

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ADAUTO ANTÔNIO DE ARAÚJO NETO

**Efeito do aproveitamento de água da chuva na redução de escoamento
superficial em uma sub-bacia do Riacho Pau D'Arco**

Maceió
2022

ADAUTO ANTÔNIO DE ARAÚJO NETO

Efeito do aproveitamento de água da chuva na redução de escoamento superficial em uma sub-bacia do Riacho Pau D'Arco

TCC apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Professor Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.

Maceió

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

A663e Araújo Neto, Aduino Antônio de.

Efeito do aproveitamento de água da chuva na redução de escoamento superficial em uma sub-bacia do Riacho Pau D'Arco / Aduino Antônio de Araújo Neto. – 2022.

46 f. : il. color.

Orientador: Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 44-46.

1. Hidrologia urbana. 2. Aproveitamento da água da chuva. 3. Redução de escoamento superficial. 4. Bacias hidrográficas urbanas. I. Título.

CDU: 628: 556

RESUMO

O processo de urbanização modifica o ciclo hidrológico, aumentando o escoamento e reduzindo os processos de infiltração e armazenamento. Portanto, é necessário estudar técnicas de redução do escoamento superficial, especialmente o controle na fonte. Em áreas com pouco espaço livre em lotes, esta redução pode ocorrer através de técnicas como a coleta de água da chuva em telhados. Assim, estudou-se o efeito da inserção de tais sistemas em uma pequena bacia hidrográfica urbana, no bairro de Jacintinho em Maceió-AL, utilizando o software *Storm Water Management Model 5.0* para simular cenários antes e depois da instalação dos sistemas em vários lotes. Estimou-se a demanda de uso de água após o monitoramento do consumo de um lote próximo à bacia hidrográfica, no mesmo bairro, e este comportamento foi assumido como o padrão para a área de estudo. Utilizou-se uma série de chuvas contínuas, com um intervalo de discretização de um minuto, e observou-se os efeitos nos volumes de escoamento e picos de vazão na saída da bacia hidrográfica, bem como a capacidade deste tipo de sistema para suprir a demanda de água de uma residência. Conclui-se que tal sistema é capaz de suprir a demanda de uma residência para fins específicos e reduzir o escoamento superficial em um lote, embora necessite de ajustes para reduzir o desperdício de água da chuva coletada. Entretanto, apenas o uso destes sistemas não é suficiente para uma grande redução de volume e pico de escoamento para a bacia como um todo, devido à baixa quantidade de lotes utilizados aqui e outros fatores como o tamanho do reservatório e o conflito entre o uso destes para abastecimento da residência e redução de vazão nos lotes. Sugere-se a expansão do número de lotes para aplicação do sistema e integração com outras técnicas de controle de escoamento.

Palavras-chave: hidrologia urbana, armazenamento de água da chuva, simulação contínua

ABSTRACT

The urbanization process modifies the hydrological cycle, increasing runoff and reducing infiltration and storage processes. Therefore, it is necessary to study runoff reduction techniques, especially source control. In areas with little free space in lots, this reduction can occur through techniques such as rainwater harvesting from roofs. Thus, we studied the effect of inserting such systems in a small urban watershed, in the Jacintinho neighborhood in Maceió-AL, using the software Storm Water Management Model 5.0 to simulate scenarios before and after installation of them in several lots. We estimated water use demand after monitoring the consumption of a lot near the watershed, in the same neighborhood, and this behavior was defined as the standard for the study area. We have used a continuous rainfall series, with a discretization interval of one minute, and we have observed the effects of runoff volumes and peak flows at the watershed outlet, as well as the capacity of this type of system to supply a household's demand for water. We conclude that such a system can supply the demand of a residence for specific purposes and reduce surface runoff in a lot, although it needs adjustments to reduce the waste of collected rainwater. However, only the use of these systems is not sufficient for a large reduction in volumes and peak runoff for the whole basin due to the low amount of lots used here, as well as the conflicting application of the reservoirs – human use and peak flow control. We suggest the expansion of the number of lots for application of the system and integration with other runoff control techniques.

Keywords: urban hidrology, rainwater harvesting, continuous simulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo dos objetivos, metodologias e resultados do trabalho	16
Figura 2 – Mapa da área de estudo	17
Figura 3 - Exemplo de série de precipitação referente ao ano de 2018	18
Figura 4 – Localização do lote estudado	19
Figura 5 - Esquema do SAAP inserido nos lotes.....	25
Figura 6 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia de Estudo	29
Figura 7 - Mapa pedológico da bacia de estudo.....	30
Figura 8 – Registro do hidrômetro no dia 12/02/2022	32
Figura 9 - Série de consumo monitorada	32
Figura 10 - Exemplo de série de demanda	33
Figura 11 – Distribuição dos lotes na bacia de estudo	35
Figura 12 – Exemplos de lotes escolhidos	36
Figura 13 – Demanda total e demanda atendida	37
Figura 14 – Taxa de desperdício de água do sistema.....	38
Figura 15 – Retenção de volume e pico de vazão	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para simulação de escoamento	21
Tabela 2 - Resumo dos parâmetros de escoamento da bacia	22
Tabela 3 – Tipologias de uso e cobertura de solo associadas às classes de permeabilidade.....	23
Tabela 4 – Valores de coeficiente de rugosidade e capacidade de armazenamento	23
Tabela 5 – Resumo dos parâmetros de escoamento dos telhados.....	25
Tabela 6 - Parâmetros dos condutos de transporte de vazão	26
Tabela 7 – Medidas físicas da bacia	28
Tabela 8 – Áreas das Classes de uso e Ocupação do Solo.....	29
Tabela 9 – Valores de CN adotados neste trabalho	30
Tabela 10 - Dados de consumo diário.....	31
Tabela 11 – Áreas dos telhados e de coleta dos SAAP	34
Tabela 12 – Redução de escoamento entre cenários	40
Tabela 13 – Redução de vazão de pico entre cenários	40
Tabela 14 – Retenção de escoamento total nos lotes.....	40
Tabela 15 – Retenção de vazão de pico nos lotes.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	Áreas Impermeáveis
AS/A	Áreas Impermeáveis sem Armazenamento em Depressões
CP	Confiabilidade Plena
CN	Curva-Número
EEA	Eficiência de Economia de Água
Erqmáx	Eficiência do Sistema na Retenção de Vazão Máxima
Ervolume	Eficiência do Sistema na Retenção de Volume
GRASS	do Inglês Geographic Resources Analysis Support System
LID	do Inglês Low Impact Development
NBR	Normas Brasileiras
n_{imp}	Coeficiente de Rugosidade de Manning (Superfícies Impermeáveis)
n_{perm}	Coeficiente de Rugosidade de Manning (Superfícies Permeáveis)
OF	Taxa de Desperdício de Água de Chuva
P_{aimp}	Capacidade de Armazenamento em Depressões (Superfícies Impermeáveis)
P_{aperm}	Capacidade de Armazenamento em Depressões (Superfícies Permeáveis)
Q_{p2}	Vazão de pico no cenário com SAPP
Q_{p1}	Vazão de pico no cenário sem SAAP
Q_{pt}	Vazão de pico dos telhados
Q_s	Vazão de pico nas saídas dos SAAP
SAAP	Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais
SWMM 5.1	do Inglês Storm Water Management Model 5.1
V_{e2}	Volume escoado no cenário com SAPP
V_{e1}	Volume escoado no cenário sem SAAP
V_{et}	Volume escoado dos telhados
V_s	Volume nas saídas dos SAAP
Wc	Largura Característica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	Objetivo Geral	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1	Aproveitamento de Água da Chuva	11
3.2	Modelagem Hidrológica.....	13
4	MÉTODOS.....	15
4.1	Área de Estudo	17
4.2	Dados Hidrológicos e de Perfil de Consumo de Água.....	18
4.3	Dimensionamento do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais	19
4.4	Cenários de Simulação e Séries Contínuas.....	20
4.5	Simulação dos Cenários	21
4.5.1	Simulação do cenário 1	21
4.5.1.1	Características físicas da bacia	22
4.5.1.2	Percentual de área impermeável	22
4.5.1.3	Coeficientes de rugosidade e capacidades de armazenamento.....	23
4.5.1.4	Estimativa da curva-número	24
4.5.2	Simulação do cenário 2	24
4.5.2.1	Parâmetros do cenário 2	24
4.5.2.2	Transporte das vazões dos lotes para o exutório da bacia	26
4.6	Avaliação do SAAP no Período de Simulação	26
5	RESULTADOS	28
5.1	Caracterização física da bacia	28
5.1.1	Classificação de uso e cobertura do solo	28
5.1.2	Determinação da curva-número da bacia.....	30
5.2	Perfil de Consumo da Residência	31
5.3	Série de Demanda Padrão	33
5.4	Dimensionamento dos SAAP e escolha dos lotes	33
5.5	Desempenho do SAAP no Atendimento a Demanda e Redução de escoamento e Vazões de Pico de um Lote.....	36
5.6	Desempenho dos SAAP na Redução de Escoamento e Vazões de Pico da sub-bacia	39
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, apesar de trazer avanços de infraestrutura, altera o ciclo hidrológico devido à remoção de vegetação e impermeabilização do solo. Como consequência, os processos de infiltração, evapotranspiração e interceptação são reduzidos, enquanto o escoamento superficial é acentuado (CHOW, 1965 *apud*. SANTOS, 2021).

Com o avanço dos anos, os problemas com alagamentos em centros urbanos se tornam cada vez mais frequentes. Isto porque o crescimento urbano vem geralmente associado ao aumento das áreas impermeáveis totais (LIU; GOONETILLEKE; EGODAWATTA, 2012), o que leva à necessidade de intervenções estruturais como obras de drenagem.

Paralelo a isso pode-se realizar o combate ao alagamento de forma local. Neste contexto, pode-se considerar as unidades habitacionais como escala de intervenção e buscar a implementação de técnicas que tratam o escoamento superficial dentro dos lotes, como soluções de infiltração e amortecimento (PEDROSA, 2008).

Estas técnicas locais são conhecidas atualmente como Desenvolvimento de Baixo Impacto – do inglês *Low Impact Development* (LID). Elas têm como principal objetivo simular a hidrologia preexistente em um local utilizando soluções de engenharia que proporcionam o armazenamento, a infiltração e a detenção do escoamento superficial (FLETCHER *et al.*, 2014).

Dentro destas técnicas está incluso o aproveitamento de águas pluviais, que pode ser capaz de atender o consumo de água não potável de um lote. Além de gerar redução no consumo de água encanada, este é também capaz de reduzir o escoamento superficial (GHAFARIANHOSEINI *et al.*, 2016).

Dado isso, simulou-se a eficiência do uso de bombonas para o armazenamento da água da chuva em lotes de uma parcela de bairro do Jacintinho, que é uma técnica essencialmente pensada para o uso racional da água, na redução do escoamento superficial (PERIUS, 2021).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Quantificar o efeito do aproveitamento de água da chuva de telhados na redução de escoamento superficial, em uma sub-bacia do Riacho Pau D'arco, em Maceió - AL.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho do sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) de telhados no atendimento à demanda pelo uso da água em um lote;
- Avaliar a aplicação do aproveitamento de água da chuva de telhados na redução dos volumes escoados e das vazões de pico em um lote; e
- Avaliar a aplicação do aproveitamento de água da chuva de telhados na redução dos volumes escoados e das vazões de pico em uma sub-bacia do Riacho Pau D'Arco.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As técnicas de LID podem ser aplicadas em diferentes escalas com níveis de impacto e custos diferentes. Segundo Veiga (2014), as técnicas de LID, como reservatórios de retenção nos lotes, se mostram interessantes para aplicação em regiões mais pobres quando comparadas às técnicas tradicionais de drenagem, já que as primeiras apresentam baixo custo, fácil manutenção e ocupam pouco espaço do solo.

Algumas destas técnicas foram estudadas por Zhang *et al.* (2015) num distrito residencial chinês, onde avaliaram-se diversos cenários que combinaram técnicas de armazenamento *in situ* e o uso de pavimentos permeáveis em diferentes níveis de aplicação. Os autores concluíram que a aplicação de LID em 100% dos lotes gera um escoamento de base 1,94 vezes maior que a aplicação das técnicas em metade dos lotes – o que indica que o crescimento de eficiência não é proporcional à área implementada. Ademais, os autores indicam que, devido a isto, é necessário avaliar o custo benefício dos projetos.

Destaca-se também a necessidade de se estudar técnicas de aproveitamento desta água da chuva. No artigo 2º do código de Urbanismo e Edificações de Maceió - instrumento complementar ao Plano Diretor e que estabelece o zoneamento da cidade – são apresentadas algumas diretrizes voltadas ao manejo de águas pluviais urbanas, a saber:

Art. 2º. São diretrizes deste Código:

[...]

V – Facilitação da drenagem de águas pluviais;

VI – Incentivo do reaproveitamento da água da chuva para recarga de aquíferos; (MACEIÓ, 2006, p. 16-17)

Dentro desta abordagem, uma técnica simples que pode ser incorporada é o uso de aproveitamento de água de chuva de telhados como auxílio no controle da geração do escoamento superficial, detalhado no item a seguir.

3.1 Aproveitamento de Água da Chuva

O aproveitamento de água da chuva pode ser feito em diversas situações e para diversos usos e cada um desses usos está associado aos padrões de qualidade

desta água. Em zonas rurais é comum a utilização de cisternas para armazenamento de água da chuva para consumo doméstico geral, enquanto nas cidades onde o abastecimento é mais constante, esse sistema é utilizado geralmente no controle de enchentes (NETO, 2013).

Ademais, segundo o autor este tipo de sistema tem um potencial alto de regularização de vazões em períodos chuvosos, economia de energia e de outras fontes de água. Aponta também que os primeiros mm de chuva são de pior qualidade e devem ser descartados. Quanto a isso, Melo e Andrade Neto (2007) *apud*. Neto (2013) apontam que em geral após o primeiro milímetro de chuva os valores de turbidez e condutividade elétrica sofrem redução brusca e o descarte deste é suficiente para garantir uma boa qualidade da água do reservatório.

Como dito anteriormente, em ambientes urbanos, o uso destes reservatórios visa principalmente regularizar vazões em períodos chuvosos e a economia de água encanada sem que haja a substituição da água encanada em todos os usos (CUSTÓDIO, 2019).

Estes usos foram estudados por Ghaffarianhoseini *et al.* (2016) e os autores apontaram que para o cenário urbano os usos candidatos a substituição podem atingir cerca de 80% do consumo total da residência. Dentre eles, se destacam: descarga de vaso sanitário, lavanderia e lavagem de pisos e automóveis.

No entanto, Perius *et al.* (2021) avaliaram a performance de sistemas de aproveitamento de água de chuva nas cinco regiões do Brasil. E uma de suas observações foi que o uso desta água para usos domésticos contínuos como descarga de vaso sanitário só é melhor atendida em cidades com precipitação bem distribuída ao longo do ano.

Além da redução do consumo de água da residência, a utilização da água da chuva contribui também com a redução da frequência e dos volumes escoados na zona urbana (CAMPISANO *et al.*, 2017). Santos (2021) estudou os efeitos do aproveitamento de água da chuva na atenuação do escoamento superficial em uma parcela de lote. Via simulação contínua, a autora obteve uma redução de 48% de redução do escoamento superficial em seu melhor cenário de simulação, verificando a influência da precipitação total, intensidade média, intensidade máxima, bem como na vinculação destas variáveis com o reservatório de descarte das primeiras águas.

E esta redução de escoamento superficial é a principal motivação por trás do surgimento de normas reguladoras deste tipo de sistema. A cidade de São Paulo foi pioneira em determinar a utilização de reservatórios a partir de uma determinada área impermeável com o objetivo de reduzir o escoamento superficial (PACHECO et al, 2017 *apud*. SANTOS, 2021).

Esta determinação veio por meio da Lei nº 13.276 de 05 de janeiro de 2002 que diz em seu artigo primeiro:

Art. 1º Nos lotes edificados ou não que tenham área impermeabilizada superior a 500m² deverão ser executados reservatórios para acumulação das águas pluviais como condição para obtenção do Certificado de Conclusão ou Auto de Regularização previstos na Lei 11.228, de 26 de junho de 1992 (SÃO PAULO, 2002).

Já em âmbito federal, o país conta com alguns textos que regulamentam e normatizam o aproveitamento de água da chuva. A ABNT NBR 15.527/2019 que trata sobre o aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis (ABNT, 2019) e a Lei nº 13.501/2017 que inclui o aproveitamento de águas pluviais como um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) (BRASIL, 1997; BRASIL, 2017).

3.2 Modelagem Hidrológica

Segundo Fletcher (2013), a tendência atual é a utilização de modelos hidrológicos de simulação contínua, que - apesar de exigirem um maior poder computacional - oferecem informações mais úteis para a concepção dos sistemas de drenagem. Nesse quesito, um dos modelos mais utilizados atualmente é o *Storm Water Management Model* (SWMM).

Essa tendência surge por conta de alguns benefícios da utilização da simulação contínua em detrimento da simulação por eventos como: consideração do balanço de umidade do solo da bacia e a representação dinâmica dos reservatórios (BOUGHTON E DROOP, 2003 *apud*. SANTOS, 2021).

Quanto à utilização deste tipo de modelo, Campisano e Modica (2015) mostraram que a simulação é afetada pela escala de tempo escolhida, que influencia na estimativa de volume dos reservatórios. Com isso, os autores apontam que o uso de escalas diárias para uma determinação de volume é suficiente; no entanto, se o

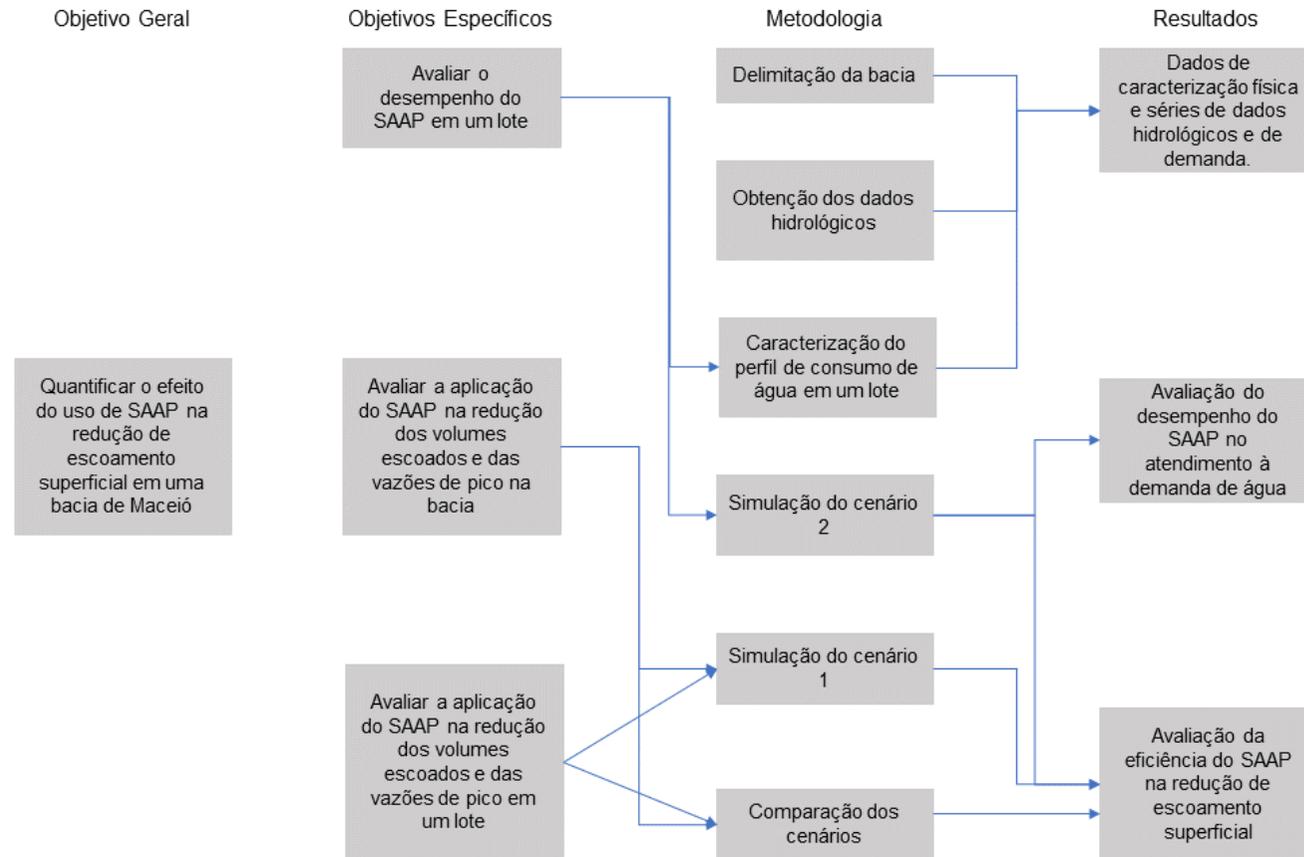
objetivo é estudar os efeitos deste armazenamento na redução do escoamento superficial, faz-se necessário o uso de escalas menores.

4 MÉTODOS

Nesta seção estão detalhados os passos metodológicos deste trabalho. O primeiro deles é a delimitação da área de estudo por meio de ferramentas de geoprocessamento. O segundo é a obtenção dos dados de precipitação e os dados de consumo da residência estudada e criação das séries de precipitação e consumo. O terceiro é o dimensionamento do SAAP com base no padrão de consumo da residência. O quarto é a montagem dos cenários de simulação. O quinto é a forma pela qual estas simulações foram executadas. E o sexto e último é a avaliação de desempenho dos SAAP para a escala de lote e bacia.

A Figura 1 apresenta um resumo dos passos para execução deste trabalho, que serão detalhados a seguir

Figura 1 – Resumo dos objetivos, metodologias e resultados do trabalho

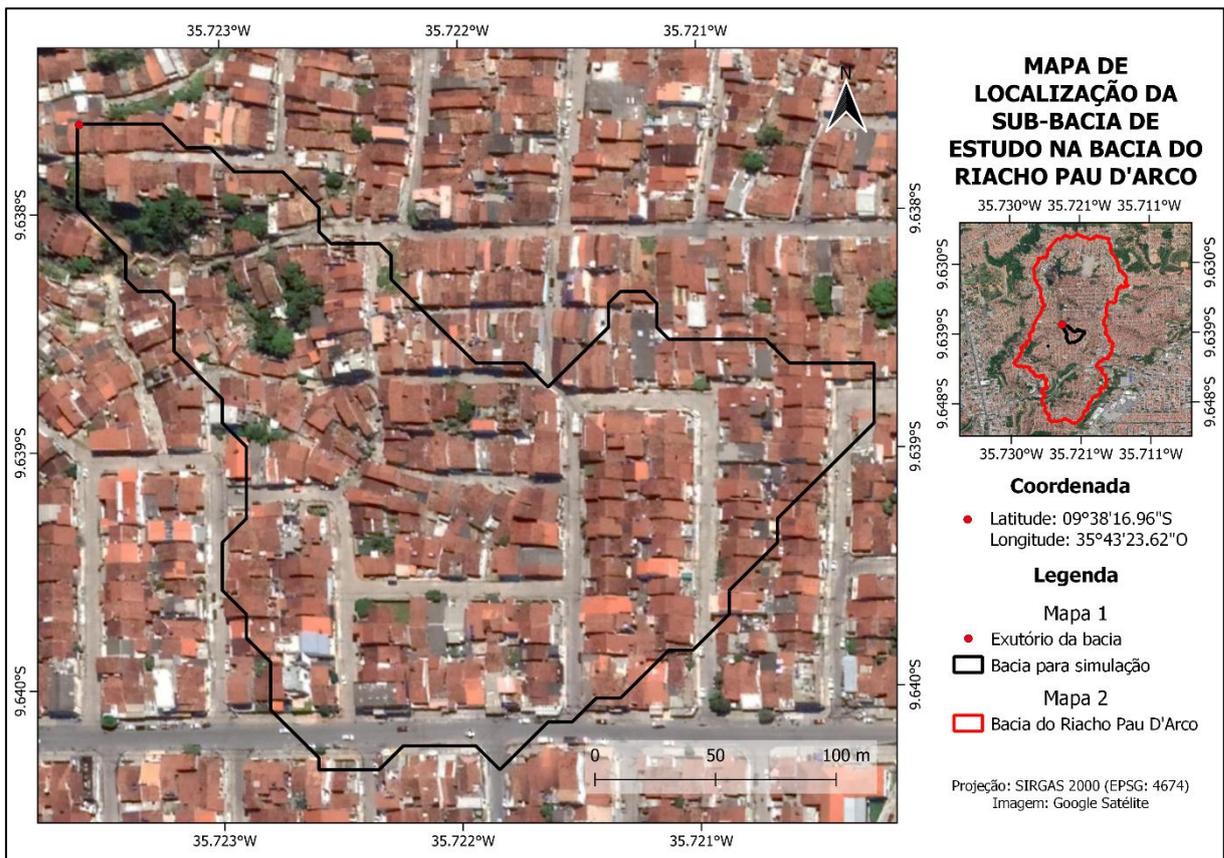


Fonte: Autor (2022)

4.1 Área de Estudo

Este trabalho possui como área de trabalho uma sub-bacia da bacia do Riacho Pau D'Arco – doravante denominada bacia (Figura 2), localizada no município de Maceió – AL e está inserida na bacia do Riacho Reginaldo. A bacia possui como exutório o ponto de coordenadas $9^{\circ}38'19,96''$ S e $35^{\circ}43'23,62''$ O.

Figura 2 – Mapa da área de estudo



Fonte: Autor (2022)

A bacia foi delimitada com o uso do software de código aberto *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS), por meio de sua integração com o software de código aberto QGIS. Para isso foram utilizadas curvas de nível, extraídas da base cartográfica de Maceió (Maceió, 1999) em *dwg* e convertidas em *shapefile* com uma resolução de 10m e posteriormente transformadas em um Modelo Digital de Elevação para geração da bacia. A coordenada geográfica utilizada para delimitação da bacia foi obtida com o auxílio do *Google Earth*.

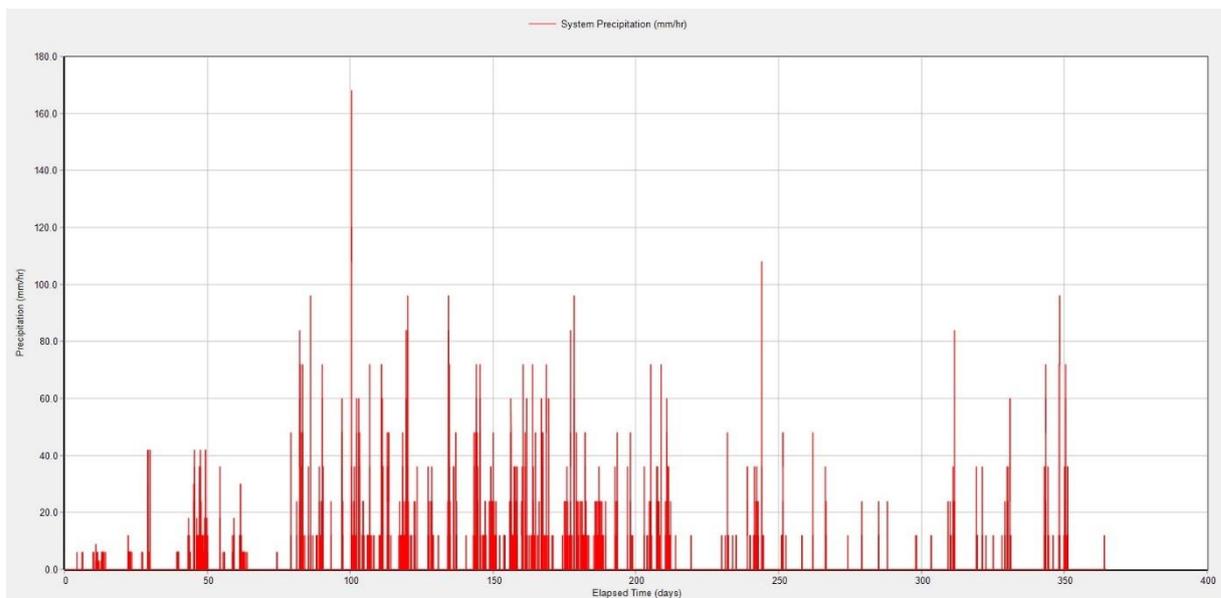
A escolha da bacia de estudo se baseou em alguns fatores chave. O primeiro deles é o tamanho da bacia, que das candidatas próximas ao lote estudado é a que

possui menor área e essa escolha se justifica devido ao tempo curto disponível para execução das simulações. O segundo ponto analisado foi o padrão dos lotes inseridos na bacia que é similar ao padrão do lote estudado (Figura 2 e Figura 4).

4.2 Dados Hidrológicos e de Perfil de Consumo de Água

Para simulação contínua dos cenários, foi aproveitada uma série contínua utilizada por Santos (2021). A autora construiu a série de precipitação (Figura 3) a partir dos dados de um pluviômetro de báscula com registro automático (*datalogger*) da marca *Hydrological Services Pty Ltd*, modelo TB6, basculada de 0,2 mm, instalado em um lote no bairro do Feitosa (9°38'35" S e 35°43'44" O) no ano de 2014.

Figura 3 - Exemplo de série de precipitação referente ao ano de 2018



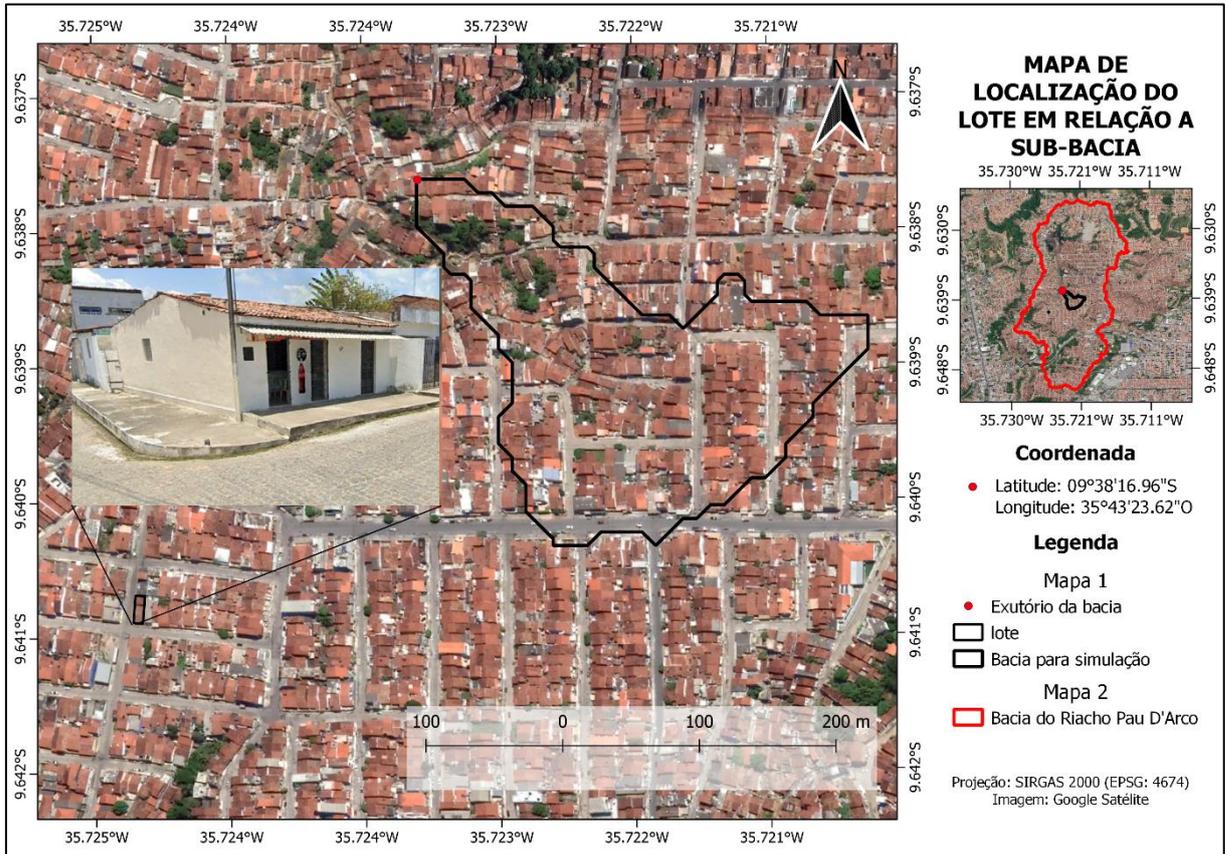
Fonte: Santos (2021)

Os dados de consumo de água (Tabela 10) aqui utilizados foram obtidos da residência unifamiliar localizada nas proximidades da bacia (Figura 4), por meio do monitoramento e registro do consumo apresentado no hidrômetro do lote. As leituras foram realizadas diariamente durante todo o mês de fevereiro de 2022. Também foram registradas as atividades que fizeram uso de água durante o mês, com o objetivo de quantificar a parcela de uso que pode ser substituída pela água da chuva.

Como se trata de um mês ainda pertencente à estação de verão, o uso de água tende a ser maior, de modo que estes dados geraram uma série que representa o

cenário mais drástico de consumo. Neste contexto, o perfil de consumo da residência escolhida foi tomado como padrão para as residências da bacia.

Figura 4 – Localização do lote estudado



Fonte: Autor (2022)

4.3 Dimensionamento do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

O SAAP deste trabalho é baseado no estudado por Santos (2021) composto por: uma parcela de telhado, uma calha, dois vertedores, reservatório de descarte para as primeiras águas, reservatório principal, torneira para demanda e extravasor para o reservatório principal.

O método da simulação com dados diários descrito na NBR 15.527/2007 considera a aplicação da equação da continuidade para um reservatório finito:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (1)$$

$$Q_{(t)} = C * P_{(t)} * A \quad (2)$$

Sendo que: $0 \leq S_{(t)} \leq V$

nas quais: $S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ; $S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $t - 1$; $Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t ; $D_{(t)}$ é o consumo ou demanda no tempo t ; V é o volume do reservatório fixado; C é o coeficiente de escoamento superficial; $P_{(t)}$ é a precipitação no tempo t e A é a área de captação.

O dimensionamento deste sistema considerou os dados pluviométricos descritos no item anterior para o ano de 2014 e as duas equações acima. Também foi considerado que:

- O volume do reservatório principal foi fixado em 200 L;
- O consumo diário foi definido como 9,98 L/dia;
- O volume do reservatório de descarte correspondeu a 1mm de chuva, ou seja, esse varia a depender da área do telhado;
- A área de coleta foi definida de modo que o atendimento a demanda fosse próximo a 90%.

Após isso foi calculado o volume máximo específico para esta área de coleta que corresponde a razão entre o volume do reservatório principal e a área de coleta. Este valor para o lote de referência foi igual a 10 L/m² e serviu de referência para escolha das áreas de coleta dos demais lotes. E estas foram calibradas de modo a garantir os mesmos 90% de atendimento a demanda.

4.4 Cenários de Simulação e Séries Contínuas

De modo a entender os efeitos da implementação do SAAP na redução de escoamento superficial, simularam-se dois cenários: o primeiro representa a bacia no estado atual, sem intervenções, e o segundo representa a parcela de escoamento advinda dos lotes com este sistema.

Os dados que compõem a série contínua de precipitação foram discretizados por Santos (2021) em sua dissertação. A autora construiu uma série de sete anos, compreendendo os anos de 2014 a 2020, com intervalos de discretização de 1 minuto entre os dados.

A construção da série de demanda foi baseada nos usos de água da residência monitorada que podem ser substituídos pela água da chuva, sendo este a lavagem do piso da área de serviço que possui uma área de 6,65 m² (não foram observados outros usos no lote). Como consumo de água desse uso foi considerado o valor de

1,5 L/m² (MELO E AZEVEDO NETTO, 1988) totalizando um volume de 9,98L/dia com uma frequência de lavagem diária. Ademais, com base no monitoramento foi definido que esse uso se dá sempre entre as 09h00min e 09h15min.

4.5 Simulação dos Cenários

A simulação dos cenários foi realizada no software SWMM em sua versão 5.1, recomendada para simulação de eventos chuvosos ou simulação contínua a longo prazo. Para isso, os parâmetros inseridos no modelo para cada bacia seguem o padrão apresentado na tabela abaixo e o período de simulação foi de sete anos (2014 a 2020).

Tabela 1 – Parâmetros para simulação de escoamento

Parâmetro	Unidade
Área da bacia	ha
Largura característica (Wc)	m
Declividade	%
Coeficiente de rugosidade de Manning (superfícies impermeáveis) (η_{imp})	--
Coeficiente de rugosidade de Manning (superfícies permeáveis) (η_{perm})	--
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies impermeáveis) (P_{aimp})	mm
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies permeáveis) (P_{Aperm})	mm
Áreas Impermeáveis (AI)	%
Áreas Impermeáveis sem armazenamento em depressões (AS/A)	%
Curva-número (CN)	--

Fonte: Adaptado de Santos (2021)

4.5.1 Simulação do cenário 1

A simulação do cenário 1 tem por objetivo entender como o escoamento ocorre na bacia sem nenhuma intervenção de reaproveitamento nos lotes. Ou seja, nesta etapa foram utilizados os parâmetros de escoamento superficial da bacia (Tabela 2), descritos nas subseções abaixo.

Tabela 2 - Resumo dos parâmetros de escoamento da bacia

Parâmetro	Valor	Unidade
Área da bacia	4,43	ha
Largura característica (Wc)	100,19	m
Declividade	8,06	%
Coeficiente de rugosidade de Manning (superfícies impermeáveis) (η_{imp})	0,053	--
Coeficiente de rugosidade de Manning (superfícies permeáveis) (η_{perm})	0,355	--
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies impermeáveis) (P_{aimp})	1,9	mm
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies permeáveis) (P_{Aperm})	6,64	mm
Áreas Impermeáveis (AI)	86	%
Áreas Impermeáveis sem armazenamento em depressões (AS/A)	25	%

Fonte: Autor (2022)

4.5.1.1 Características físicas da bacia

A área da bacia foi obtida da delimitação realizada na primeira etapa desta metodologia; a declividade foi calculada no software de código aberto GRASS, por meio de sua integração com o software de código aberto QGIS; a largura foi obtida por meio da razão entre área e comprimento máximo de escoamento da bacia (ROSSMAN,2015).

4.5.1.2 Percentual de área impermeável

O percentual de área impermeável foi calculado com base na classificação de uso e cobertura do solo da bacia. Para classificação, foram utilizadas imagens do ano de 2016, geradas pelo satélite *Quick Bird* com resolução de 0,6m. Estas imagens foram disponibilizadas pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente (SEDET) para o projeto PIBIC “*Estudo de variáveis Explicativas de Fração de Área Impermeável*” (NETO, 2021).

A imagem foi processada de maneira semiautomática por meio do plugin de código aberto para QGIS, Dzetsaka. Para tanto, foram criados arquivos base com polígonos delimitadores para as classes de solo, que foram utilizados pelo *plugin* para classificar a imagem como um todo. O conjunto de classes utilizado nesta etapa está descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Tipologias de uso e cobertura de solo associadas às classes de permeabilidade

Classe de Impermeabilidade	Tipologia de Uso e Cobertura do Solo
Área Permeável Total	Áreas Verdes
	Pastagens
	Terrenos Baldios
	Estradas de Terra
Área Impermeável Total	Telhados
	Estacionamentos
	Estradas de Paralelepípedo
	Estradas de Asfalto
Outros	Nuvens
	Água

Fonte: Adaptado de Barros (2015)

4.5.1.3 Coeficientes de rugosidade e capacidades de armazenamento

O coeficiente de rugosidade de Manning é a medida que indica a resistência ao escoamento das áreas impermeáveis (η_{imp}) e permeáveis (η_{perm}). Já as capacidades de armazenamento correspondem à altura da lâmina de água armazenada no solo em áreas permeáveis (PA_{perm}) e em áreas impermeáveis (PA_{imp}).

Nestes parâmetros, foram utilizados os valores estimados por Lima (2011), apresentados na Tabela 4. Com exceção das áreas impermeáveis sem armazenamento em depressões (AS/A) de valor igual a 25% obtida do manual de aplicações do SWMM (GIRONAS, 2009).

Tabela 4 – Valores de coeficiente de rugosidade e capacidade de armazenamento

Parâmetro	Valor	Unidade
Coeficiente de rugosidade de Manning (superfícies impermeáveis) (η_{imp})	0,053	--
Coeficiente de rugosidade de Manning (superfícies permeáveis) (η_{perm})	0,355	--
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies impermeáveis) (PA_{imp})	1,9	mm
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies permeáveis) (PA_{perm})	6,64	mm

Fonte: Adaptado de Lima (2011) e Gironas (2009)

4.5.1.4 Estimativa da curva-número

O método SCS permite estimar o volume escoado e a vazão de pico gerada dado um evento de chuva numa determinada bacia. Para utilização deste método, fez-se necessário estimar o CN, levando-se em consideração o uso e cobertura de solo da bacia, sua condição de umidade e grupo hidrológico.

O uso e cobertura do solo da bacia de estudo foi obtido da classificação descrita no item 4.4.1.2. A condição de umidade foi considerada como média (AMC II), com valores próximos aos da capacidade de campo do solo e com isso os valores de CN são iguais aos valores tabelados.

Para determinação do grupo hidrológico dos solos da bacia foram considerados o tipo de solo obtido no mapeamento realizado no levantamento detalhado de Maceió (EMBRAPA, 2005) e o tipo de uso e cobertura do solo (ver seção 4.4.1.2). Com os grupos de solo obtidos foi possível calcular o valor de CN médio da bacia pela Equação 3. Na qual CNi é o CN para cada grupo hidrológico da bacia, Ai é a área correspondente a cada um destes grupos e A é a área total da bacia.

$$CN = \frac{\sum CNi \cdot Ai}{A} \quad (3)$$

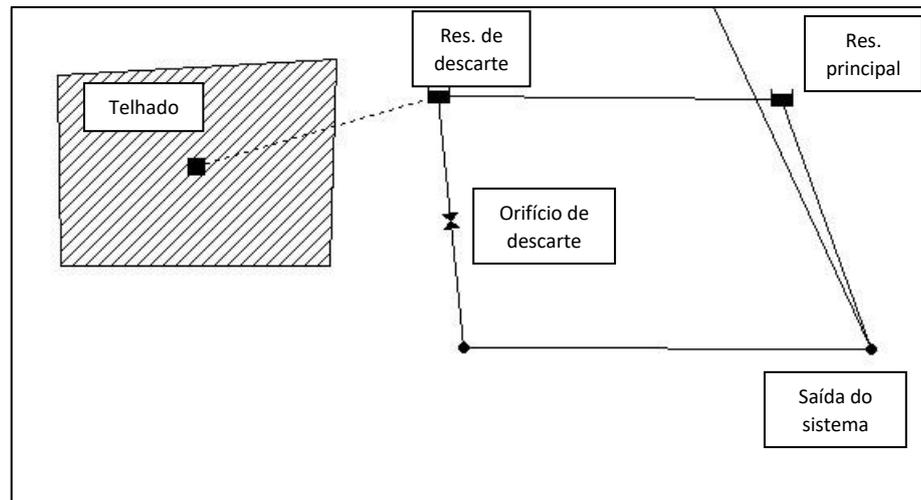
4.5.2 Simulação do cenário 2

A simulação do cenário 2 tem por objetivo entender como os lotes com SAAP contribuem para o escoamento superficial da bacia. Esta simulação seguiu os passos metodológicos descritos por Santos (2021).

4.5.2.1 Parâmetros do cenário 2

Neste cenário foram simulados 38 lotes que apresentaram características construtivas similares as do lote de referência e para cada um destes lotes foram simulados sistemas com configurações idênticas a apresentada na Figura 5 - Esquema do SAAP inserido nos lotes Figura 5 e descritas no tópico 4.3 deste trabalho.

Figura 5 - Esquema do SAAP inserido nos lotes



Fonte: Autor (2022)

Para cada um dos lotes foram inseridas as informações referentes as características dos telhados. Estando as informações comuns aos 38 lotes mais o lote de referência apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Resumo dos parâmetros de escoamento dos telhados

Parâmetro	Valor	Unidade
Largura característica (W_c)	3	m
Declividade	0,197	%
Coefficiente de rugosidade de Manning (superfícies impermeáveis) (η_{imp})	0,015	--
Coefficiente de rugosidade de Manning (superfícies permeáveis) (η_{perm})	0,1	--
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies impermeáveis) (P_{aimp})	1,0	mm
Capacidade de armazenamento em depressões (superfícies permeáveis) (P_{Aperm})	2,54	mm
Áreas Impermeáveis (A_I)	90	%
Áreas Impermeáveis sem armazenamento em depressões (AS/A)	0	%

Fonte: Autor (2022)

Os parâmetros dos reservatórios de descarte e armazenamento e diâmetro do orifício de descarte, aqui utilizados, foram obtidos por Santos (2021). Os dados foram calibrados pela autora para os períodos de julho a outubro de 2018 (calibração) e de novembro de 2018 a março de 2019 (validação).

Por fim, a série de consumo (ver seções 4.2 e 4.4) foi inserida no reservatório de armazenamento como uma afluência negativa.

4.5.2.2 Transporte das vazões dos lotes para o exutório da bacia

Para análise do efeito dos reservatórios na redução do escoamento superficial da bacia é preciso transportar as vazões para o exutório da bacia. Para isso, fez-se o uso de simplificações, e assumiu-se que os hidrogramas de saída de cada sistema são transportados por meio de condutos fictícios retangulares que se encontram em um ponto comum e seguem ao exutório por um segundo conduto (Tabela 6).

Tabela 6 - Parâmetros dos condutos de transporte de vazão

	Conduto fictício 1	Conduto fictício 2
Altura máxima (m)	2	2
Comprimento (m)	10	10
Coef. De Manning	0,013	0,010

Fonte: Autor (2022)

4.6 Avaliação do SAAP no Período de Simulação

Nesta etapa, analisou-se o SAAP durante os sete anos de simulação, considerando a série de demanda padrão construída na etapa 4.4.

O desempenho do sistema na retenção de volume e vazões máximas foi avaliado por meio da eficiência de retenção de volume (ER_{volume}) e eficiência de retenção de vazão de pico (ER_{Qmax}). E o atendimento à demanda foi avaliado a partir da eficiência de economia de água (EEA) e taxa de desperdício de água da chuva (O_F). Todos esses parâmetros estão apresentados nas equações abaixo:

$$ER_{volume} = \frac{V_{entrada} - V_{saída}}{V_{entrada}} * 100 \quad (4)$$

$$ER_{Qmax} = \frac{Q_{entrada} - Q_{saída}}{Q_{entrada}} * 100 \quad (5)$$

$$EEA = \frac{\sum_{t=1}^N Y_t}{\sum_{t=1}^N D_t} \quad (6)$$

$$O_F = \frac{\sum_{t=1}^N O_t}{\sum_{t=1}^N Q_t} \quad (7)$$

Nas quais: Y_t (m^3): representa a demanda suprida por água de chuva no reservatório em cada etapa t ; D_t (m^3): demanda requerida de água de chuva em cada etapa t ; O_t (m^3): volume extravasado em cada etapa t ; Q_t (m^3): entrada de água no reservatório principal em cada etapa t e N : número total de etapas da simulação

Além desses indicadores, também se utilizou a confiabilidade plena (CP), que representa a parcela de dias em que a demanda foi atendida em relação ao período total de simulação (SAMPAIO E ALVES, 2017 *apud*. SANTOS, 2021).

$$CP = \frac{N_{atend}}{N_{dr}} * 100 \quad (8)$$

Na qual: N_{atend} representa o número de intervalos em que a demanda é atendida em sua totalidade; N_{dr} : quantidade de intervalos em que há uma demanda requerida.

5 RESULTADOS

O primeiro resultado deste trabalho é a caracterização física da bacia de estudo, compreendendo a sua delimitação e classificação de uso e cobertura do solo e a medição dos dados de consumo de água da residência estudada. Estes resultados servem como diagnóstico dos padrões de ocupação de uma bacia localizada em região de baixa renda e dos padrões de uso de água desta população. Os demais resultados são a série de demanda padrão discretizada em 1 min entre os anos de 2014 e 2020, os parâmetros dos SAAP para cada um dos lotes simulados e as eficiências de retenção de volume e vazões nos lotes e na bacia.

5.1 Caracterização física da bacia

A bacia escolhida para este trabalho é uma das sub-bacia do Riacho Pau D'Arco, afluente do Riacho Reginaldo e sua delimitação encontra-se apresentada na Figura 2. Por meio desta delimitação foi possível determinar, assim como descrito na metodologia, os parâmetros apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Medidas físicas da bacia

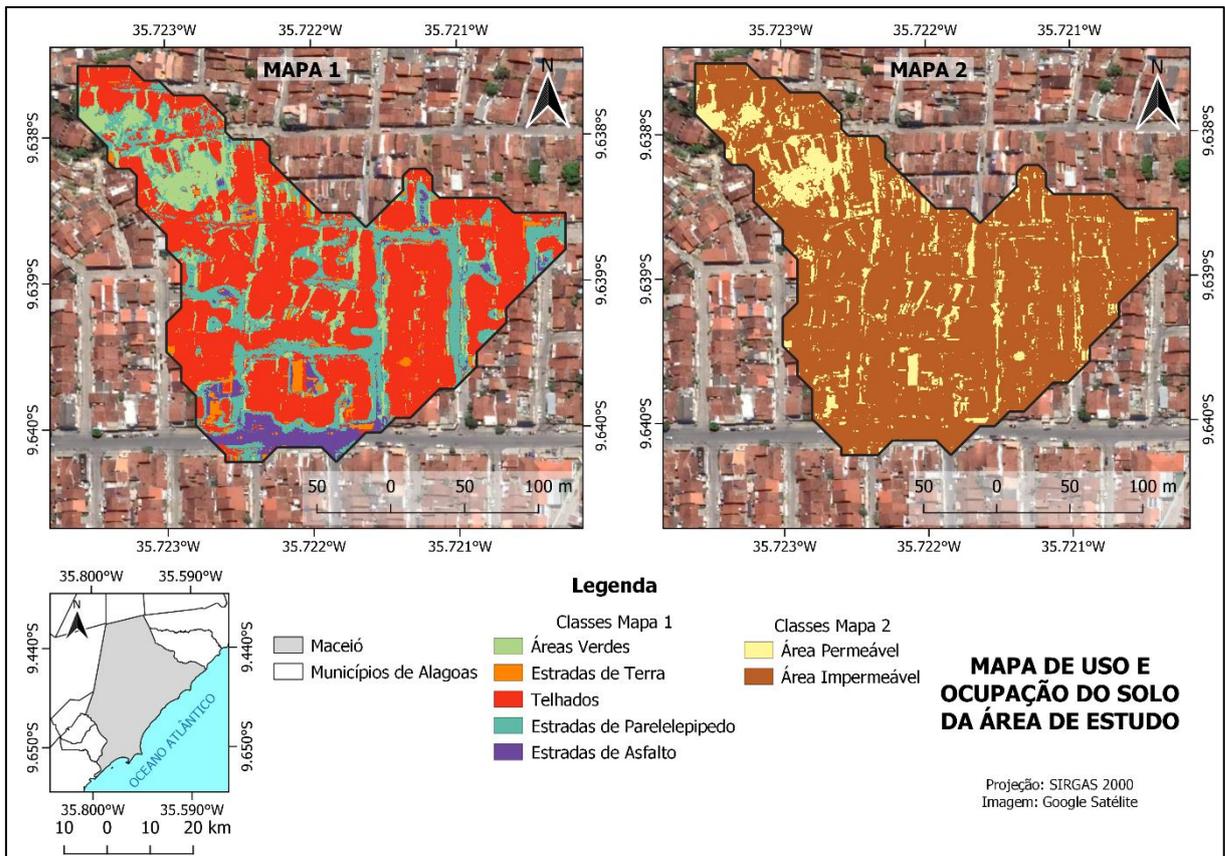
Área	m ²	44.323
Comprimento axial	m	442,10
Largura	m	100,19
Declividade	%	8,06

Fonte: Autor (2022)

5.1.1 Classificação de uso e cobertura do solo

A classificação de uso e cobertura da bacia gerada como descrito no item 4.5.1.2, que segue apresentada na Figura 6, e foram gerados dois produtos dessa classificação: o mapa de uso e cobertura de solo com os detalhamentos de classe e o mapa simplificado indicando apenas a divisão entre área permeável e impermeável.

Figura 6 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia de Estudo



Fonte: Autor (2022)

Tabela 8 – Áreas das Classes de uso e Ocupação do Solo

Nº	Classes	Área (m ²)
4	Estradas de Terra	1.401
8	Estradas de Asfalto	2.184
1	Áreas Verdes	4.898
7	Estradas de Paralelepípedo	9.334
5	Telhados	26.506

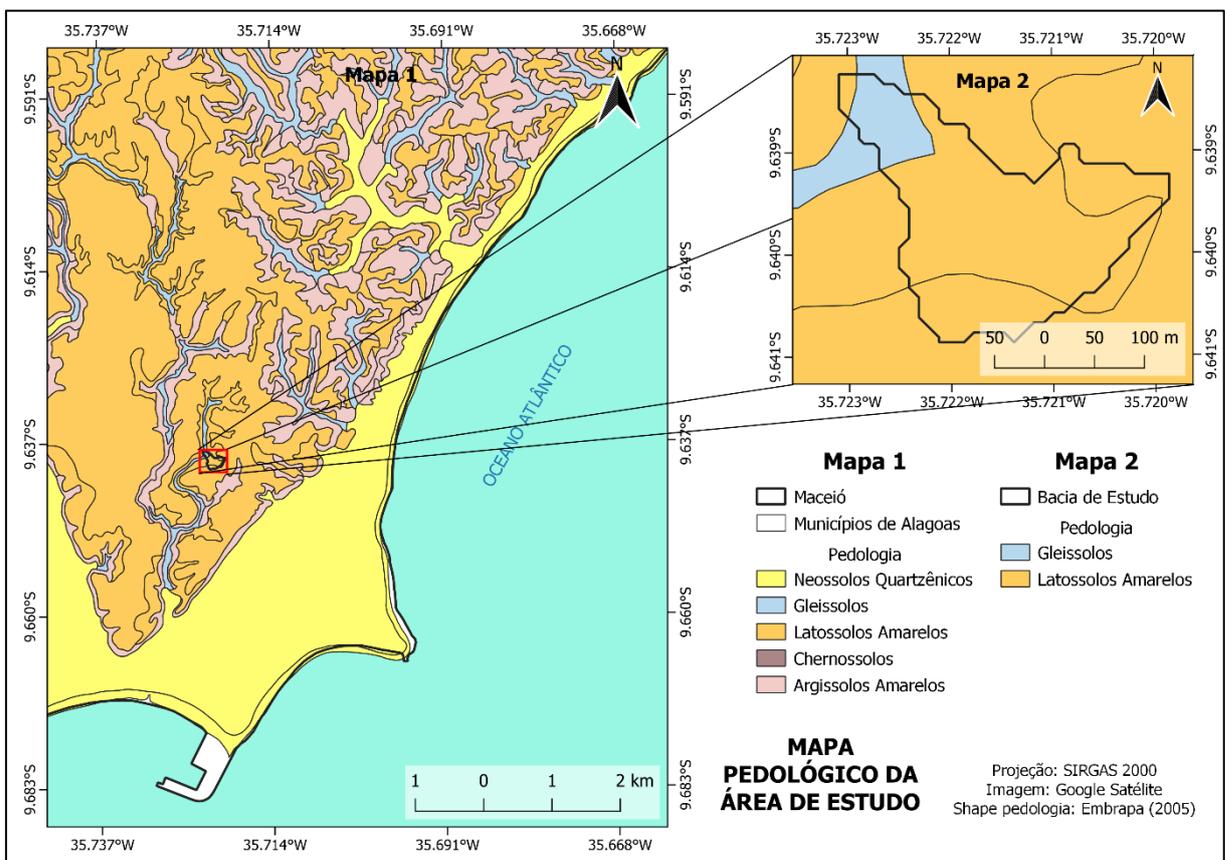
Fonte: Autor (2022)

É possível observar no Mapa 1 da Figura 6 que o uso do solo é composto principalmente por área impermeável: telhados, estradas de paralelepípedo e estradas de asfalto. Essas classes (Tabela 8) totalizam 86% da área total da bacia, dos quais 60% são compostos de telhados, 21% de estradas de paralelepípedo e 5% de estradas de asfalto. Quanto a área permeável: as áreas verdes representam 11% da área total da bacia e estradas de terra representam apenas 3%.

5.1.2 Determinação da curva-número da bacia

Por meio de análise do mapa pedológico (Figura 7) obtido da classificação da Embrapa (2005) foi possível observar que a bacia está inserida numa região de Latossolo Amarelo que é classificado como um solo do tipo hidrológico C e de Gleissolo pertencente ao grupo hidrológico D. Na Tabela 9 estão apresentados os valores de CN utilizados para cada uso e cobertura de solo e seus respectivos grupos hidrológicos.

Figura 7 - Mapa pedológico da bacia de estudo



Fonte: Autor (2022)

Tabela 9 – Valores de CN adotados neste trabalho

Uso e cobertura do solo	Grupo Hidrológico do Solo	
	C	D
Estradas de Terra	87	89
Estradas de Asfalto	98	98
Áreas Verdes	86	89
Estradas de Paralelepípedo	89	91
Telhados	90	92

Fonte: Adaptado de USAD (1986)

Com base nos dados acima e fazendo uso da Equação 3, foi possível determinar o CN médio para a bacia de estudo com valor de 90.

5.2 Perfil de Consumo da Residência

Durante o mês de fevereiro de 2022 foram coletados os dados de consumo da residência estudada (Tabela 10) dos quais foi possível observar um consumo médio diário de 0,53 m³, com mínimo de 0,27 m³ e máximo de 0,74 m³. A série completa está apresentada na Figura 9.

Tabela 10 - Dados de consumo diário

Dia da semana	Data	Manhã			Noite			Consumo Diário (m ³)
		Hora	Algarismos		Hora	Algarismos		
			Pretos (m ³)	Vermelhos (L)		Pretos (m ³)	Vermelhos (L)	
terça-feira	01/02/2022	10:00	3002	121	22:50	3002	652	0,53
quarta-feira	02/02/2022	10:47	3002	795	22:32	3003	312	0,52
quinta-feira	03/02/2022	09:33	3003	392	20:56	3003	822	0,43
sexta-feira	04/02/2022	10:35	3004	353	22:21	3004	717	0,36
sábado	05/02/2022	09:58	3004	837	22:08	3005	521	0,68
domingo	06/02/2022	09:54	3005	714	22:29	3006	225	0,51
segunda-feira	07/02/2022	10:37	3006	391	21:47	3006	909	0,52
terça-feira	08/02/2022	10:17	3007	339	22:03	3007	802	0,46
quarta-feira	09/02/2022	09:59	3007	952	19:36	3008	507	0,55
quinta-feira	10/02/2022	10:00	3008	769	22:35	3009	353	0,58
sexta-feira	11/02/2022	10:00	3009	497	22:10	3009	957	0,46
sábado	12/02/2022	10:38	3010	54	21:23	3010	562	0,51
domingo	13/02/2022	11:36	3010	916	22:12	3011	441	0,52
segunda-feira	14/02/2022	10:43	3011	597	21:41	3012	252	0,65
terça-feira	15/02/2022	08:59	3012	592	22:00	3013	231	0,64
quarta-feira	16/02/2022	09:58	3013	362	21:54	3013	889	0,53
quinta-feira	17/02/2022	11:09	3014	182	22:11	3014	527	0,35
sexta-feira	18/02/2022	10:07	3014	582	22:29	3015	140	0,56
sábado	19/02/2022	10:16	3015	212	22:34	3015	851	0,64
domingo	20/02/2022	10:45	3016	42	22:00	3016	568	0,53
segunda-feira	21/02/2022	10:00	3016	741	22:55	3017	385	0,64
terça-feira	22/02/2022	10:01	3017	605	22:45	3018	342	0,74
quarta-feira	23/02/2022	14:13	3018	680	21:29	3018	947	0,27
quinta-feira	24/02/2022	10:00	3019	38	23:10	3019	612	0,57
sexta-feira	25/02/2022	10:00	3019	794	22:18	3020	312	0,52
sábado	26/02/2022	10:59	3020	479	22:50	3020	967	0,49
domingo	27/02/2022	10:15	3021	66	23:33	3021	604	0,54
segunda-feira	28/02/2022	10:00	3021	800	21:12	3022	327	0,53

Fonte: Autor (2022)

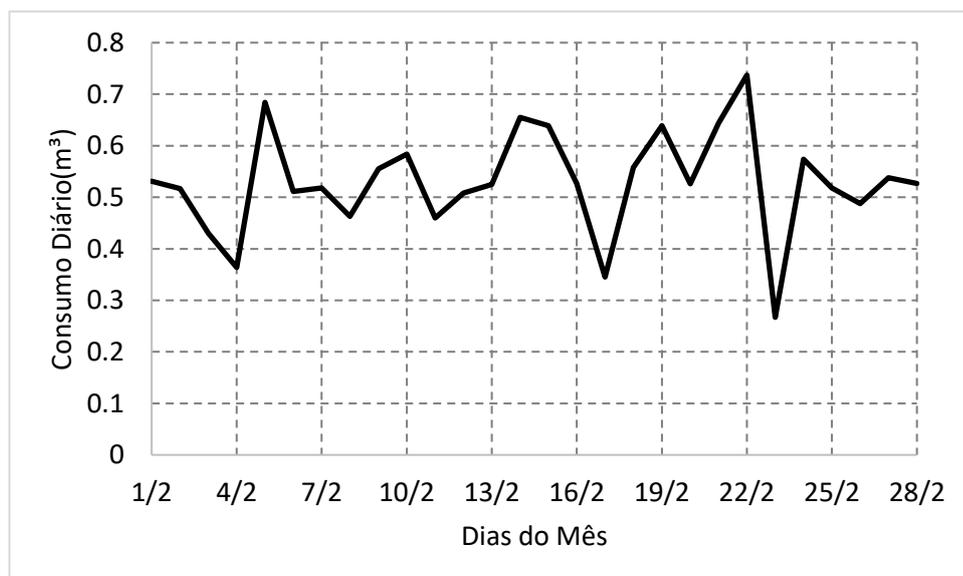
O registro do consumo foi realizado como descrito no t3pico 4.2, por meio da leitura do hidr3metro do lote (Figura 8) duas vezes ao dia (10h00min e 22h00min, aproximadamente).

Figura 8 – Registro do hidr3metro no dia 12/02/2022



Fonte: Autor (2022)

Figura 9 - S3rie de consumo monitorada



Fonte: Autor (2022)

5.3 Série de Demanda Padrão

Com base no monitoramento apresentado no ponto acima e na metodologia do ponto 4.4 foi montada a série de demanda exemplificada na Figura 10 com abrangência de 7 anos (2014 a 2020). Esta série replica uma afluência negativa ao reservatório principal com valor igual a 0,01108 L/s entre as 09h00min e 09h15min da manhã.

Figura 10 - Exemplo de série de demanda

```

;série 2014 consumo
03/30/2014 08:55 0
08:56 0
08:57 0
08:58 0
08:59 0
09:00 -0.01108
09:01 -0.01108
09:02 -0.01108
09:03 -0.01108
09:04 -0.01108
09:05 -0.01108
09:06 -0.01108
09:07 -0.01108
09:08 -0.01108
09:09 -0.01108
09:10 -0.01108
09:11 -0.01108
09:12 -0.01108
09:13 -0.01108
09:14 -0.01108
09:15 -0.01108
09:16 0
09:17 0
09:18 0

```

Fonte: Autor (2022)

5.4 Dimensionamento dos SAAP e escolha dos lotes

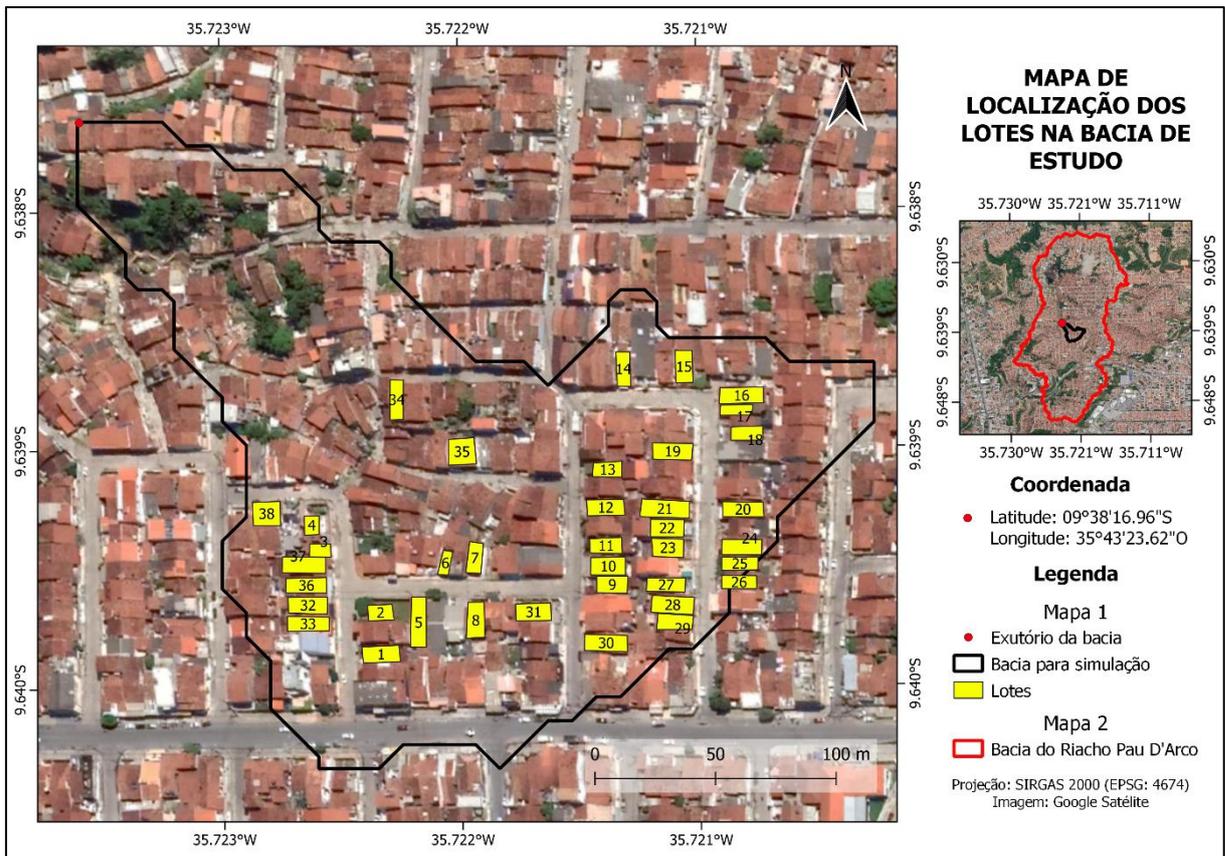
Os SAAP tiveram suas variáveis de dimensionamento fixadas de modo que a única variável relacionada aos lotes foi a área de coleta dos telhados (Tabela 11). Para essas áreas a simulação com dados diários retornou uma porcentagem de atendimento médio de 91% e um volume máximo específico médio de 12 L/m². A distribuição dos lotes escolhidos na bacia de estudo está apresentada na Figura 11.

Tabela 11 – Áreas dos telhados e de coleta dos SAAP

Lote	Área Total do Telhado (m²)	Área de Coleta (m²)	Lote	Área Total do Telhado (m²)	Área de Coleta (m²)
Lote referência	83,5	15,0	20	103,9	18,7
1	104,1	18,7	21	144,3	25,9
2	66,9	12,0	22	100,9	18,1
3	47,8	11,9	23	97,6	17,5
4	46,1	11,5	24	108,9	19,6
5	131,1	23,6	25	77,7	14,0
6	41,9	10,5	26	89,8	16,1
7	76,3	13,7	27	89,4	16,1
8	106,5	19,1	28	124,5	22,3
9	89,2	16,0	29	92,3	16,6
10	107,7	19,3	30	121,1	21,7
11	84,9	15,2	31	100,0	18,0
12	102,1	18,3	32	109,8	19,7
13	73,5	13,2	33	104,0	18,7
14	69,9	12,5	34	94,1	16,9
15	80,3	14,4	35	120,2	21,6
16	125,5	22,5	36	104,5	18,8
17	57,8	10,4	37	101,2	18,2
18	72,6	13,0	38	113,0	20,3
19	112,3	20,2			

Fonte: Autor (2022)

Figura 11 – Distribuição dos lotes na bacia de estudo



Fonte: Autor (2022)

Os lotes escolhidos apresentam algumas características similares ao lote de referência: residências com 1 piso, pouca ou nenhuma área descoberta e pouca ou nenhuma área permeável. Na Figura 12 estão apresentadas as fachadas de alguns destes lotes.

Figura 12 – Exemplos de lotes escolhidos



Fonte: Google Earth (2022)

5.5 Desempenho do SAAP no Atendimento a Demanda e Redução de escoamento e Vazões de Pico de um Lote

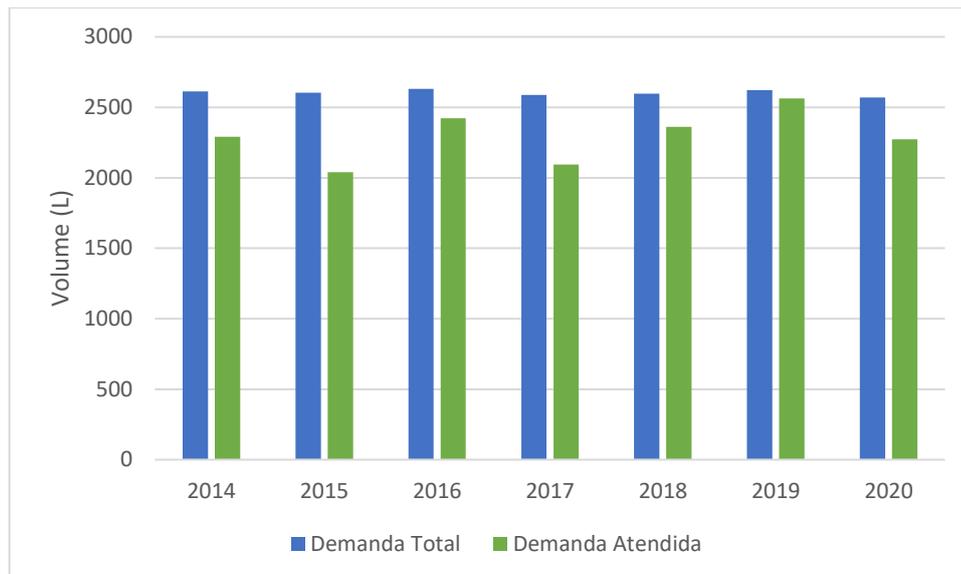
O desempenho do SAAP foi avaliado durante todo o período de simulação (2014 a 2020), com base no atendimento a demanda de consumo do lote padrão e na redução de escoamento superficial e vazões de pico do lote, e fazendo uso dos índices apresentados em 4.6.

Na Figura 13 verifica-se que o sistema não foi capaz de suprir a demanda da residência em sua totalidade. No entanto, conseguiu atingir valores próximos dos 90%. Com o máximo de atendimento no ano de 2019 com 98% e mínimo em 2015 com 78%. Ademais, a confiabilidade plena do sistema apresentou valores muito próximos de 100%, com mínimo de 99,76% e máximo de 99,98%. Estes valores de confiabilidade plena mostram que o sistema é confiável para o cenário analisado.

Acrescenta-se também, que os usos supridos pelo sistema representam, em média, apenas 1,2% do consumo total de água encanada da residência.

Ou seja, apesar de o uso da água da chuva ser um fator importante na redução do uso de água encanada para os fins não potáveis da residência. Este, sozinho, não é determinante para economia de água e redução da fatura da concessionária.

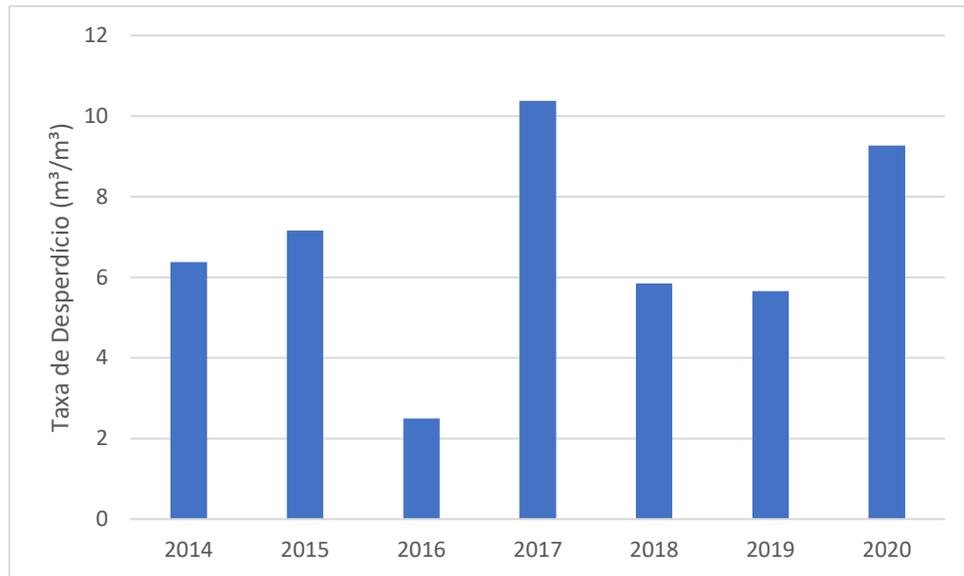
Figura 13 – Demanda total e demanda atendida



Fonte: Autor (2022)

A taxa de desperdício de água da chuva é o parâmetro que indica a relação entre a quantidade de água da chuva coletada pela calha instalada no telhado e a quantidade que realmente adentra o reservatório principal pra uso. E para o sistema estudado obteve-se valores acima de 2,5 com um valor máximo de 10,38 para o ano de 2019. Com isso, é possível inferir um subdimensionamento do volume do reservatório dado que em média o volume captado excede em 5 vezes o volume que é armazenado para uso. Ademais, os usos estabelecidos neste trabalho não fazem um uso significativo do volume do reservatório, impossibilitando em muitos momentos a recarga deste durante as chuvas.

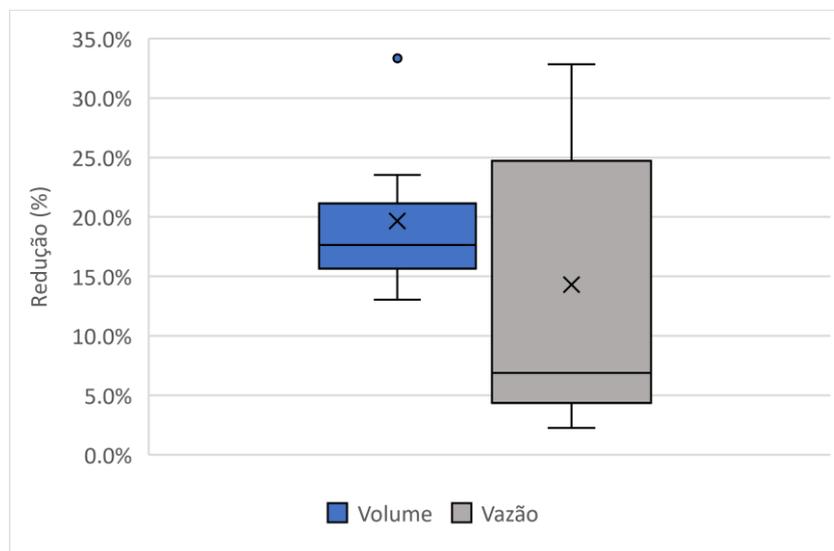
Figura 14 – Taxa de desperdício de água do sistema



Fonte: Autor (2022)

Com relação a retenção do escoamento, na Figura 15 estão apresentados os *boxplots* das eficiências de retenção de volume (ER_{Volume}) e retenção das vazões máximas ($ER_{Qmáx}$).

Figura 15 – Retenção de volume e pico de vazão



Fonte: Autor (2022)

É possível observar que a retenção de volume apresentou valores bem distribuídos ao redor da mediana de valor igual a 17,6%, com máximo de 23,5% e mínimo de 13,0%. Apresentando um outlier com valor de 33,3% para o ano de 2016.

Já a retenção de vazão apresentou valores com mediana igual a 6,9%, máximo de 32,8% e mínimo de 2,3%. A baixa redução nas vazões de pico é devido ao baixo volume de armazenamento dos reservatórios (200L) que impossibilita o armazenamento dos volumes elevados dos picos de chuva.

5.6 Desempenho dos SAAP na Redução de Escoamento e Vazões de Pico da sub-bacia

O desempenho do SAAP também foi avaliado durante todo o período de simulação (2014 a 2020), com base na redução de escoamento superficial e vazões de pico da bacia, e fazendo uso dos índices apresentados em 4.6.

O volume escoado e as vazões de pico do cenário com SAAP foram obtidos por meio da Equações 9 e da Equação 10:

$$V_{e2} = V_{e1} - V_{et} + V_s \quad (9)$$

$$Q_{p2} = Q_{p1} - Q_{pt} + Q_s \quad (10)$$

Nas quais: V_{e2} é o volume escoado no cenário com SAPP, V_{e1} é o volume escoado no cenário sem SAAP, V_{et} é o volume escoado dos telhados, V_s é o volume nas saídas dos SAAP, Q_{p2} é a vazão de pico no cenário com SAPP, Q_{p1} é vazão de pico no cenário sem SAAP, Q_{pt} é a vazão de pico dos telhados, Q_s é a vazão de pico nas saídas dos SAAP.

Os resultados destes cálculos estão apresentados na Tabela 12 e na Tabela 13 e é possível observar que as reduções de escoamento total e vazão de pico da bacia apresentaram valores abaixo de 0,60% para escoamento total e 3% para vazão de pico. Isto está relacionado principalmente a: quantidade de lotes utilizados para simulação - 38 lotes, que somados suas áreas representam 8% da bacia ou 14% das áreas residenciais e aos volumes dos reservatórios que são insuficientes para a amortização das vazões de pico dos eventos.

Tabela 12 – Redução de escoamento entre cenários

Ano	Precipitação Total (mm)	Escoamento Total sem SAAP (10^3 m ³)	Escoamento Total com SAAP (10^3 m ³)	Redução (%)	Coefficiente de Escoamento Cenário 1 (%)	Coefficiente de Escoamento Cenário 2 (%)
2014	1366,2	45,27	45,13	0,30	74,81	74,59
2015	1369,4	45,59	45,46	0,28	75,16	74,95
2016	858,8	23,45	23,31	0,58	61,65	61,29
2017	1837,6	64,19	63,99	0,31	78,86	78,62
2018	1344,3	43,31	43,17	0,32	72,74	72,50
2019	1416,2	44,60	44,48	0,27	71,10	70,91
2020	1760,2	61,28	61,15	0,20	78,60	78,44

Fonte: Autor (2022)

Tabela 13 – Redução de vazão de pico entre cenários

Ano	Precipitação Total (mm)	Vazão de Pico sem SAAP (L/s)	Vazão de Pico com SAAP (L/s)	Redução (%)
2014	1366,2	686,00	684,53	0,21
2015	1369,4	916,40	911,47	0,54
2016	858,8	428,85	423,33	1,29
2017	1837,6	426,52	415,21	2,65
2018	1344,3	477,87	472,80	1,06
2019	1416,2	736,78	724,74	1,63
2020	1760,2	612,86	607,26	0,91

Fonte: Autor (2022)

A simulação para a bacia não apresentou resultados interessantes na redução de escoamento superficial total. No entanto, buscou-se investigar a capacidade de retenção total de volume e vazão de pico de todos os SAAP aplicados na bacia (Tabela 14 e Tabela 15) por meio da Equação 4 e da Equação 5.

Tabela 14 – Retenção de escoamento total nos lotes

Ano	Escoamento total telhados (10^3 m ³)	Escoamento Total saída sistemas (10^3 m ³)	Retenção de volume (%)
2014	0,7	0,566	19
2015	0,69	0,563	18
2016	0,39	0,253	35
2017	1,01	0,813	20
2018	0,54	0,4	26
2019	0,49	0,371	24
2020	0,76	0,637	16

Fonte: Autor (2022)

Tabela 15 – Retenção de vazão de pico nos lotes

Ano	Vazão de pico telhados (L/s)	Vazão de pico saída sistemas (L/s)	Retenção de vazão de pico (%)
2014	18,31	16,84	8
2015	24,24	19,31	20
2016	19,2	13,68	29
2017	26,53	15,22	43
2018	23,28	18,21	22
2019	31,71	19,67	38
2020	24,27	18,67	23

Fonte: Autor (2022)

Com isso, observou-se uma retenção de escoamento total nos lotes média igual a 23% e uma retenção de vazão de pico nos lotes média igual a 26%. O que indica uma boa capacidade de redução de escoamento superficial deste tipo de sistema dentro dos lotes. No entanto quando se analisa, um cenário mais amplo como uma bacia, faz-se necessário uma aplicação mais extensa do sistema para o seu efetivo funcionamento.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do aproveitamento de água da chuva de telhados na redução de escoamento superficial de uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Riacho Pau D'Arco, por meio da avaliação do desempenho de SAAP nesta redução dentro de lotes e em geral para toda a bacia. Para isto foi utilizado o método de simulação contínua com utilização de dados históricos de chuva entre os anos de 2014 e 2020 e uma série de consumo construída para o mesmo período.

A primeira etapa deste trabalho consistiu na caracterização física da bacia e construção da série de demanda. A bacia, com pouco mais de 44 ha de área, possui características de uma bacia antropizada com um total de 86% de área impermeabilizada composta majoritariamente por telhados. O segundo resultado desta etapa foi a série de demanda padrão construída com base nos usos de uma residência unifamiliar localizada nas proximidades da bacia. Esta série foi tomada como padrão para a toda bacia e possui como único uso a lavagem de pisos, que foi representado nas simulações por uma afluência negativa no reservatório principal igual a 0,01108 L/s.

A simulação dos dados foi dividida em duas etapas. Na primeira, foi simulado o cenário atual da bacia considerando os dados de caracterização do uso e ocupação do solo obtidos e a série de precipitação. Na segunda etapa, foi simulada a aplicação dos SAAP na bacia e obtida a contribuição destes para o escoamento superficial. Com os resultados dessas simulações foi possível avaliar a capacidade destes sistemas em reduzir o volume total escoado e as vazões de pico para os lotes e para a bacia.

Quanto ao desempenho do SAAP no atendimento a demanda de um lote foi observado que este, diante das configurações e condições de uso utilizadas neste trabalho, foi capaz de suprir 90% da demanda de um lote em média. Apresentando um índice de CP muito próximo de 100% com máximo de 99,98% e mínimo de 99,76%. No entanto, vale destacar que os usos supridos pelo SAAP representam apenas 1,2% do consumo total da residência.

A retenção de volume dentro do lote apresentou valores com mediana igual a 17,6% e a retenção de vazão apresentou mediana igual a 6,9%. Quanto a redução de volume escoado e vazões de pico para a bacia como todo foram obtidos medianas iguais a 0,30% e 1,06%, respectivamente. Com valores menores que 0,60% e 3%, o que indica que no panorama da bacia as reduções de escoamento e vazão de pico

não foram significativas e isto está relacionado principalmente a relação entre a área ocupada pelos 38 lotes e a área total da bacia e baixa capacidade de retenção dos reservatórios.

No entanto, quando foi levado em consideração apenas os volumes escoados e vazões de pico nos telhados obteve-se reduções de 23% e 26%, respectivamente. O que indica que este tipo de sistema é capaz de reduzir o escoamento a níveis significativos. No entanto, para que isto seja refletido dentro da bacia é necessária uma aplicação mais extensiva ou uma associação com outras medidas de controle.

A primeira recomendação deste trabalho é melhor aproveitar o sistema, no sentido de destina-lo a mais usos como rega de plantas, lavagem de carros, etc. Isso porque observou-se altos valores de desperdício de água da chuva. Esta adaptação pode ser feita por meio da construção de cenários de demanda mais abrangentes com diferentes usos – como os citados acima, e que estes sejam distribuídos de maneira não contínua dentro da série simulando um comportamento mais representativo da realidade de uso.

A segunda recomendação é de aumentar a quantidade de lotes simulados dado que os simulados aqui representam apenas 8% da bacia em área. E testar até onde o aumento da quantidade de sistemas dentro de uma bacia é capaz de reduzir o escoamento superficial e as vazões de pico de uma bacia.

Por fim sugere-se testar a associação de outras técnicas de LID aos reservatórios de lote para efeitos mais significativos. Neste sentido, pode-se utilizar a infiltração dos volumes extravasados do sistema.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527: 2019** - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.
- BARROS, A. M. de. **Estudo de medidas descentralizadas para o controle do escoamento urbano: aplicação à bacia hidrográfica do Riacho do Sapo - Maceió/AL**. 2015. 136 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.
- BARROS, A. M.; NEVES, M. G. F. P.; UCHÔA, L. M. **Modelagem hidrológico-hidráulica e simulação contínua para fins de gestão do regime hidrológico de bacias urbanas**. Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Porto Alegre, out. 2020. Anais eletrônicos... Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=7181>>. Acesso em: 15 jan. 2022.
- BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o 100 inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em 20 jun. 2022.
- BRASIL. Lei n. 13.501, de 30 de outubro de 2017. Altera o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 out. 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13501.htm. Acesso em 20 jun. 2022.
- CAMPISANO, A. et al. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. **Water Research**, v. 115, p. 195–209, 2017.
- CAMPISANO, A.; MODICA, C. Appropriate resolution timescale to evaluate water saving and retention potential of rainwater harvesting for toilet flushing in single houses. **Journal of Hydroinformatics**, v. 17, n. 3, p. 331–346, 2015.
- CUSTÓDIO, D. A.; GHISI, E. Assessing the potential for potable water savings in the residential sector of a city: A case study of Joinville city. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 10, 2019.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Diagnóstico Ambiental do Município de Maceió**. Anexo I-f. Levantamento Semidetalhado de Solos. 2005.
- FLETCHER, T. D.; ANDRIEU, H.; HAMEL, P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: a state of art. **Water Resour.** 51, pp. 261-279, 2013

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D., ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; KRAJEWSKI, J. L. B.; Mikkelsen, P. S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D. & VIKLANDER, M. 2014. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage**. Urban Water Journal. Taylor & Francis. Vol. 12, No. 7. p. 525–542

GARCIA, I. J. **Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela** – Dissertação de Mestrado. Santa Maria: UFSM, 2005.

GHAFFARIANHOSEINI, ALI et al. State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 1, p. 95–104, 2016.

GIRONÁS, J.; ROESNER, L. A.; DAVIS, J. **Storm Water Management Model: Applications manual**. U.S. Environmental Protection Agency. Department of Civil and Environmental Engineering. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 2009.

LIMA, R. R. M. **Estudo de manejo de águas pluviais urbanas na cidade Natal Rio Grande do Norte**. 2011. 191 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15982>. Acesso em: 29 mai. 2022.

LIU, A.; GOONETILLEKE, A.; EGODAWATTA, P. Inadequacy of Land Use and Impervious Area Fraction for Determining Urban Stormwater Quality. **Water Resources Management**, [S.L.], v. 26, n. 8, p. 2259-2265, 13 mar. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-012-0014-4>.

MACEIÓ. **Base Cartográfica Oficial da Prefeitura Municipal de Maceió**, 1999

_____. **Código de Urbanismo e Edificações**. Prefeitura Municipal de Maceió. Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento, Maceió. 2006.

MELO, V, O.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias**. Editora Blucher, 1988.

NETO, A. A. A.; **Relação entre Indicadores Populacionais e Fração de Área Impermeável em Bacias Hidrográficas**. In: Estudo de Variáveis Explicativas da Fração de Área Impermeável. Relatório final do PIBIC: Maceió, 2021.

NETO, C. O. A. Aproveitamento Imediato da Água da Chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, Salvador, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/gesta.v1i1.7106>. Acesso em: 08 jun. 2022.

PEDROSA, H. F. dos S. **Avaliação do Impacto da Aplicação das Diretrizes do Plano Diretor de Maceió sobre o Escoamento Superficial. Estudo de Caso: Bacia do Riacho Reginaldo**. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de

Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

PERIUS *et al.* Influence of rainfall and design criteria on performance of rainwater harvesting systems placed in different Brazilian climatological conditions. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 26, e33, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120210067>. Acesso em: 24 jan. 2022.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model, User's manual Version 5.1**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2015.

SANTOS, V. C. **Avaliação de Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais de Telhado via Simulação Contínua com Dados Subdiários**. 2021. 114f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

SÃO PAULO. **Lei Municipal nº 13276** de 05 de janeiro de 2002. Câmara Municipal de São Paulo. São Paulo, 2002.

USDA - United States Department of Agriculture. **Urban hydrology for small watersheds**. Technical Release, n.55. Washington D. C, 1986.

VEIGA, G. L. **Avaliação de técnicas compensatórias integradas a ações urbanísticas em favelas verticais para controle de cheias. Estudo de caso: favela Saqueta/RJ**. 2014. 150f. Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2014.

ZHANG, Xingqi; GUO, Xinya; HU, Maochuan. Hydrological effect of typical low impact development approaches in a residential district. **Natural Hazards**. p. 389-400. set 2015.