuseram uma construção de uma vala de infiltração na cabeceira da voçoroca afim de reduzir o escoamento superficial e amortecimento do piso de chuva, amenizando a erosão.

À análise de Bacias Complexas pode ser aplicada o método chuva-vazão do SCS (Soil Conservation Service) com posterior obtenção do hidrograma de vazão máxima na seção. O modelo ABC6 permite ao usuário duas medidas de adicionar com as informações de precipitação, ou pelas equações de chuva ou pelo hietograma do evento (Cabral *et al.*, 2019).

Ribeiro e Nunes (2020) utilizaram o modelo para simular os hidrogramas de cheia gerados a partir de uma simulação de telhados verdes para a bacia do Córrego Vilarinho, Belo Horizonte/MG. O estudo se deu a partir de simulação de dois cenários. O primeiro considerando a situação atual e o segundo considerando a implantação de telhados nas edificações públicas e privadas existentes, para

tempos de retornos de 2, 10, 25 e 50 anos e inferiram que houve redução uma redução de 16,15%, 13,77%, 12,67%, 11,90%.

Fernandes, Costa e Studart (2017) avaliaram, a partir do modelo ABC6, os hidrogramas de cheias para a microbacia urbana localizada no município de Juazeiro do Norte/CE, obtido pelo método do SCS (Soil Conservation Service) a variação do CN (Número da Curva). Assim foram simulados 186 hidrogramas de vazões máximas a partir de seis cenários dispostos, para um tempo de retorno de 10 anos, com intervalos de 1h a 24h. E foi possível concluir que a cheia máxima pode ser reduzida com o aumento do tempo de concentração, oscilando de acordo com a variação do CN.

Diante desse contexto, o objetivo dessa pesquisa é analisar a vazão de cheia da sub-bacia do rio Beberibe, utilizando o modelo ABC6, propondo medidas estruturais e não estruturais de drenagem urbana à montante, para o baixo curso do rio Beberibe.

Material e método

Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Beberibe tem 71 Km² de extensão, possui aproximadamente 680 mil habitantes, envolvendo quatro municípios (Recife, Olinda, Paulista, Camaragibe) do estado de Pernambuco.

Segundo Fernandes *et al.* (2011), o rio nasce no município de Camaragibe com uma área de 0,9 Km², no município de Recife, contempla uma área de 55,4 Km²; em Olinda, tem 13,3 Km² e Paulista, com 9,4 Km², percorre bairros, em sua maioria, das periferias desses municípios. Está dividida em três partes distintas (Figura 1):

• **Alto curso do rio Beberibe:** compreendida a oeste da rodovia BR 101, contém diversas nascentes perenes, impoluta e com vegetação nativa. Nesse trecho encontra-se a APP de dois irmãos.

• **Médio curso do rio Beberibe:** englobando o trecho entre a BR-101 e o entroncamento com o rio Morno, tem-se outra APP importante para esta bacia.

• **Baixo curso do rio Beberibe:** Correspondente à porção mais adensada da bacia, com zonas mistas entre morros e planícies.

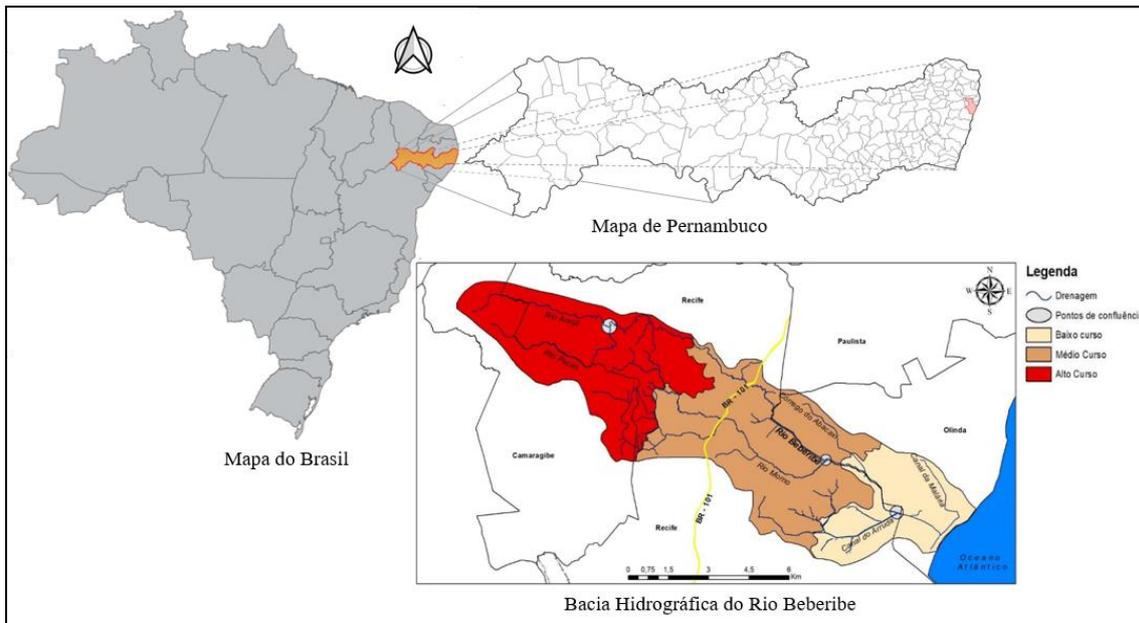


Figura 1. Localização e composição da bacia hidrográfica do rio Beberibe – adaptado de (Silva, 2020).

Para a essa pesquisa, a bacia foi dividida em duas sub-bacias (Figura 2) e possui uma área de 55,86 Km² que está compreendida entre a

nascente e o baixo Beberibe, sendo seu limite a ponte do Monteiro no bairro de Porto da Madeira.

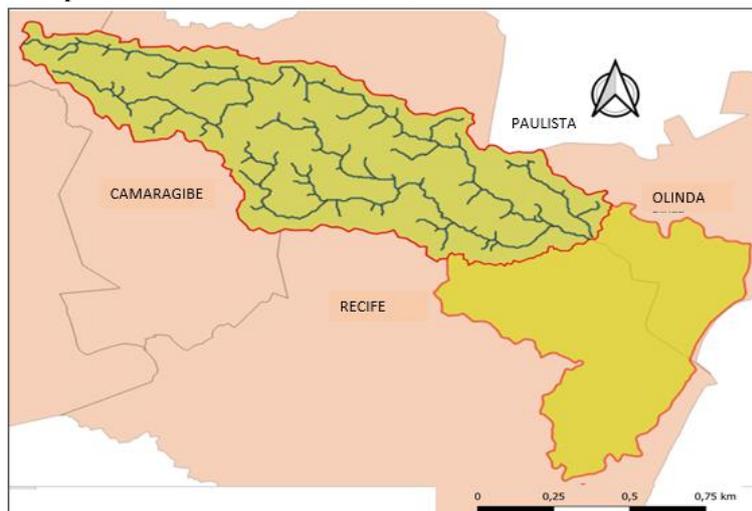


Figura 2. Sub-bacia do rio Beberibe – Área de estudo

A bacia do rio Beberibe vem sendo alvo de estudos desde o início dos anos 2000, com a criação do programa: Bacia do Beberibe – Reabilitação Urbana e Ambiental, criado pela antiga Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (FIDEM), que elaborou o plano estruturador da bacia, cuja proposta baseou-se em modificar a situação de pobreza do seu entorno (Figura 3). A área destacada na imagem corresponde à comunidade ribeirinha que tradicionalmente ocupava as margens do rio. O plano possuía como objetivos: a criação de um comitê da bacia para o rio Beberibe; A constituição de um consórcio intermunicipal e a composição de um grupo gestor da área (Fernandes, 2011).

No ano de 2004, a partir do Seminário Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe: Um Novo Tempo, chegou-se à conclusão de criar um Grupo que pudesse articular com todas as esferas de governo e com a comunidade local, a fim de compactuar as necessidades dos moradores ribeirinhos junto aos governos, além da recuperação ambiental da bacia hidrográfica.

Buscando atender essa necessidade foi constituído o Grupo de Gestão Integrada - Grupo Gestor da Bacia do Beberibe (GGBB), objetivando a participação da comunidade nas ações governamentais pertinentes, além do acompanhamento das intervenções. O Grupo Gestor subsidiava as políticas e diretrizes dos

programas e projetos, a fim de validar as intervenções propostas (Silva, 2020).

Diversos artigos e pesquisas científicas foram desenvolvidos e apresentados no Seminário Bacia Hidrográficas do Rio Beberibe em intitulado como Um Novo Tempo, realizado pela Associação Brasileira de recursos hídricos – ABRHidro em 2008 (Fernandes, 2011).

Cenário atual

Mesmo após mais de uma década da criação do GGBB e algumas intervenções

pleiteadas, como as desapropriações das construções que margeavam o rio, próximo à rua Dalva de Oliveira, no lado pertencente ao município de Recife, e das várias ações desenvolvidas com articulações do Governo Federal, Estadual e Municipal, os problemas persistiram. Um dos agravantes são as ocupações ribeirinhas à margem do rio pertencente ao lado do município de Olinda, que não passaram por intervenções e continuam a crescer (Figura 4).

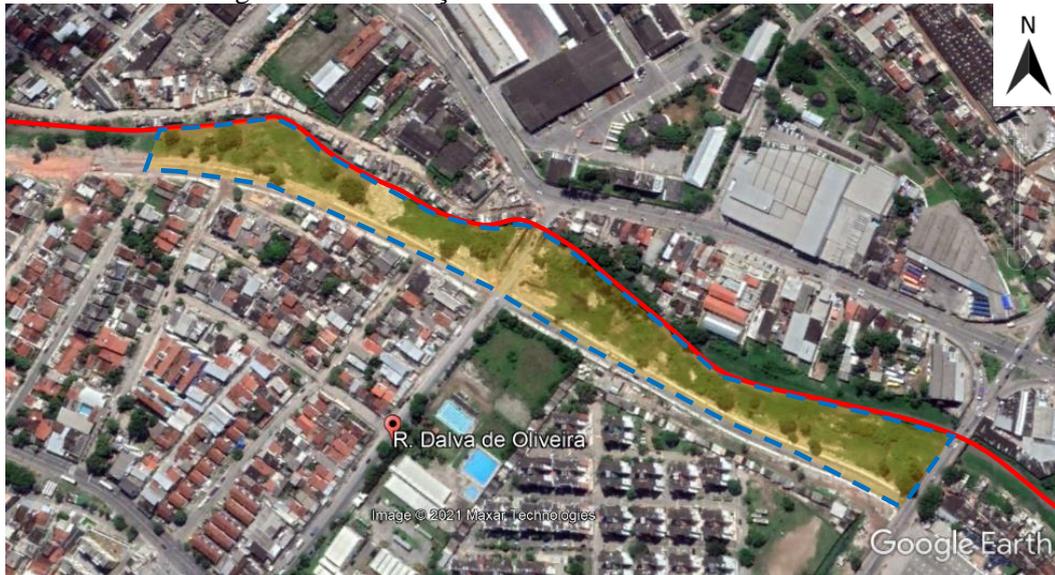


Figura 3. Ocupações ribeirinhas antes das intervenções



Figura 4. Ocupações ribeirinhas às margens do rio Beberibe

Esse é um dos motivos pelo qual o rio Beberibe prossegue apresentando um cenário caótico, com construções irregulares em suas margens, com assoreamento e com descartes de resíduos sólidos inapropriados (Figura 5).

Buscando reverter esse cenário, a Organização Não Governamental Mobiliza Beberibe, idealiza intervenções em defesa da

população em vulnerabilidade, da recuperação do meio ambiente e do curso d'água (Jornal do Commercio, 2021).

Preuss *et al.* (2009) afirma que a procura pelo equilíbrio, dos impactos decorrentes da urbanização, considerando a busca de renaturalização dos cursos d'água e a adoção de sistemas que melhorem a infiltração, por meio do manejo do escoamento superficial na jusante,

devem ser ações efetivas para que se alcance esse fim. Entre as diversas medidas compensatórias que podem ser utilizadas, tem-se: jardins filtrantes, valas de infiltração, telhados verdes e pavimentos permeáveis, e ainda a implantação de

bacias de retenção e de infiltração, para conter altos volumes de água na ocasião de fortes precipitações, sendo utilizado como uma forma de amortizar esta contribuição para o rio.



Figura 5. Ocupações na calha do rio Beberibe e resíduos sólidos acumulados

O sistema de drenagem descentralizado no controle das águas pluviais é uma proposta para reduzir o escoamento superficial e a poluição, por meio de dispositivos que retardem os picos de vazão a ser lançados no sistema de macrodrenagem (Zubelzu *et al.*, 2019).

Adotar medidas estruturais são necessárias para reduzir ou retardar o escoamento superficial e, conseqüentemente, minimizar os transtornos dos alagamentos. Já as medidas não estruturais contribuem para educar e conscientizar os moradores locais.

Análise da vazão de cheia pelo modelo ABC6

Para esse estudo foi utilizado o modelo ABC6, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP-SP) como um Sistema de Apoio à Decisão para Análise de Ondas de Inundação em Bacias Complexas (Sampaio *et al.*, 2017).

O *software* é um modelo distribuído, com parâmetros caracterizados de acordo com os dados da bacia e simula eventos de vazão de cheias, considerando parcela do ciclo hidrológico conforme a (Figura 6).

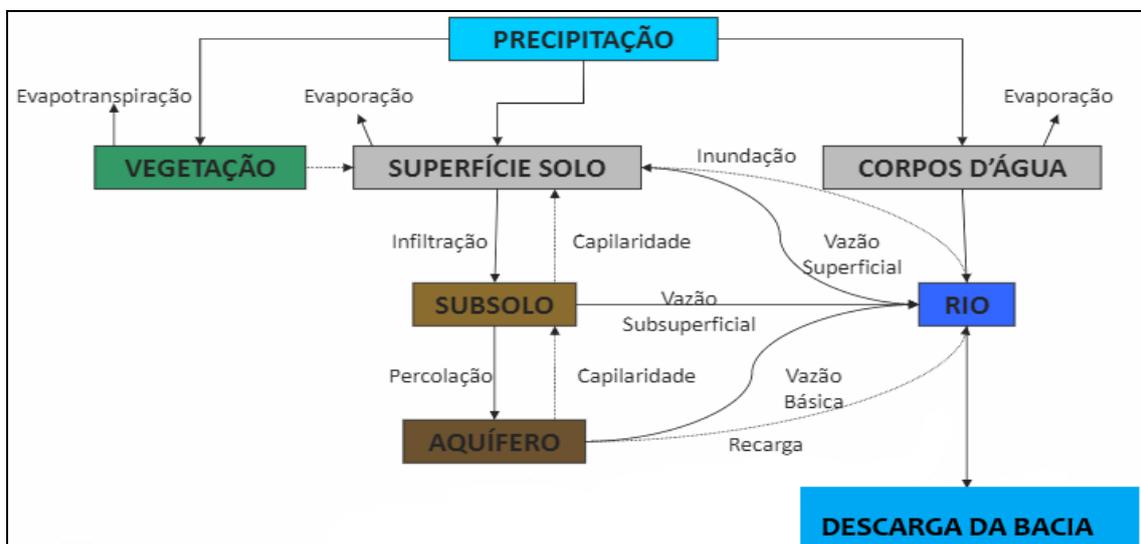


Figura 6. Ciclo Hidrológico Parcial do modelo - USP/ 2021 – adaptado

Este modelo não faz calibração “padronizada” como os demais modelos hidrológicos, pois se apropria do hidrograma, que é gerado a partir da técnica de convolução do hidrograma. Esse é realizado por meio do processo chuva-vazão e após essa etapa é gerado um hidrograma de acordo com os dados da bacia.

Já a validação é a reprodução do cenário pretendido, verificando os ajustes necessários e avaliando seu comportamento (Cunha, 2015).

Caracterização dos dados hidrológicos

As análises hidrológicas da sub-bacia do rio Beberibe foram realizadas por meio da

caracterização obtida a partir do Modelo Digital do Terreno – MDT, onde foi possível lograr as curvas de nível e a elaboração do Mapa Hipsométrico (Figura 7), por meio do uso do software QGIS versão 3.20.3, utilizando-se também do raster extraído do Pernambuco Tridimensional – PE3D e georreferenciado pelo Sistema Sirgas-2000, Datum 25S. Os principais dados adquiridos foram: área da bacia = 55,86 km²; extensão do rio Beberibe na sub-bacia = 19,90 km; declividade média= 6,58 m/km.

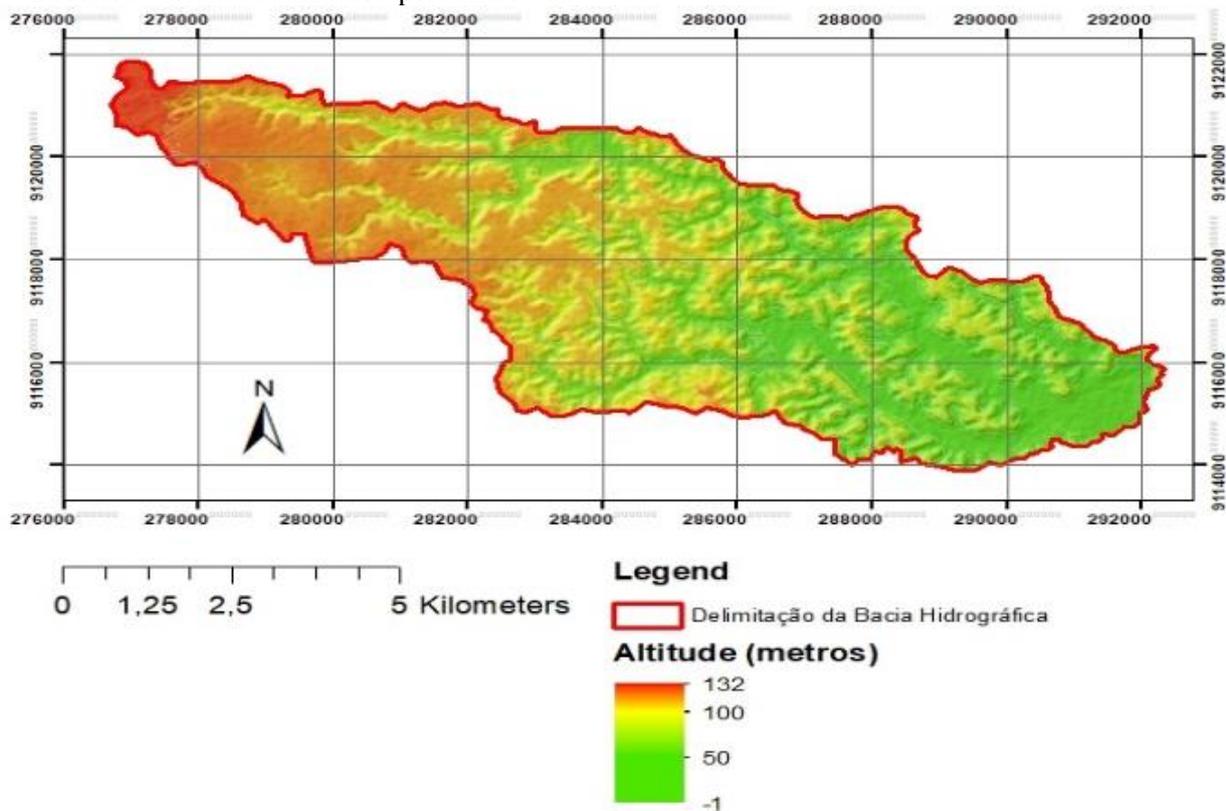


Figura 7. Modelo Digital do Terreno, elaborado a partir do PE3D – 2021.

Já o Mapa de Uso do Solo (Figura 8), foi produzido baseado nas imagens do Google Earth - 2021, associada ao uso do QGIS, fazendo-se o recorte, utilizando o shapefile da sub-bacia.

Para a classificação do solo, que compõe a sub-bacia do rio Beberibe, foi realizada consulta ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS, disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Listo *et al.*, (2016), em sua pesquisa, concluiu que mais de cinquenta por cento da área total da bacia é composta por *Latossolo/Argissolo*, sendo

classificada como pertencente ao Horizonte B, conforme Tabela 1.

Segundo a EMBRAPA (2018) trata-se dos solos compostos por material mineral, com horizonte B Latossólico, imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, oriundos da segregação de rochas, com profundidade superior a 1m. É cerca de trinta e três por cento de *Argissolo* Amarelo, composto por material argiloso de profundidade variável e considerado de forte a imfeitamente drenado.

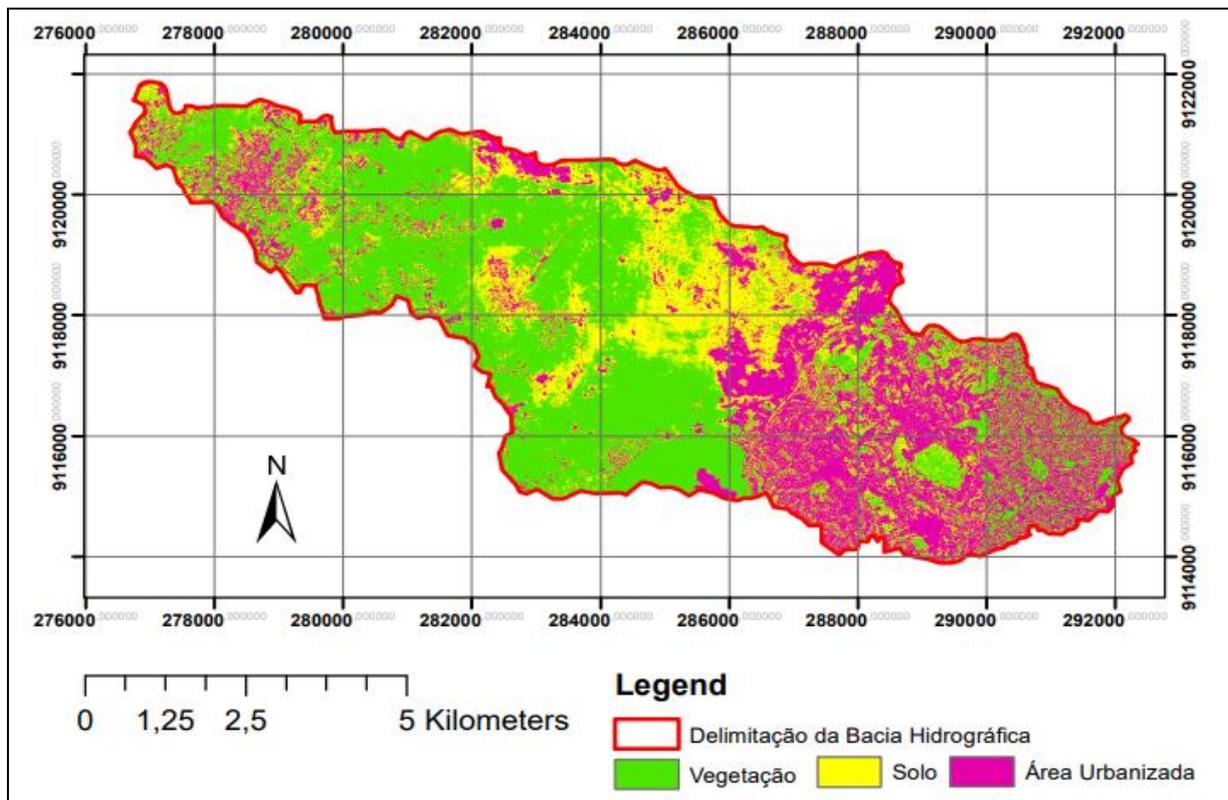


Figura 8. Mapa de Uso do Solo, elaborado a partir do PE3D – 2021.

Tabela 1. Classificação do tipo de solo - Listo *et al.* (2016) - Adaptado

% Área	Classe	Classificação Embrapa (2018) - Horizonte
51,82	<i>Latosolo /Argissolo</i>	B
32,96	<i>Argissolo Amarelo</i>	B
14,03	<i>Latosolo Amarelo</i>	B
0,05	<i>Neossolo Quartzarênico</i>	A-C
1,20	<i>Água</i>	-

Na estimativa do hidrograma de vazão máxima foi empregado o método chuva-vazão do SCS (Soil Conservation Service), que se utiliza da Curva de Número (CN). Este método considera que o escoamento superficial ocorre a partir da subtração entre a precipitação pluvial e a variável que representa a infiltração, a interceptação e o armazenamento em depressões, calculando o CN, e corresponde a atuação do tipo, uso e ocupação e da umidade antecedente, conforme Equações (1) e (2). No método SCS o escoamento superficial direto é calculado com base na precipitação acumulada e retenção de infiltração do solo, conforme descrito por (Tucci, 2004).

$$P_e = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80.S} \text{, se } P \geq 0,20.S \quad (1)$$

$$S = 25.400 - \frac{254}{CN} \quad (2)$$

Onde:

P_e – precipitação efetiva, ou escoamento superficial (mm)

P – precipitação acumulada de um evento (mm)

S – retenção potencial do solo (mm)

CN – número da curva (adimensional)

Assim, pode-se perceber que escoamento superficial depende de $P > 0,2S$, e a retenção do solo (S) leva em consideração o tipo, uso e ocupação do solo, que é representado pelo valor de CN, equação (2).

O modelo calculou a média do valor de CN baseado nos dados da sub-bacia, resultando em 78.

Para a análise pluviométrica, devido ao processo de urbanização e ao crescimento populacional, adotou-se um período de 5 anos, de 2016 a 2020 (Figura 9), a partir de dados disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, referente à Estação Pluviométrica localizada em Olinda (cód. 199).

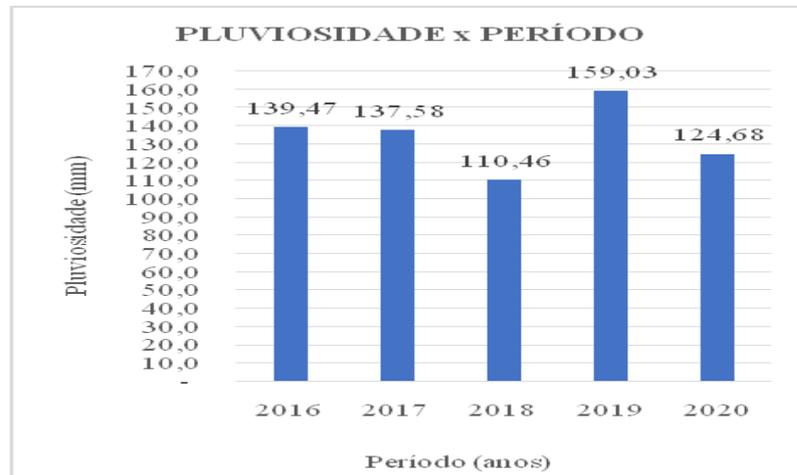


Figura 9. Média anual para o período 2016-2020

Parâmetros do modelo

O modelo ABC6 foi utilizado para gerar os hidrogramas de vazão máxima e analisar a vazão excedente na sub-bacia, para os tempos de retornos de 5 anos e 10 anos, considerando a duração das chuvas de 60 min, com intervalos de

discretização de 10 min, conforme recomendado pelo manual do usuário (USP, 2021) que seja próximo de 1/10 do tempo médio de concentração das bacias, que são dados de entrada para o modelo conforme parâmetros da Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros Utilizados no Modelo

Descrição da Variável	Símbolo	Unidade
Área total	AT	Km ²
Área impermeável	AI	%
Área impermeável diretamente conectada	AIDC	%
Intervalo de discretização	Δt	min
Tempo de concentração	T	h
Coefficiente de amortecimento no canal	X	-
Tempo de trânsito da onda de cheia no canal	K	h
Velocidade no canal	V	m/s
Intensidade da precipitação	I	mm/h
Período de retorno da precipitação	Tr	anos
Número da curva de área permeável	CN	-
Rugosidade de retardo	c	-
Rugosidade de Manning	n	s.m ^{-1/3}
Comprimento do canal	L	m
Declividade	S	m/km

A equação IDF, que compõe os parâmetros do modelo escolhida para essa simulação foi a projetada para o município de

Olinda/PE, já se encontra configurada no software, Equação (3) (Coutinho et al., 2013).

Sua adoção se justifica pelo fato do rio estar numa região intermunicipal, sendo divisa entre os municípios do Recife e Olinda.

$$P = T_r^{(\alpha + \beta/T_r^{0.25})} \times [0,50.t + 35.\log(1 + 10.t)] \quad (3)$$

onde:

β um parâmetro atribuído conforme a duração t:
Para t=5 min, $\beta=0,04$; para t>5 min, $\beta=0,2$;

Áreas indicadas para implantação de reservatórios

Para Oliveira e Garcia (2020) os reservatórios de retenção oferecem bons resultados para amenizar os picos de chuva, mas tem a limitação em função do seu volume, visto que geralmente são de grandes proporções, e os espaços urbanos disponíveis estão cada vez mais escassos. Os reservatórios vêm sendo amplamente utilizados, como mecanismo, para esse controle de alagamentos, sobretudo nas áreas urbanizadas.

Silva et al., (2020) dimensionaram reservatório de retenção pelo método das chuvas, objetivando o controle de alagamentos por meio da retenção do excedente das águas pluviais, a fim de reduzir o impacto hidrológico da impermeabilização do solo em área no município de Recife-PE, fazendo uso do modelo SWMM (Storm Water Management Model).

Assim, os reservatórios de retenção ou detenção, quanto instalado localmente, objetiva reter as águas pluviais drenadas para seu interior, a fim de aliviar, temporariamente, os picos de cheias no entorno de sua implantação (Secretaria de Urbanismo E Sustentabilidade, 2022).

Dessa forma, para esta pesquisa foram mapeadas áreas permeáveis pré-disponíveis para implementação dos reservatórios de retenção. As áreas impermeáveis foram calculadas baseadas no Mapa de Uso Solo, obtendo-se o valor de 33% da área da sub-bacia que correspondente a 18,57 Km², e foram utilizadas para os cálculos dos reservatórios, a partir do Manual de Drenagem

Urbana do Departamento de Esgotos Pluviais da cidade de Porto Alegre (Porto Alegre, 2021), onde é possível obter e estimar os volumes para amortecimento em relação à área de contribuição da bacia hidrográfica ou a área impermeável, sendo adotada a menor entre elas, conforme Equações (4) e (5) abaixo:

$$V = 0,02 \times A_c \quad (4)$$

$$V = 0,04 \times A_i \quad (5)$$

Onde:

V = volume em m³

A_c = área de contribuição em hectares

A_i = área impermeabilizada em m²

Medidas não estruturais

As medidas não estruturais devem ser implantadas contando com a participação da população, a começar pela educação ambiental, sendo a conservação das margens da sub-bacia do rio Beberibe, sua vegetação típica e taludes de extrema importância para a preservação. Segundo Aguiar et al. (2018), um dos desafios dos educadores é conciliar as medidas estruturais da engenharia à métodos pedagógicos contextualizados, sendo necessária uma mudança individual acerca dos cuidados ambientais associados às suas práticas cotidianas, e consciência da comunidade para participar de forma efetiva.

Pode-se citar como exemplo a Rioteca (Figura 10), implantada às margens do Rio Capibaribe, na comunidade Vila Santa Luzia, com a finalidade de evitar futuras ocupações irregulares que são umas das maiores causas dos transtornos de alagamentos, além de proporcionar aos moradores um ambiente recreativo e acolhedor. Esta biblioteca tem cerca de 960 m² e fica localizada na rua Silves, no bairro da Torre. A área também dispõe de um mirante para contemplação à vista para o Rio Capibaribe (Prefeitura do Recife, 2021).



Figura 10. Rioteca do bairro da Torre - Prefeitura do Recife (2021)

Resultados e Discussões

Diversos pesquisadores têm se utilizado de modelos hidrológicos para realizar análise de desempenhos de dispositivos de drenagem, objetivando conhecer a infiltração da água no solo (Baek et al., 2020).

Medidas estruturais

A partir da estação pluviométrica localizada no município de Olinda, obteve-se a média relativa para o período de 5 anos que corresponde a 134,24 mm, sendo o ano de 2019, o de maior ocorrência de chuvas.

A partir das cores dos pixels foram possíveis obter as áreas de vegetação, solo natural ou exposto e a área urbanizada, obtendo como resultado 67% de área permeável e 33% de área impermeável.

No método do SCS ocorre uma superestimativa de vazões máximas de cheias, no entanto, isso não acontece para eventos de pequena magnitude, quando a maior parte da pluviosidade é computada como perda inicial (Cunha, 2015).

Nessa pesquisa foi adotada chuva máxima para duração de 60 minutos, com discretização temporal de 10 minutos e período de retorno de 05 e 10 anos.

Para um tempo de retorno de 05 anos, foi obtida uma vazão máxima de 46,61 m³/s com precipitação excedente de 7,35 mm.

As áreas propostas encontram-se em espaços públicos, tais como: parques e praças, e privados, como: indústrias e organizações privadas. Para sua efetivação serão necessárias articulações públicas estadual e municipal. Todas as áreas

encontram-se localizadas no município de Recife.

Para um tempo de retorno de 10 anos, foi obtida uma vazão máxima de 63,95 m³/s com precipitação excedente de 11,03 mm.

Nos valores dos hidrogramas de vazões máximas calculados, pode-se observar que a vazão de cheias simulada para o tempo de retorno de 10 anos, excede em aproximadamente 37% a vazão obtida para um TR de 05 anos. Assim, foi adotada como vazão resultante o tempo de retorno para 10 anos, por ser um período mediano.

Neste estudo foram propostos reservatórios de detenção, como método compensatório, levando em conta o custo x benefício para execução, objetivando o retardo da liberação do escoamento superficial, no gerenciamento das pluviais excedentes. Na (Figura 11) foram apresentadas as áreas previamente disponíveis para implantação dos reservatórios de detenção, mapeadas no trecho do baixo Beberibe.

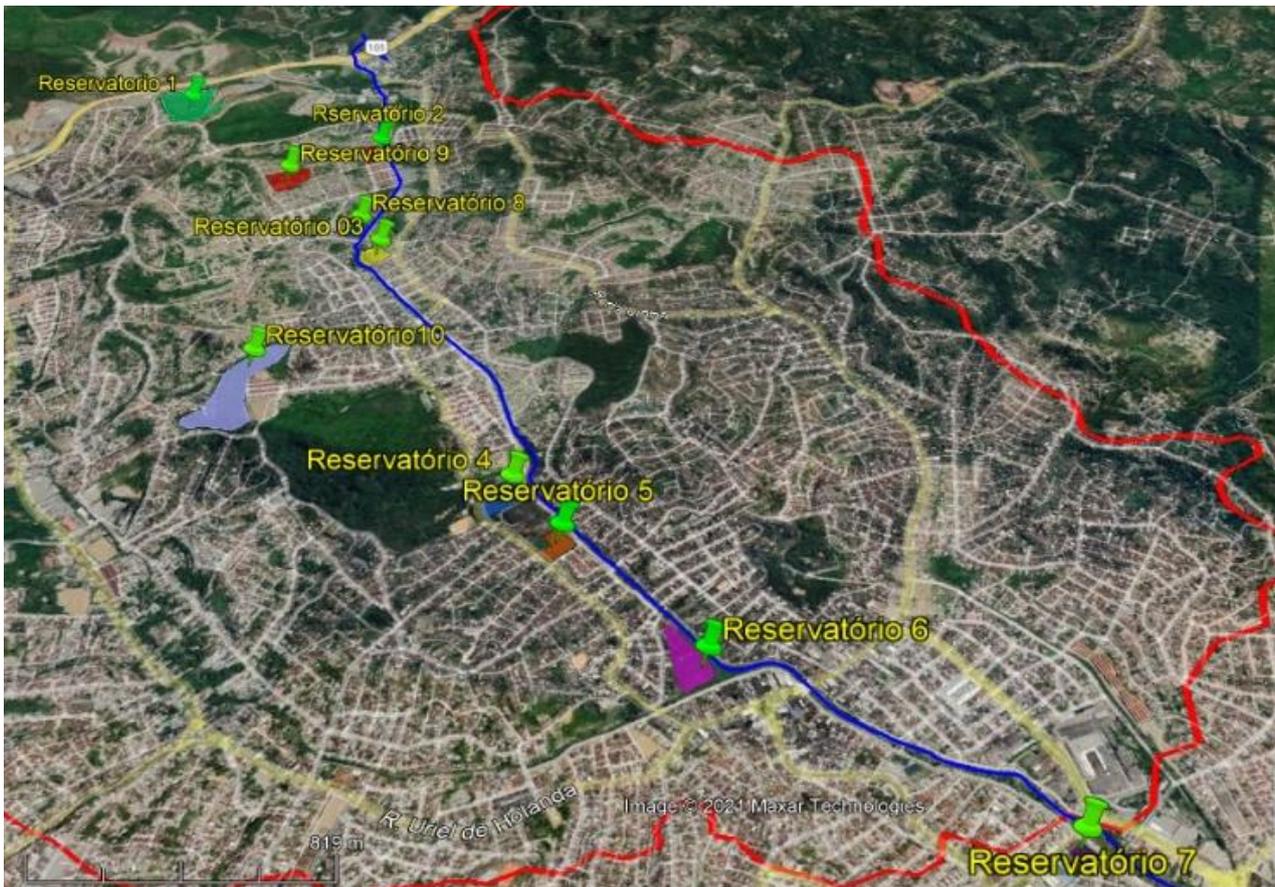


Figura 11. Mapeamento dos reservatórios de detenção no baixo Beberibe, elaborada a partir do QGIS, 2021

Há vários métodos para dimensionar os reservatórios de detenção. Para esse estudo foi utilizado a metodologia preconizada pelo Manual de Drenagem Urbana da cidade de Porto Alegre/RS (Porto Alegre, 2021).

A partir, da equação (5) foi calculado o volume total para os reservatórios, cujo valor corresponde a 74.280,00m³. As áreas disponíveis para os reservatórios encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. As áreas foram calculadas a partir dos polígonos traçados no Google Earth, 2021

Reservatórios	Áreas pré-disponíveis para implantação dos reservatórios (m ²)
1	59.838,00
2	9.935,00
3	8.610,00
4	16.026,00
5	9.109,00
6	20.232,00
7	3.506,00
8	4.884,00
9	12.566,00
10	73.459,00
Total (m²)	218.165,00

O modelo de propagação da simulação foi o de onda cinemática que rejeita a aceleração e os termos de pressão da quantidade de movimento.

Medidas não estruturais

O manejo de resíduos sólidos nas margens e até mesmo na calha do rio Beberibe retrata a realidade da população, a ausência de critérios

socioambientais e educacionais. Por isso, a importância da implantação de tais medidas, tendo em vista que as pessoas que residem naquele entorno vêm promovendo o descarte irregular indiscriminado dos resíduos sólidos, o que ocasiona vários transtornos.

Ecoestação

Como uma medida não estrutural fundamental, foi adotada a implementação da Ecoestação (Figura 12) que tem a finalidade de oferecer à população um local de descarte correto dos seus resíduos sólidos, evitando assim que tais materiais venham a poluir o rio e suas margens.



Figura 12. Ecoestação do bairro do Arruda – PCR (2021)

As Ecoestações são locais de recebimento de resíduos sólidos, tais como: o descarte de móveis velhos, resíduos de pequenas obras residenciais e outros materiais, com volume de até 1m³/dia. Resquícios hospitalares, lixo industrial e

equipamentos eletroeletrônicos não são recebidos nestes locais.

A localização ideal para a instalação da Ecoestação encontra-se na confluência da obra de arte especial com a rua cantora Dalva de Oliveira (Figura 13), este é um ponto de divisa e ligação entre as cidades de Olinda e Recife.



Figura 13. Localização para a implantação da Ecoestação delimitada em vermelho, Google Maps (2021).

Limpeza da calha do Rio

A Prefeitura da Cidade do Recife vem executando a limpeza dos afluentes do rio Beberibe, como no canal do Vasco da Gama e o no canal do rio Morno, que representam as

maiores fontes de suas poluições. De acordo com dados obtidos junto à EMLURB (2021), foram removidos um total de 44.986,14 toneladas de resíduos sólidos nos últimos 05 anos (Figura 14).

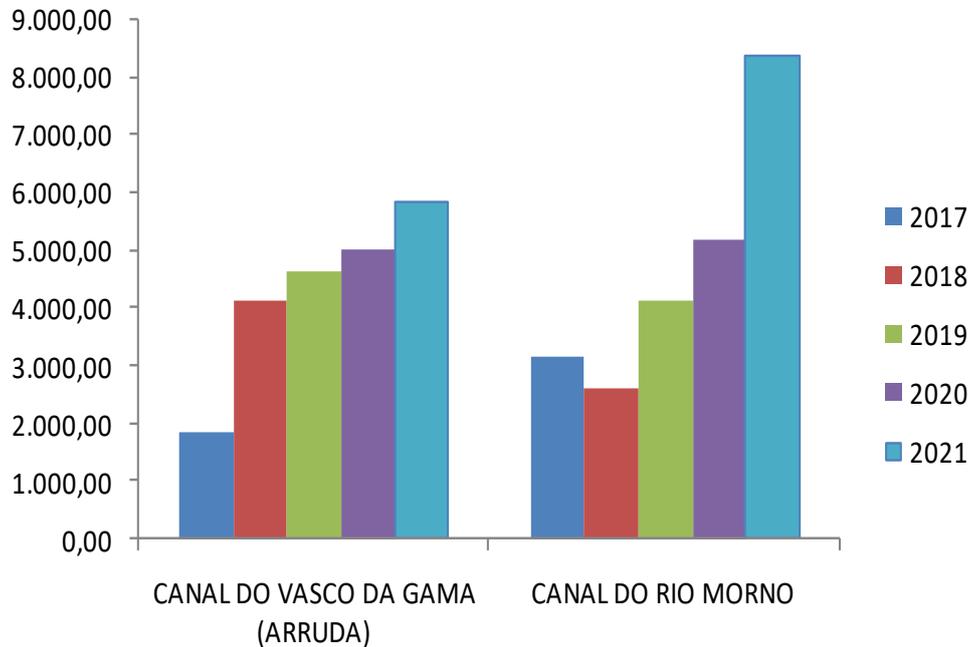


Figura 14. Quantidade de resíduos retirados dos afluentes do rio Beberibe - EMLURB (2021)

Educação ambiental e espaço recreativo

Com o intuito de integrar e estimular o desenvolvimento criativo da população, preservar a integridade da margem do rio Beberibe e impedir futuras ocupações irregulares sugere-se a criação de um ambiente de convivência. A implantação de um lugar para recreação é fundamental, pois estes espaços públicos são propícios para o desenvolvimento de atividades ligadas a conservação da natureza, as práticas de lazer e à convivência social.

Desse modo se faz necessário uma sintonia com os entes públicos, para a criação de um espaço socioeducativo ativo e atuante, com um projeto socioambiental e sustentável nas escolas estaduais e/ou municipais da região, a fim de aproximar as comunidades ao conhecimento técnico e assim valorizar os mananciais.

Como diz Benatti e Silva (2017), refletir o espaço urbano das cidades e o conceito de uma intervenção de requalificação começa com a compreensão da importância de serem preparadas estruturas de lazer no meio urbano destinados a interesses na área do divertimento.

Conclusão

É essencial que as questões ambientais nos centros urbanos sejam priorizadas, o crescimento desordenado, atrelado às ausências de manutenções periódicas causam transtornos e perdas incalculáveis. A análise da vazão estudada do rio Beberibe, utilizando o modelo ABC6, objetiva melhorias abrangendo o curso d'água urbano e a população que reside naquele entorno.

Neste trabalho foram analisadas as vazões de cheia da bacia do rio Beberibe, na área de estudo, buscando controle de alagamentos para o trecho do baixo Beberibe, além de propostas que buscam reduzir as ocupações irregulares e os lançamentos indevidos dos resíduos sólidos no rio. Estas ações são de fundamental importância para a melhoria de vida das pessoas que ali ainda residem.

Desse modo, verificou-se a necessidade de implantação de medidas estruturais para conter o excedente do escoamento superficial, buscando o manejo das águas pluviais nas áreas propensas a alagamentos.

Freitas *et al.* (2018) utilizaram o modelo para gerar o hidrogramas de vazão de chuva máxima para três cenários, sendo 1 para área pré-urbanizada considerando uso solo para produção agrícola, 2 levando em conta a área ser 90% urbanizada, 3 considerando a área com implantação de drenagem urbana. O estudo foi no Assentamento 26 de Setembro localizado na cidade de Brasília/DF, que resultou no aumento da vazão em até cinco vezes comparada à vazão inicial. Como solução propuseram o uso de trincheiras de infiltração e reservatórios de detenção como medidas, que compõe o manejo das águas pluviais, e atuam no controle de enchentes.

As simulações foram realizadas a partir do modelo ABC6 e assim, sendo obtidas vazões de picos de 46,61 m³/s e 63,95m³/s, para tempos de retornos de 05 e 10 anos respectivamente.

Dentre os volumes de vazão estimados para os reservatórios de detenção, foi determinado o valor de 74.280,00 m³ como ideal. Esses reservatórios podem ser implementados em algumas das áreas disponíveis e mencionadas na área de estudo dessa pesquisa.

Assim, a partir da adoção de medidas estruturais e não estruturais é possível haver um melhor controle dos alagamentos e inundações, nas comunidades ribeirinhas, de áreas densamente habitadas. Mas, para que isso ocorra é necessária uma melhor integração do sistema de drenagem urbana existente, incorporando-o aos dispositivos de drenagem urbana sustentáveis, buscando dessa forma, ser mais assertivo quanto ao gerenciamento das águas pluviais urbanas.

Outrossim, pode-se também simular outros dispositivos de drenagem urbana sustentável para o local de estudo, medindo sua eficiência quanto aos impactos na atenuação dos alagamentos.

Agradecimentos:

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, ao PFAUPE – Programa de Fortalecimento Acadêmico da UPE, pela bolsa concedida à segunda autora. À FACEPE – Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pela bolsa concedida à terceira autora.

Ao Professor Ariel Gomes da FAENG/UFMS.

Referências

- ALMEIDA, Lizane; SERRA, Juan Carlos Valdés. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, 20. 129-137, 2017.
- Alencar, A. K. B. Crescimento urbano x assentamentos precários a continuidade de processos insustentáveis. **Revista movimentos sociais e dinâmicas espaciais**. 03, 2014.
- Andrade, G. Rio Beberibe, que corta Recife e Olinda, agoniza há anos, enquanto moradores lutam por sobrevivência. **JORNAL DO COMMERCCIO**, Pernambuco, 31 out. 2021. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/pernambuco/2021/10/13020729-rio-beberibe-que-corta-recife-e-olinda-agoniza-ha-anos-enquanto-moradores-lutam-por-sobrevivencia.html>. Acesso em: 01 nov. 2021
- Baek, S. S.; Ligaray, M.; Pyo, J.; Park, J. P.; Kang, J. H.; Pachepsky, Y.; Chun, J. A.; Cho, K.H. A novel water quality module of the SWMM model for assessing low impact development (LID) in urban watersheds. **Journal of Hydrology**, 586, March, p. 1–13, 2020.
- Baptista, M.; Nascimento, N.; Barraud, S. (Coordenadores). Técnicas compensatórias em drenagem urbana - 2ª edição. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 318 p., 2011.
- Benatti, C.; Silva, R. T. **Espaço público e qualidade de vida**: Revitalização da zona ribeirinha da Freguesia de Santa Engrácia – Lisboa, Portugal. 2017. Almanaque Multidisciplinar de Pesquisa. Ano IV – Volume 1 - Número 1.
- Cabral, J. J. S. P.; Braga, R. A. P.; Fonseca Neto, G. C.; Cabral, P. L.; Santos, S. N. Abordagem Multidisciplinar No Processo de Início de Revitalização de Três Riachos da Bacia do Rio Capibaribe. In **Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** (ISSN 2318-0358). 2019.
- Costa, A. M. M.; Santos, L. C.; Silva, O. G. Análise da drenagem do baixo curso da bacia do rio Beberibe e a sua influência para com a sociedade, **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, ISSN: 1988-7833, agosto, 2020. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/ccss/2020/08/rio-beberibe.html>. Acesso em: 30 out. 21.
- Coutinho, A. P.; Leite, L. L. L.; Ribas, L. V.; Antonino, A. C. D.; Cabral, J. J. S. P.; Montenegro, S. M. G. L. Coletânea de Equações de Chuvas Intensas para o Estado de

- Pernambuco. *In Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2013.
- Coutinho, M. A. S.; Tucci, C. E. M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 13 n.3, 59-71. 2008
- Cruz, M. A. S.; Tucci, C. E. M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 13 n.3, 59-71. 2008
- Cunha, S. Et Al. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20, 837–848, 2015.
- Darnthamrongkul, W., & Mozingo, L. A. Toward sustainable stormwater management: Understanding public appreciation and recognition of urban Low Impact Development (LID) in the San Francisco Bay Area. *Journal of Environmental Management*, 300(September), 113716.2021.
- DISTRITO FEDERAL (DF). Resolução nº 09, de 08 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais [...]. Brasília – DF. ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energias e Saneamento Básico do Distrito Federal. 2011. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anejos/8Legislacao/Res_ADASA/Resolucao009_2011.pdf. Acesso em: 27 nov.2021.
- EMLURB. Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana. “Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas do Recife”: Relatório do diagnóstico do sistema de drenagem existente. Recife-PE, 333pp. 2016.
- Equipe de Desenvolvimento QGIS (2021). Sistema de Informações Geográficas QGIS. Projeto da Fundação Geoespacial de Código Aberto. Disponível em: [Http://qgis.osgeo.org](http://qgis.osgeo.org).
- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Modelos de simulação hidrológica - Modelo ABC6 Análise de Bacias Complexas. Disponível em: <https://docplayer.com.br/79730854-Modelos-de-simulacao-hidrologica-modelo-abc6-analise-de-bacias-complexas.html>. Acesso em: 20 de nov. 2021.
- Fernandes, A. S.; Gama, A. M. C. F.; Saorim, R. N.S. A Gestão Integrada da Bacia do Rio Beberibe, no Governo do Estado de Pernambuco, Brasil. *In Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2011.
- Freitas, A. C. M.; Silva, F. F.; Costa, M. E.; Acosta, S. P.; Brites, C. R. C. **Análise Hidrológica da Aplicação de Sistemas de Drenagem Sustentável - Estudo de Caso Assentamento**. 26 de setembro. AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. 2018
- Góes, V.C.; Cirilo, J. A. Aplicação do Modelo Hidrológico-Hidrodinâmico Mike She/Mike 11 À Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe Em Pernambuco. *In Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2009.
- Goetzinger, B. L. ; Wheeler, R. M.; Reynaldo, T. R.; Henkes, J. A. Estudo e propostas de melhorias da bacia do rio Itajaí-açu em Blumenau. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis, 9, 868-886, abr/jun. 2020
- Listo, F. L. R., Mützenber, D. S., Tavares, B. A. C. “Geomorfologia e geoarqueologia do Nordeste”. Recife: GEQUA:2016. **E-book do I Workshop**. Volume I. (Orgs.), 2016. 257 f.
- Mignot, E.; Dewals, B. Modelagem hidráulica de inundações urbanas interiores: avanços recentes. **Jornal de Hidrologia**, p. 127763, 2022.
- Oliveira, C. P. M.; Porto, R. L.; Zahed Filho, K.; Roberto, A. N. ABC 6, um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas. *In Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Belo horizonte – MG. 1999.
- PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL - PE3D. Mapeamento do Território Pernambucano. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php>. Acesso em: 19 nov. 2021.
- Pinho, T. A. S. Análise do processo de degradação ambiental do curso inferior do rio morno sob da perspectiva da ocupação desordenada das áreas do seu entorno. *In Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Fortaleza – CE. 2019.
- PORTO ALEGRE; Plano Diretor de Drenagem Urbana - Manual de Drenagem Urbana. Disponível em: http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf. Acesso em: 05 dez. 2021.
- Pour, S. H. Técnicas de desenvolvimento de baixo impacto para mitigar os impactos das inundações urbanas induzidas pelas mudanças climáticas: tendências atuais, questões e desafios. **Cidades e Sociedade Sustentáveis**, 62, 102373, 2020.
- PREFEITURA DO RECIFE, (2021). A Cidade do Recife: Perfil e História. Disponível em:

- CONCEITO | ECORECIFE, Acesso em 30 out. 2021.
- Preuss, S. L. C.; Silva, A. A.; Braga, R. A. P.; Cabral, J. J. S. P. Adequação estrutural e ambiental para a drenagem urbana sustentável: o caso do Recife, Pernambuco. *In Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió- AL. 2011.
- Sampaio, L.F., Guimarães Silvestre Rodrigues, V., De Almeida Bressiani, D., & Resende Martins Ferreira, R. Hydrologic and hydraulic simulations for use in macrodrainage designs for gully management and recovery. *Dyna*, 84(202), 129–136. 2017.
- Santos, H. G. SiBCS, disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa. 356 p. 2018.
- SECRETARIA DE URBANISMO E SUSTENTABILIDADE. Prefeitura de São José dos Campos (SP). **Manual de estratégias sustentáveis**. São José dos Campos (SP), Março 2022.
- Silva, J. F. G. Análise da morfodinâmica e identificação de geoindicadores de modificações processuais na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2020.
- Silva, S. R.; Silva Junior, M. A. B.; Oliveira, R. L. M.; (2020). Modelagem computacional de reservatório de detenção sob logradouro: uma alternativa para controle de alagamentos em área densamente urbanizada do Recife/PE. **Revista DAE**, 68(226), 196–212.
- Soares, G.A.S., Galvêncio, J.D., 2020. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe- PE. **Revista Brasileira de Geografia Física** 07, 3659-3674.
- Tucci, C. E. M. **Águas Urbanas. Estudos avançados**, São Paulo, v.22, n.63, 2008.
- Vergutz, L.A.A.; Pereira, C.E.; Schmidt, M.A.R. Análise da implantação de reservatórios de detenção de forma que sejam minimizados os impactos causados por inundações. **Eng Sanit Ambient.** 24 2019. Pg. 1267-1277.
- Zubelzu, S. et al. Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective. **Science of the Total Environment**, 663, p. 133–143. 2019.
- Wang, Zhenbei et al. Como as tecnologias de controle de poluição de chuva e escoamento urbano se desenvolvem na China? Revisão sistemática baseada em análise bibliométrica e resumo da literatura. **Ciência do Ambiente Total**, 789, p. 148045, 2021.