

Análise da viabilidade do aproveitamento da água de chuva: estudo de caso para infraestruturas escolares padrão

Karmem Julya Miron Batista

Mestre em Engenharia Civil, UPE Brasil

karmemjb@gmail.com

Allan Jayson Nunes de Melo

Mestre em Engenharia Civil, UPE Brasil

allan_jayson@hotmail.com

Maria Carolina Duarte Marques Soares

Mestranda em Engenharia Civil, UPE Brasil

mcdms@poli.br

Simone Rosa da Silva

Professora Doutora, UFPE Brasil

simonerosa@poli.br

RESUMO

Com o crescimento da demanda hídrica em todo o mundo, as cidades passam cada vez por maiores dificuldades para garantir o abastecimento público de água potável. Sendo assim, a busca por alternativas que substituam as fontes disponíveis é uma realidade que precisa ser disseminada. Uma alternativa para reduzir a demanda de água potável é a utilização do sistema de aproveitamento de água pluvial. Este trabalho analisa a viabilidade da implantação de um sistema de captação, armazenamento e distribuição de água de chuva para fins não potáveis em três projetos padrões do Fundo Nacional do Desenvolvimento da Educação em três localidades de Pernambuco: Recife, Caruaru e Petrolina. Para alcançar este objetivo, foram analisados os dados pluviométricos locais, a área de captação utilizada e a demanda de água não potável na edificação. Reunido esses dados, foram realizados cálculos de dimensionamento do reservatório de armazenamento por métodos distintos. O tempo de retorno do investimento foi considerado satisfatório para todas as tipologias localizadas em Recife e para a tipologia de 1 sala nos municípios de Caruaru e Petrolina, quando se considera o benefício trazido com a implantação do sistema em longo prazo. Excluiu-se, portanto, as tipologias de 6 e 12 salas dos municípios de Caruaru e Petrolina por apresentarem um tempo de retorno superior a 24 anos. As vantagens trazidas por esse sistema não são apenas financeiras, mas ainda ambientais, culturais e educacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de água pluvial. Dimensionamento de reservatórios. Projetos Padrões.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para suprir as necessidades dos seres vivos. Segundo Marinoski (2007), ela é um importante elemento para a produção de diferentes atividades, sendo fundamental para que haja desenvolvimento tecnológico e econômico. Entretanto, apesar do Brasil apresentar uma das maiores bacias hidrográficas do mundo, o aumento da população mundial, as mudanças climáticas, os problemas de armazenamento e distribuição, somado ao consumo crescente dos recursos hídricos, tem elevado em 1% ao ano o consumo de água nas cidades, colaborando para uma perspectiva futura de escassez da água (UNESCO, 2016).

Apesar da problemática da escassez hídrica no Brasil, falta nas ações públicas um maior aprofundamento sobre os conceitos de sustentabilidade e poucas são as ações práticas, além da inexistência de parâmetros objetivos para delinear planos concretos de redução de impacto socioambiental e aumento da eficiência dos edifícios públicos. O Poder Público, como normatizador e, principalmente, como consumidor, deve se comportar como um exemplo na aplicação de técnicas sustentáveis na construção das edificações públicas, adotando medidas mais ecoeficientes e tendo como meta uma melhor relação com o meio ambiente urbano e com a eficiência energética de seus edifícios. (VIGGIANO, 2010; SOBREIRA *et al.* 2007).

Uma das alternativas para diminuir o uso de água tratada é a utilização de um sistema de captação de águas pluviais para fins não potáveis, no qual a água é coletada, normalmente no telhado ou laje da edificação, armazenada em reservatórios ou cisternas e pode ser posteriormente utilizada em lavagem de piso e automóveis, descargas sanitárias e rega de jardim (TOMAZ, 2005; NUNES; LIMA; SILVA, 2017).

A escola se torna um ponto chave dessa discussão a partir do momento em que é uma instituição responsável pela formação dos cidadãos. Por meio de sua abrangência, pode ser o vetor do desenvolvimento de práticas cotidianas sustentáveis entre os estudantes, professores, funcionários e comunidade, em geral (SCHERER, 2003; OLIVEIRA, 2013; NUNES, 2015; SOARES, 2016).

Neste contexto, o objeto de estudo deste trabalho trata-se de projetos de escolas fornecidos pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação – FNDE em três cidades pernambucanas: Recife, Caruaru e Petrolina. Essas cidades foram escolhidas por apresentarem um maior índice populacional e representarem índices pluviométricos das diferentes regiões do estado: Região Metropolitana, Agreste e Região do São Francisco, respectivamente.

O Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) disponibiliza aos municípios, Estados e ao Distrito Federal projetos padrão para a construção de escolas do modelo Espaço Educacional Urbano e Rural. O programa dispõe de cinco modelos distintos de escolas, com uma, duas, quatro, seis e doze salas de aula (FNDE, 2018).

Para que os municípios, Estados e Distrito Federal tenham acesso à verba para a construção desses modelos de escolas eles precisam possuir incluído em seu Plano de Ações Articuladas (PAR) a necessidade de construção desse projeto. O PAR é o planejamento multidimensional da política de educação que os municípios, Estados e o Distrito Federal devem fazer para um período de quatro anos (FNDE, 2018).

Foram estudados três projetos de infraestrutura física escolar do Fundo Nacional de Educação (FNDE), integrante do Plano de Ações Articuladas (PAR), que consiste em uma estratégia de assistência técnica e financeira iniciada pelo Plano de Metas Compromisso Todos pela Educação, instituído pelo Decreto nº 6.094, de 24 de abril de 2007. As estruturas selecionadas são os projetos de espaço educativo para 1, 6 e 12 salas de aula, que possuem a capacidade de atender até 60, 360 e 780 alunos respectivamente, onde a primeira atende áreas rurais e as demais, áreas rurais e urbanas. Essas estruturas foram escolhidas por representarem escolas de pequeno, médio e grande porte.

Sendo assim, neste trabalho será analisada a viabilidade técnico-econômica do uso de um sistema de aproveitamento de água pluvial nesses projetos, sendo a água captada utilizada para fins não potáveis.

As melhores opções de demanda não potável identificadas para o uso da água pluvial captada foram a de lavagem de piso e para a rega do jardim. Apesar de existir a possibilidade de utilizar esta água para descarga nas caixas acopladas dos vasos sanitários do prédio, trata-se de uma opção que apresenta custos relativamente altos para implementação, dada a necessidade de obras e adequações nas instalações hidráulicas/hidrossanitárias nas escolas.

2 METODOLOGIA

Geralmente, o reservatório de acumulação é o componente mais oneroso do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, por isso seu dimensionamento requer certo cuidado para não tornar a implantação do sistema inviável (MAY, 2004).

2.1 Métodos para dimensionamento de reservatórios de águas pluviais

Para estimar o volume do reservatório de água pluvial foram levantadas as seguintes informações: demanda de água não potável da escola, estimativas de consumo com jardinagem e lavagem do piso; pluviometria local, com dados históricos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC); e da área de cobertura da edificação.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) define que o dimensionamento da capacidade do reservatório de água pluvial pode ser feito com qualquer método, a critério do projetista, desde

que a escolha seja devidamente justificada. Seis métodos de cálculo são sugeridos no documento, são eles: Rippl, Simulação, Azevedo Neto, prático alemão, prático inglês e prático australiano.

Para o método de Rippl, pode-se utilizar as séries históricas mensais (mais comum) ou diárias e consiste na determinação do volume do reservatório com base na área de captação e na precipitação registrada, considerando que nem toda a água precipitada seja armazenada, e correlacionando ao consumo mensal da edificação, que pode ser constante ou variável. (AMORIM E PEREIRA, 2008).

O método de Simulação baseia-se na determinação do percentual de consumo que será atendido em função de um tamanho de reservatório previamente definido. Também é chamado de Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011). Já o método de Azevedo Neto não leva em conta a demanda de água não potável, considerando apenas o volume captado e a quantidade de meses com pouca chuva ou seca. Os métodos prático alemão, inglês e australiano são métodos empíricos citados na NBR 15527 (ABNT, 2007). As equações de cada método estão presentes na figura 1.

Figura 1 – Equações para dimensionamento de reservatórios de águas pluviais

| Método de Rippl | Método de Simulação |
|--|--|
| $S(t) = D(t) - Q(t)$ <p> $Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva (t)} \times \text{área de captação}$ $V = \sum S(t)$, para valores $S(t) > 0$ Sendo que: $\sum D(t) < \sum Q(t)$ Onde: $S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t; $Q(t)$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t; $D(t)$ é a demanda ou consumo no tempo t; V é o volume do reservatório, em metros cúbicos; C é o coeficiente de escoamento superficial. </p> | $S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t)$ <p> $Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva (t)} \times \text{área de captação}$. Sendo que: $0 \leq S(t) \leq V$. Onde: $S(t)$ 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 aproveitável 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> |
| Método de Azevedo Neto | Método prático australiano |
| $V = 0,042 \times P \times A \times T$ <p> Onde: P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm); T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca; A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²); V é o valor numérico do volume aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L). </p> | $Q = (A \times C \times (P - I)) / 1000$ <p> Onde: C = coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,8; P = precipitação média mensal (mm); I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm; A = área de coleta (m²); Q = volume mensal produzido pela chuva (m³). O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório, através da equação: </p> $V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$ <p> Onde: Q_t = volume mensal produzido pela chuva no mês t (m³); V_t = volume de água que está no tanque no fim do mês t (m³); V_{t-1} = volume de água que está no tanque no início do mês t (m³); D_t = demanda mensal (m³). Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio. Quando $(V_{t-1} + Q_t - D_t) < 0$, então o $V_t = 0$. O volume do tanque escolhido será T, em metros cúbicos (m³). Para o cálculo da confiança utiliza-se a seguinte equação: </p> $Pr = Nr / N \quad (8)$ <p> Onde: Pr = falha; Nr = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$; N = número de meses considerado, geralmente 12 meses. Confiança = $(1 - Pr)$, recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%. </p> |
| Método prático alemão | Método prático inglês |
| $V \text{ adotado} = \text{mínimo de } (V \text{ e } D) \times 0,06$ <p> Onde: V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L); D é o valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L); V adotado é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L). </p> | $V = 0,05 \times P \times A$ <p> Onde: P = precipitação média anual (mm); A = área de coleta em projeção (m²); V = volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna (L). </p> |

Fonte: Elaborado pelos autores a partir da NBR 15527 (ABNT, 2007).

2.2 Análise da viabilidade econômica da implantação do sistema

2.2.1 Estimativa do custo de implantação

Para estimar o custo de implantação do sistema de captação de águas pluviais nas três tipologias prediais escolares, foram levantados dados referentes ao tipo de reservatório a ser

instalado; condições de instalações pluviais das edificações e a mão-de-obra necessária para instalação do sistema.

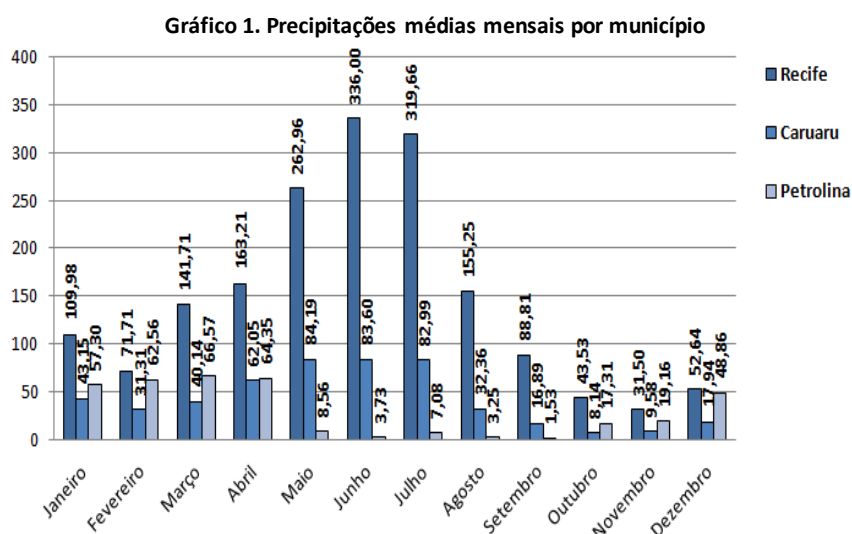
2.2.2 Retorno financeiro com a aplicação do sistema

Para analisar a viabilidade da implantação do sistema, foram calculados a média de consumo de água da edificação e avaliada a redução do consumo médio de água potável com a implantação do sistema de captação de águas pluviais. A partir da estrutura tarifária da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, foi possível analisar a economia mensal e anual com o implemento do sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Dados pluviométricos das cidades estudadas.

Neste estudo utilizou-se uma série histórica de 10 anos (2008 até 2017) com dados de precipitações mensais das cidades do Recife, Caruaru e Petrolina, obtida através do banco de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). O Gráfico 1 mostra a média histórica de precipitação mensal calculada para o período considerado.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da APAC (2018).

3.2. Definição da área de captação

O cálculo da área de captação foi realizado por meio da análise da planta baixa das tipologias prediais escolares estudadas. A partir de cálculos considerando a demanda hídrica das tipologias escolares e a média pluviométrica de cada região, concluiu-se de que só seria utilizada a cobertura completa da escola com 1 sala, por se tratar de uma área de captação pequena. Nas escolas com 6 e 12 salas de aula, o uso completo da cobertura geraria desperdício por extravasamento excessivo de água.

Para a cidade de Recife foram consideradas as tipologias de 6 e 12 salas foram adotadas como base de cálculo uma área de captação de 221,97 m² para o projeto de 6 salas, sendo o volume recolhido da cobertura do pátio e para o projeto de 12 salas, uma área de 353,96 m² com recolhimento da cobertura do refeitório e pátio conforme figura 2. Por ser a capital do Estado e possuir uma população estimada de 1.653.461 pessoas em 2020 pelo IBGE, a tipologia escolar com 1 sala destinada a área rural não foi considerada para o Recife.

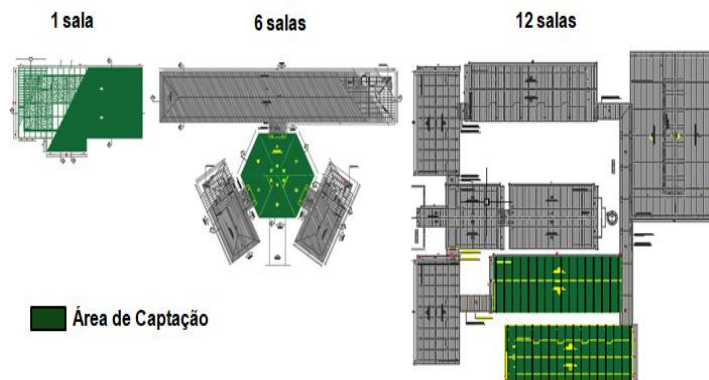
Figura 2 - Área de Captação por tipologia predial para Recife.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de FNDE (2018)

Para as cidades de Caruaru e Petrolina como há um regime pluviométrico distinto do Recife, foi adotado como base de cálculo uma área de captação de 146,15 m², área de projeção total para a escola de 1 sala, 221,97 m² para a escola de 6 salas, sendo utilizado o telhado do pátio e para o projeto de 12 salas, uma área de 950,40 m² utilizando a área do telhado dos blocos E2 e F, conforme figura 3.

Figura 3 - Área de Captação por tipologia predial para Caruaru e Petrolina.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de FNDE (2018)

3.3. Determinação da demanda hídrica não potável

As demandas para fins não potáveis consideradas foram a lavagem de piso e rega do Jardim. Apesar de apenas a tipologia de 6 salas conter em projeto uma área de 90,96 m² destinada ao jardim, todos os projetos possuem áreas disponíveis para implantação de jardins, hortas escolares, plantio de árvores e arbustos, entre outras aplicações de cunho

socioambiental, cabendo a iniciativa a gestão escolar local. Os parâmetros e frequência utilizados para fins de cálculo, conforme Tomaz (2009) foram:

- **Rega de Jardim:** Para a rega de Jardim Comum a taxa é de 2 L/m² x dia. A frequência de rega de jardim geralmente é 2 vezes/ semana;
- **Limpeza de Pátios:** A taxa de limpeza de pátios comuns usualmente é de 2 L/m² x dia e a frequência é 1 vez a cada 15 dias.

As demandas hídricas não potáveis por tipologia predial escolar estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Demanda hídrica não potável.

| Tipologia Predial Escolar | Demanda Hídrica mensal não potável (m ³) |
|---------------------------|--|
| 1 Sala de aula | 0,69 |
| 6 salas de aula | 4,62 |
| 12 salas de aula | 21,11 |

Fonte: Os autores (2018)

3.4. Dimensionamento do reservatório

Para o dimensionamento do reservatório de águas pluviais, foram levados em consideração todos os métodos descritos na norma NBR 15.527 (ABNT, 2007). Para isso, utilizaram-se os dados da área de captação, do consumo de água potável suscetível à substituição por água pluvial e os dados pluviométricos do local.

3.4.1 Resultados observados em Recife

O Quadro 1 mostra os resultados dos métodos de dimensionamento de reservatório aplicados ao município do Recife.

Quadro 1 – Volumes (m³) do reservatório por método e tipologia escolar

| Métodos | Tipologia | |
|---------------------|-----------|----------|
| | 6 salas | 12 salas |
| Rippl | 6,00 | 28,90 |
| Simulação | 5,00 | 25,00 |
| Azevedo Neto | 33,13 | 52,83 |
| Prático Alemão | 19,08 | 30,12 |
| Prático Inglês | 19,72 | 31,45 |
| Prático Australiano | 6,00 | 25,00 |

Fonte: Autores.

Na aplicação do método de Rippl, que utiliza a diferença acumulada para determinar o volume do reservatório, na tipologia construtiva de 6 salas, foi observado a ocorrência de overflow em todos os meses, gerando um resultado igual a 0 para diferença acumulada. Nesse contexto foi fixado o valor de 6 m³ para esse reservatório, a ser considerado para cálculos posteriores. Para a tipologia de 12 salas, o volume máximo obtido foi de 28,90 m³, o que regularizaria a demanda constante para 21,11 m³

Para o método de Simulação para 6 salas, foi arbitrado o volume do reservatório de 5 m³. O volume de água mensal supriria a demanda, além de gerar um overflow em todos os meses. Para o projeto de 12 salas, foi arbitrado o volume do reservatório de 25 m³, o que supriu a demanda de 21,11 m³ plenamente, exceto no mês de dezembro, onde haveria a necessidade de suprimento externo de 2,33m³.

No uso da metodologia de Azevedo Neto, foi utilizado para o parâmetro T=2, onde "T" representa o número de meses com pouca ou nenhuma precipitação, correspondente aos meses de outubro e novembro que apresentaram as menores médias mensais de 43,53mm e 31,50mm respectivamente. O reservatório obtido para a os projetos de 6 salas apresentou um volume de 33,13 m³, um valor aproximadamente 7 vezes a demanda necessária. Para o projeto de 12 salas o volume foi de 52,83 m³.

No método prático Alemão foi utilizado o valor da demanda anual para fins de cálculo, com valores de 331,28 m³ e 496,38 m³ para as tipologias de 6 e 12 salas, e o volume do reservatório encontrado foi de 18,67 m³ e 29,78 m³ respectivamente. Na aplicação direta do método Inglês, o volume encontrado foi de 19,72 m³ e 31,45 m³ para o projeto de 6 e 12 salas. O método prático Australiano foi calculado fixando o valor do reservatório e verificando sua confiabilidade. O valor fixado foi de 6 m³ e 25 m³ para os projetos de 6 e 12 salas, e como resultado a confiabilidade foi de 92 % para ambos volumes, o que atende a recomendação da NBR 15527/07 que estabelece uma garantia para este método de 90 a 99%.

3.4.2. Resultados observados em Caruaru

O Quadro 2 mostra os resultados dos métodos de dimensionamento de reservatório aplicados ao município de Caruaru.

Quadro 2 – Volumes (m³) do reservatório por método e tipologia escolar

| Métodos | Tipologia | | |
|---------------------|-----------|---------|----------|
| | 1 sala | 6 salas | 12 salas |
| Rippl | 0,00 | 10,70 | 51,70 |
| Simulação | 5,00 | 12,00 | 50,00 |
| Azevedo Neto | 2,18 | 3,31 | 14,21 |
| Prático Alemão | 0,50 | 3,33 | 15,20 |
| Prático Inglês | 0,26 | 0,39 | 1,69 |
| Prático Australiano | 10,00 | 20,00 | 20,00 |

Fonte: Autores (2018)

No quadro 2, verificou-se que com exceção dos métodos de Rippl e Simulação, os valores dos reservatórios calculados foram menores do que na cidade do Recife, isto ocorre devido aos totais pluviométricos da cidade de Caruaru serem mais baixos que na cidade do Recife, além disso, a chuva na cidade possui uma irregularidade temporal maior.

O método de Rippl considera os dados de precipitação média mensal, em milímetros, área de captação de água pluvial e a demanda de água não potável, a partir deles dimensiona o reservatório de acordo com a soma dos volumes de água (St) apenas nos meses em que tiveram valor positivo. Deste modo, o reservatório para a tipologia construtiva de 1 sala não se mostrou

como uma alternativa viável, visto que só houveram meses com valores negativos. Para a tipologia de 6 salas, considerou-se o total acumulado entre os meses de setembro a dezembro, meses com valores positivos, que corresponde a 10,7 m³. Já na tipologia de 12 salas, utiliza-se o total acumulado de fevereiro e entre os meses de agosto a dezembro, que representa 51,7 m³. Para o método da Simulação utilizou-se os mesmos parâmetros do método de Rippl, o que difere entre eles, é que no primeiro, é fixado um volume do reservatório. Sendo assim, após vários volumes de reservatórios, chegou-se a um volume reservatório de 5 m³ para a tipologia construtiva de 1 sala. Com esse volume, segundo o Método da Simulação, o reservatório abasteceria a escola, além de gerar um *overflow* entre os meses de março a dezembro no total anual de 33,41 m³, não necessitando de nenhum suprimento externo com água potável. Para a escola com 6 salas, determinou-se um volume de reservatório de 12 m³. Este volume supriria a demanda mensal e geraria um *overflow* entre os meses de fevereiro e agosto alcançando um valor total anual de 28,66 m³. Na tipologia de 12 salas, arbitrou-se o volume do reservatório de 50 m³, o que supriu a demanda não potável, gerando um *overflow* cujo volume total anual foi de 116,34 m³. Porém, apesar deste *overflow* elevado, houve a necessidade de suprimento externo de 1,55 m³ para o mês de dezembro.

Por se tratar de uma região do Agreste, considerou-se para Caruaru, 8 meses com pouca ou nenhuma chuva para aplicação do método de Azevedo Neto. Com a aplicação direta, chegou-se ao valor de 1,75 m³ de volume aproveitável e de armazenagem no reservatório para a tipologia construtiva de 1 sala. Para a escola com 6 salas de aula, o volume do reservatório foi de 2,65 m³ e para a escola de 12 salas, o volume foi de 11,34 m³.

No método prático alemão com aplicação direta, chega-se a um volume de armazenagem de 0,50 m³ para a tipologia de 1 sala; 3,33 m³ para a escola com 6 salas de aula e 15,20 m³ para o projeto de 12 salas de aula.

Com a aplicação direta do método prático inglês encontrou-se um volume de reservatório de 0,26 m³, 0,39 m³ e 1,69 m³ para a tipologia de 1 sala, 6 salas e 12 salas, respectivamente.

O método prático australiano é realizado por aplicação direta e por tentativas. Dessa maneira, adotou-se volume do reservatório de 10 m³ confiança de 92%, para a tipologia de 1 sala. O volume de armazenagem de 20 m³ confiança de 92% para o projeto de 6 salas de aula e um volume de 20 m³ confiança de 92% para a tipologia construtiva de 12 salas.

3.4.3. Resultados observados em Petrolina

O Quadro 3 mostra os resultados dos métodos de dimensionamento de reservatório aplicados ao município de Petrolina.

Quadro 3 – Volumes do reservatório por método e tipologia escolar

| Métodos | Tipologia | | |
|---------------------|-----------|---------|----------|
| | 1 sala | 6 salas | 12 salas |
| Rippl | 1,76 | 23,34 | 110,77 |
| Simulação | 10,00 | 25,00 | 50,00 |
| Azevedo Neto | 1,50 | 2,50 | 15,00 |
| Prático Alemão | 0,50 | 3,33 | 15,20 |
| Prático Inglês | 0,18 | 0,30 | 1,20 |
| Prático Australiano | 5,00 | * | * |

* nível de confiança não atingido

Fonte: Autores (2018)

No quadro 3, verificou-se que com exceção dos métodos de Rippl e Simulação, os valores dos reservatórios calculados foram menores do que na cidade do Recife. Assim como aconteceu em Caruaru, a causa desses resultados é o baixo índice pluviométrico somado à irregularidade temporal da chuva no local, em situações como essas, o ideal é utilizar métodos que super dimensionem o reservatório, para que a água coletada nos períodos de chuva possa suprir a demanda nos períodos de seca.

Aplicando o método de Rippl para escolas de 1 sala em Petrolina, observou-se que assim como em Caruaru, não é viável a utilização de um sistema de captação de águas pluviais, pois a diferença entre o volume da demanda e o volume de chuva gera valores negativos para todos os meses. Para as escolas de 6 salas, o volume do reservatório corresponde a 23,34 m³. Já na tipologia de 12 salas corresponde a 110,77 m³.

Para o método da Simulação utilizou-se os mesmos parâmetros do método de Rippl, fixando um valor de 25m³ para o reservatório da escola de 6 salas e de 50m³ para a escola de 12 salas. Com esse volume, segundo o Método da Simulação, o reservatório de 25m³ abasteceria a escola de 6 salas, além de gerar um *overflow* entre os meses de fevereiro a abril no total anual de 15,14 m³, não necessitando de nenhum suprimento externo com água potável. Para a escola com 12 salas, o reservatório de 50m³ supre a demanda mensal dos meses de dezembro a junho, necessitando de suprimento externo total de 60,77m³ para o abastecimento durante os meses de julho a novembro e gera um *overflow* de 59,67m³ entre os meses de fevereiro e março.

Para a aplicação do método de Azevedo Neto foram considerados oito meses com pouca chuva para Petrolina, pois a sua quadra chuvosa consiste nos meses de janeiro a abril. Com a aplicação direta, chegou-se ao valor de 1,22 m³ de volume aproveitável e de armazenagem no reservatório para a escola com 1 sala, para a escola de 6 salas, o volume foi de 1,87 m³ e para a escola de 12 salas, o volume calculado foi de 8 m³.

Com a aplicação direta do método prático alemão, foi obtido um volume de armazenagem de 0,5 m³ para a tipologia de 1 sala, 3,33m³ para a escola com 6 salas de aula e 15,20 m³ para o projeto de 12 salas de aula.

Com a aplicação direta do Método Prático Inglês, encontrou-se um volume de reservatório de 0,18 m³, 0,3 m³ e 1,2 m³ para a tipologia de 1 sala, 6 salas e 12 salas, respectivamente.

Para o Método Prático Australiano, realizado por aplicação direta e por tentativas, foi calculado o volume do reservatório de 5 m³ com confiança de 92%, para a tipologia de 1 sala.

Para a escola de 6 e 12 salas diversos volumes de reservatório foram testados, mas nenhum deles atingiu percentuais de confiança entre 90 e 99% exigida pelo método para esses tipos de escolas o volume do reservatório obtido por esse método não será considerado.

3.5. Estimativa do custo de implantação

O estudo de viabilidade para a implantação do sistema de captação de água de chuva nas unidades escolares foi dividido em duas etapas, a primeira foi a concepção do orçamento para execução do serviço de acordo com cada tipologia escolar e o reservatório calculado. O custo médio de implantação do sistema através de um reservatório pré-fabricado. O orçamento foi obtido através de consulta ao website de empresa de soluções ecológicas que fornece instalação desse tipo de sistemas (Ecocasa, 2018), onde está disponibilizado, que Foi tomado por base o orçamento para o reservatório de 10 m³ para o cálculo dos orçamentos de reservatórios com outras capacidades. As capacidades atendidas para esse orçamento correspondem as tipologias de 6 e 12 salas, onde para Recife a capacidade foram de 5.000 e 25.000 litros, Caruaru corresponde a 10.000 e 50.000 litros e Petrolina 25.000 e 50.000 litros respectivamente. Nas tabelas 2 foram apresentados os custos para os reservatórios.

Tabela 2– Descrição dos custos para implantação do reservatório (Valores de maio/2016)

| Capacidade do reservatório | 5000 L | | 10000 L | | 25000 L | | 50000 L | |
|---|--------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| Item | Quant. | Preço Médio | Quant. | Preço Médio | Quant. | Preço Médio | Quant. | Preço Médio |
| Kit VF1 para Aproveitamento de Água da Chuva + Realimentador | 1,00 | R\$ 2.800,00 | 1,00 | R\$ 2.800,00 | 1,00 | R\$ 2.800,00 | 1,00 | R\$ 2.800,00 |
| Cistema para água da chuva | 1,00 | R\$ 5.099,50 | 1,00 | R\$ 10.199,00 | 1,00 | R\$ 25.497,50 | 1,00 | R\$ 50.995,00 |
| Pedreiro + Ajudante (Diária) | 4,00 | R\$ 1.400,00 | 4,00 | R\$ 1.400,00 | 6,00 | R\$ 2.100,00 | 6,00 | R\$ 2.100,00 |
| Concreto FCK18 (m ³) | 0,80 | R\$ 384,00 | 1,60 | R\$ 480,00 | 4,00 | R\$ 1.920,00 | 8,00 | R\$ 3.840,00 |
| Retroescavadeira (R\$/h) | 1,50 | R\$ 180,00 | 3,00 | R\$ 360,00 | 7,50 | R\$ 900,00 | 15,00 | R\$ 1.800,00 |
| Bomba (1ª linha até 1.5cv) + Casa de Máquinas + Materiais Elétricos | 1,00 | R\$ 1.800,00 | 1,00 | R\$ 1.800,00 | 1,00 | R\$ 1.800,00 | 1,00 | R\$ 1.800,00 |
| Encanador (R\$/h) | 3,00 | R\$ 121,00 | 6,00 | R\$ 243,00 | 15,00 | R\$ 607,50 | 30,00 | R\$ 1.215,00 |
| Eletricista (R\$/h) | 3,00 | R\$ 121,00 | 6,00 | R\$ 243,00 | 15,00 | R\$ 607,50 | 30,00 | R\$ 1.215,00 |
| Total | | R\$ 11.905,50 | | R\$ 17.525,00 | | R\$ 36.232,50 | | R\$ 65.765,00 |

Fonte: Elaborado a partir de orçamento da Ecocasa (2018)

Para a tipologia de 1 sala nas cidades de Caruaru e Petrolina foi fixado a utilização de caixa d'água em fibra de vidro com a capacidade de 2.000 litros, sendo o custo da implantação obtido pelo Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe e o resumo descrito na tabela 3 abaixo.

Tabela 3– Descrição dos custos de Caixa d'água

| Referência | Material | Mão-de-Obra | Enc. Social | Terceiros | Valor Total |
|------------|--------------|-------------|-------------|-----------|--------------|
| 01429/ORSE | R\$ 1,060.19 | R\$ 43.88 | R\$ 50.15 | R\$ 3.40 | R\$ 1,157.62 |

Fonte: Elaborado a partir de orçamento da Ecocasa (2018)

Como segunda etapa do estudo de viabilidade foi realizado o cálculo de Payback do investimento. Segundo Tomaz (2009), o Payback consiste em um método muito simples de análise econômica do capital investido em uma obra e deve ser considerado somente em um pré-estudo para aceitar ou rejeitar determinado projeto. O objetivo é medir o tempo em que o investimento inicial será reposto.

Para calcular o custo anual que a demanda não potável assumiria caso fosse utilizar uma água tratada fornecida pela concessionária local, foram utilizados os valores de 2018 da COMPESA, concessionária de abastecimento no estado de Pernambuco. Os valores correspondentes a cada projeto estão expressos na tabela 4.

Tabela 4– Custo anual correspondente a demanda

| Tipologia | Demanda Mensal | Custo Mensal | Custo Anual |
|-----------|----------------|--------------|--------------|
| 1 sala | 0,69 | R\$ 58,72 | R\$ 704,64 |
| 6 salas | 4,62 | R\$ 58,72 | R\$ 704,64 |
| 12 salas | 21,11 | R\$ 165,64 | R\$ 1.987,68 |

Fonte: Autores.

O tempo de retorno do investimento foi apresentado de forma simples através da divisão do valor para implantação do sistema pelo custo anual que a demanda atenderia, onde o resultado do tempo de retorno aproximado expresso em anos, foi apresentado na tabela 5.

Tabela 5 - Tempo de retorno do investimento

| Local | Tipologia | Custo da demanda anual | Custo do investimento | Tempo de retorno do investimento |
|-----------|-----------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Recife | 6 salas | R\$ 704,64 | R\$ 11.905,5 | 16 anos e 9 meses |
| | 12 salas | R\$ 1.987,68 | R\$ 36.232,5 | 18 anos e 2 meses |
| Caruaru | 1 sala | R\$ 704,64 | R\$ 1,157.62 | 1 ano e 6 meses |
| | 6 salas | R\$ 704,64 | R\$ 17.525,0 | 24 anos e 8 meses |
| | 12 salas | R\$ 1.987,68 | R\$ 65.765,0 | 34 anos |
| Petrolina | 1 sala | R\$ 704,64 | R\$ 1,157.62 | 1 ano e 6 meses |
| | 6 salas | R\$ 704,64 | R\$ 36.232,5 | 51 anos e 4 meses |
| | 12 salas | R\$ 1.987,68 | R\$ 65.765,0 | 34 anos |

Fonte: Autores.

4 CONCLUSÃO

A busca por alternativas de abastecimento de água para fins não potáveis, especificamente a captação de águas pluviais, é uma estratégia que visa reduzir o consumo de água potável na sociedade, principalmente em um momento que requer atenção de todos com a finalidade de utilizar os poucos recursos hídricos disponíveis com responsabilidade. Através

deste trabalho, foi possível estimar o impacto da implantação desse sistema em três projetos escolares padrão do FNDE em três municípios de Pernambuco: Recife, Caruaru e Petrolina.

Na cidade do Recife, para as tipologias de 6 salas e 12 salas, o volume do reservatório com 5 m³ e 25 m³, respectivamente, seria suficiente para atender a demanda hídrica específica das escolas, pois nos métodos que consideraram a demanda, encontrou-se valores aproximados. Para Caruaru, nas tipologias de 1, 6 e 12 salas, o volume do reservatório com 2 m³, 10 m³ e 50 m³, respectivamente, supriria a demanda hídrica das escolas. E para Petrolina, nas tipologias de 1, 6 e 12 salas, o volume do reservatório com 2 m³, 25 m³ e 50 m³, respectivamente, seria suficiente.

O tempo de retorno do investimento é considerado satisfatório para as duas tipologias localizadas em Recife e para a tipologia de 1 sala nos municípios de Caruaru e Petrolina, quando se considera o benefício trazido com a implantação do sistema a longo prazo. Excluiu-se, portanto, as tipologias de 6 e 12 salas dos municípios de Caruaru e Petrolina por apresentarem um tempo de retorno superior a 24 anos.

As vantagens trazidas pela implantação desse sistema não se limitam ao impacto financeiro, mas também trazem benefícios ambientais, culturais e educacionais. Com a redução do consumo de água potável, a escola torna-se referência na economia de água sobre a rede pública de abastecimento. Além disso, por se tratar de uma escola, têm todo o caráter educacional e pedagógico, pois ajuda na formação de alunos mais conscientizados sobre o seu papel na conservação e uso racional da água.

Ademais, com projetos padrões do FNDE disponibilizando para os municípios essa forma de construção mais sustentável ajudaria a divulgar a necessidade de economia de água, além de mostrar o empenho das autoridades e gestores públicos no combate ao desperdício deste bem e sua utilização inadequada, ao buscar fontes alternativas do recurso. Finalmente, é importante que este projeto possa servir como referência para iniciativas futuras da construção de escolas em localidades com índices pluviométricos semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Boletim Pluviométrico**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/>>. Acesso em maio 2018

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre: Antac, v. 8, n.4, abr./jun. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de cobertas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

ECOCASA – **Quanto Custa uma Cisterna Pronta?** Disponível em: <<http://www.ecocasa.com.br/quanto-custa-uma-cisterna-pronta>>. Acesso em maio 2018

FIORI, S.; Fernandes, V. M. C.; Pizzo, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30, jan./mar. 2006.

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Plano de Ações Articuladas**. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/22/fnde-subsidia-municipios-para-a-construcao-de-escolas-de-modelo-padrao-275121-1.aspx>>. Acesso em junho 2018

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento de Água da Chuva**. Organic Trading Editora, 1a edição, Curitiba, 2002.

LIMA, K. L. B. A, NUNES, L. G. C. F, SILVA, S. R. Análise da viabilidade de implantação de captação de águas pluviais em escola pública no Recife. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades - ANAP**. V. 05, n.36, 2017.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAY, Simone. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.

NUNES, L. G. C. F. **Indicadores de consumo de água, em uma escola estadual de Recife – PE**. 2015. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

OLIVEIRA, F. R. G. de. **Consumo de água e percepção dos usuários para o uso racional da água em escolas estaduais de Minas Gerais**. 2013. 193f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

RUPP, R.F; MUNARIM, U.; GHISI, E. **Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SCHERER, F. A. **Uso racional da água em escolas públicas: diretrizes para secretarias de educação**. 2003. 257 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SOARES, A. E. P. **Análise do consumo de água em uma escola pública estadual de Recife-PE**. 2016. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2016.

SOBREIRA, F. J. A. et al. **Sustentabilidade em edificações públicas: entraves e perspectivas**. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/a-camara/programas-institucionais/inclusao-social-e-equidade/ecocamara/o-ecocamara/noticias/copy_of_sustentabilidade-em-edificacoes-publicas-entraves-e-perspectivas. Acessado em 2.jun.2018.

TOMAZ, Plínio. (2005) **Aproveitamento de água da chuva: Aproveitamento de água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. Editora Navegar São Paulo - SP, 180p.

VIGGIANO, M. H. S. **Edifícios Públicos Sustentáveis**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2010.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016: Água e emprego**. Resumo Executivo. Paris, UNESCO. 2016.