



## **SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN PESQUEIRA - PERNAMBUCO**

### **ARTÍCULO ORIGINAL**

BEZERRA, Francisco Paiva<sup>1</sup>, SANTOS, Wendell José Soares dos<sup>2</sup>

BEZERRA, Francisco Paiva. SANTOS, Wendell José Soares dos. **Sistema de captación de agua de lluvia en una vivienda unifamiliar en Pesqueira - Pernambuco**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 05, Vol. 06, pp. 33-55. Maio de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-civil/captacion-de-agua>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-civil/captacion-de-agua

### **RESUMEN**

Debido a la escasez de agua y diversos problemas sociales causados por la falta de acceso al agua, es claro que la población necesita alternativas sustentables para remediar tales fallas. En este contexto, con el fin de enfatizar la doctrina sobre el tema y resaltar la importancia del reúso del agua para la preservación de los recursos hídricos para las generaciones futuras, este artículo tiene como pregunta orientadora: el uso de un sistema de captación de agua de lluvia presenta problemas económicos, técnicos y viabilidad ambiental? Por lo tanto, el objetivo es presentar una propuesta de un sistema de captación de agua de lluvia en una residencia unifamiliar ubicada en la ciudad de Pesqueira, Estado de Pernambuco. La metodología se basó en la realización de cálculos de dimensiones variadas, lo que arrojó como resultado que el volumen total era necesario para atender las demandas de reutilización, siendo determinado a través de la suma del volumen del jardín, el volumen del garaje y el volumen de descarga de la vivienda. Finalmente, se concluyó que, en relación a la captación de agua de lluvia por la cubierta del edificio estudiado, se logró minimizar parcialmente las inundaciones, así como la reducción en el uso de agua potable provista por la concesionaria, tornando económicamente el proyecto y ambientalmente viable en la ciudad de Pesqueira PE. Además, se encontró que hubo un ahorro de 213.9775 L diarios en el uso de agua limpia mediante el uso del referido sistema, lo que generó un impacto positivo en el valor mensual de la tarifa de agua de la concesionaria.

Palabras clave: Escasez de agua, Agua de lluvia, Sistema de recolección.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos en Brasil son de interés público y económico, generando crisis cuando se exponen a la escasez, ya que requieren una gestión adecuada, además de una adecuada distribución para atender la demanda de toda la población (FEITOSA, 2020). Sin embargo, según la Agencia Nacional de Agua y Saneamiento Básico (2020), el país cuenta con un promedio del 12% de agua dulce del planeta, y por lo tanto es uno de los países más cubiertos por la distribución de agua en el mundo.

Sin embargo, en relación al promedio de la población, es posible observar que la distribución de los manantiales brasileños presenta divisiones hídricas desiguales, como es el caso del Norte del país, donde la cantidad de agua es desproporcionada al número de viviendas, con una concentración del 80 % del agua para el 5 % de la población (ANA, 2020).

En este contexto, Naciones Unidas (2017) indica que el actual despilfarro de agua puede llevar, si aún es constante, a una disminución del 40% de los recursos hídricos para el año 2030, y también pronostica que con esta disminución habrá un Incremento del 55% en la demanda de agua para el año 2050.

Por tanto, estos datos muestran la preocupación ambiental y conservadora de las próximas generaciones, ya que la conciencia sobre la importancia de ahorrar agua encuentra barreras en los malos hábitos de desecho de la población (PEDRANGELO *et al.*, 2018). Por lo tanto, la reutilización del agua se ha convertido en una agenda intensiva para las discusiones gubernamentales y ambientales a lo largo de los años (SILVA, 2019).

De esta forma, la investigación se justifica por la importancia de proteger este recurso natural que, ante tanto desperdicio y aumento de demandas muchas veces inaccesibles, hacen necesarios estudios sobre el tema para lograr una adecuada



conservación. Por lo tanto, surge el siguiente problema de investigación: ¿Es viable económica, técnica y ambientalmente el uso de un sistema de captación de agua de lluvia?

La respuesta a la pregunta es positiva debido a la siguiente hipótesis: A través de la captación de agua de lluvia, a través del techo de un edificio, siendo esta agua dirigida a un reservorio específico, el agua de lluvia será almacenada con el fin de reducir el flujo directo al público vial, minimizando las inundaciones, pudiendo ser utilizados posteriormente en determinados usos domésticos no potables, que permiten reducir el uso de agua potable suministrada por el concesionario.

Frente a ello, el presente trabajo tiene como objetivo presentar una propuesta de sistema de captación de agua de lluvia en una residencia de la ciudad de Pesqueira Pernambuco, con el fin de enfatizar la doctrina sobre el tema y resaltar la importancia de la reutilización del agua para la preservación de los recursos hídricos para las generaciones futuras.

## **2. SITUACIÓN DEL AGUA EN BRASIL**

### **2.1 DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL PAÍS**

En Brasil, la mayor distribución de agua se concentra en la región Norte, totalizando el 68% de toda el agua del país, siendo la población de esta región equivalente al 7% de la población nacional. En el Sudeste se concentra el 6% del agua nacional, y en el Nordeste sólo el 3% de estas reservas, siendo ambas regiones las más pobladas de Brasil (PENA, 2022). Los mayores índices *per cápita* de disponibilidad nacional de agua se ubican en el Norte, Medio Oeste y Sur, los cuales, al igual que el Norte, tienen menor densidad poblacional y sus cuencas tienen mayores caudales (PENA, 2022).



Si bien en algunas regiones el número de distribuciones de agua es mayor que en otras, no está exento el hecho de que aún experimenten crisis hídricas, ya sea por desastres o escasez, lo que requiere una constante planificación, gestión e infraestructura para asegurar la disponibilidad de este recurso para todos habitantes, lo cual no es un hecho constante (PENA, 2022).

## 2.2 SANEAMIENTO EN BRASIL

La calidad de la lluvia se compone de cuatro procesos, que se refieren al agua antes de llegar al suelo, después de llegar a los techos residenciales, el agua almacenada y el agua consumida. En todas estas fases existe la posibilidad de tratamiento para que se destinen a la reutilización de no potables de forma sostenible, segura y eficaz (LIMA, 2015).

El Sistema Nacional de Información de Saneamiento (SNIS), administrado por la Secretaría Nacional de Saneamiento del Ministerio de Desarrollo Regional (SNS/MDR), actúa como un instrumento de conocimiento sobre los servicios de saneamiento básico sin igual en Brasil (SNIS, 2021).

De esta forma, el SNIS brinda un conjunto de datos estructurados que favorecen la evaluación de la evolución de los servicios de abastecimiento de agua, además de los servicios de alcantarillado sanitario desde 1995, además del manejo de los residuos sólidos urbanos desde 2002 y el drenaje y manejo de agua de lluvia urbana desde 2015 (SNIS, 2021). Pronto:

O SNIS norteia atividades como o planejamento e a gestão do setor de saneamento, a formulação de políticas públicas e programas, a definição e monitoramento de metas e atividade de regulação e a fiscalização dos serviços. O SNIS também foi fundamental para a estruturação do marco legal do saneamento, instituído pela Lei no 11.445/2007 e atualizado pela Lei no 14.026/2020 (SNIS, 2021, p. 05).



Los objetivos de este sistema se basan en la planificación y ejecución de las políticas públicas, además de orientar sobre la aplicación de los recursos, a través de los siguientes puntos:

- Conocimiento y evaluación del sector saneamiento;
- Evaluación del desempeño del servicio;
- Mejora de la gestión;
- Orientación de las actividades de regulación y fiscalización;
- Ejercicio del control social.

En este sentido, la Secretaría Nacional de Saneamiento (SNS, 2021) elaboró un Módulo de Diagnóstico Temático del Drenaje y Gestión de Aguas Pluviales Urbanas, con referencia al año 2020, realizado con información e indicadores municipales. Por ello, el SNIS (2021) destaca:

Os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (DMAPU) evitam e atenuam impactos humanos, sociais, ambientais e econômicos resultantes de eventos hidrológicos impactantes. Nessa condição se enquadram inundações, enxurradas e alagamentos que ocorrem em áreas urbanas, especialmente nas que se caracterizam por ocupação desordenada de encostas e áreas naturais de drenagem, resultando na alteração e assoreamento de cursos hídricos e impermeabilização do solo (SNIS, 2021, p. 12).

Estos servicios están íntegramente vinculados al abastecimiento de agua, alcantarillado sanitario y limpieza urbana y manejo de residuos sólidos. Los sistemas efectivos de drenaje, recolección de residuos sólidos (basura) y recolección y tratamiento de aguas servidas evitan que las aguas pluviales se conviertan en vectores de proliferación de enfermedades, así como de contaminación en las reservas de agua, dirigidas a la sociedad (SNIS, 2021). Con eso:

A abordagem integrada dos quatro componentes, orientada pela Lei Federal de Saneamento Básico (no 11.445/2007,



atualizada pela Lei no 14.026/2020), é parte da evolução do conceito de DMAPU. No passado, a regra geral era afastar o mais rápido possível as águas pluviais de pontos de retenção, transferindo eventos hidrológicos para áreas à jusante (abaixo do ponto de ocorrência) (SNIS, 2021, p. 12).

El sistema también señala que actualmente se priorizan soluciones de drenaje sustentable (franjas, zanjas de infiltración), infraestructura de amortiguamiento de caudales (reservorios o cuencas de retención y detención, lagos, piscinas), parques lineales (SNIS, 2021).

En esta línea de razonamiento, se sabe que la captación de agua de lluvia puede destinarse al consumo no potable, realizándose a través de los canalones que dirigen el agua a un reservorio aparte, donde se eliminan los desechos e impurezas, hecho que se unifica con la planificación y demás factores necesarios antes mencionados con base en el SNIS, contribuye al drenaje en la vía pública, además de reducir los impactos ocasionados por el exceso de agua de lluvia (REZENDE y TECEDOR, 2017).

## **2.3 SISTEMAS DE COLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES**

Los sistemas de captación de agua se han utilizado en todo el mundo desde la antigüedad, y existen registros de su uso por parte de las civilizaciones maya e inca, entre otras. De esta manera, es la captación de agua de lluvia a través de canaletas, techos u otras formas de direccionar esta agua a un reservorio que puede ser una cisterna, u otras modalidades de la misma, con el fin de posibilitar su reutilización no potable (LUCAS, 2016).

Así, el siglo XXI estuvo marcado por la implantación generalizada de este sistema debido al crecimiento de la población, además de otros aspectos económicos, ya que estos son factores que inciden en la seguridad hídrica. Pronto, la reutilización de estas aguas comenzó a destinarse al consumo no potable (LUCAS, 2016). En este sentido, el autor:



Os principais motivos que levam à decisão para se utilizar água de chuva são basicamente os seguintes: Conscientização e sensibilidade da necessidade da conservação da água; Região com disponibilidade hídrica menor que 1200 m<sup>3</sup>/habitante x ano; Elevadas tarifas de água das concessionárias públicas; Retorno dos investimentos (*payback*) muito rápido; Instabilidade do fornecimento de água pública; Exigência de lei específica; Locais onde a estiagem é maior que 5 meses (LUCAS, 2016, p. 08).

Aún así, se menciona por el autor que la principal razón de utilizar el agua de lluvia traída por el referido sistema para las industrias es combinar el desarrollo sustentable con la reducción de sus costos (LUCAS, 2016).

En cuanto a la reutilización de aguas pluviales residenciales, los principales beneficios por el uso de la arquitectura sustentable son la preservación del medio ambiente, la economía, la calidad de vida, el diferencial empresarial, la valorización de los inmuebles además de una mayor satisfacción de los usuarios y la productividad de los empleados y por último, el desarrollo de conciencia ambiental (GUERRA, 2016).

Finalmente, el sistema de recolección de agua de lluvia puede ocurrir a través del techo, que es una parte del edificio ubicada en el techo para proteger las áreas construidas contra la lluvia, la luz solar y otros elementos. A través de la forma de la superficie de los techos, es posible canalizar el agua de lluvia destinada a algún tipo de recolección, ya sea a través de rejillas, canaletas y otros (CARVALHO JÚNIOR, 2009).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación es un estudio de caso con la finalidad de presentar una propuesta de un sistema de captación de agua de lluvia para facilitar la reutilización del agua y evaluar la viabilidad económica y ambiental del sistema.





El levantamiento bibliográfico compuso el marco teórico de esta investigación que aborda la distribución de agua en Brasil, la captación de agua de lluvia y los sistemas de captación de agua de lluvia. Como parámetros para la realización del dimensionamiento de pluviales, canalones y conductores, se utilizaron las siguientes normas: NBR 5626/2020 frente a la misma norma NBR 5626 del año 1998, NBR 10844/1989, todas normas ABNT. También se utilizó el ejemplo de uso de tablas expuesto por el sitio web oficial de Schneider Motobombas (2019) para dimensionar las bombas y la investigación de Coutinho *et al.*, (2010), para definir el dimensionamiento hidráulico.

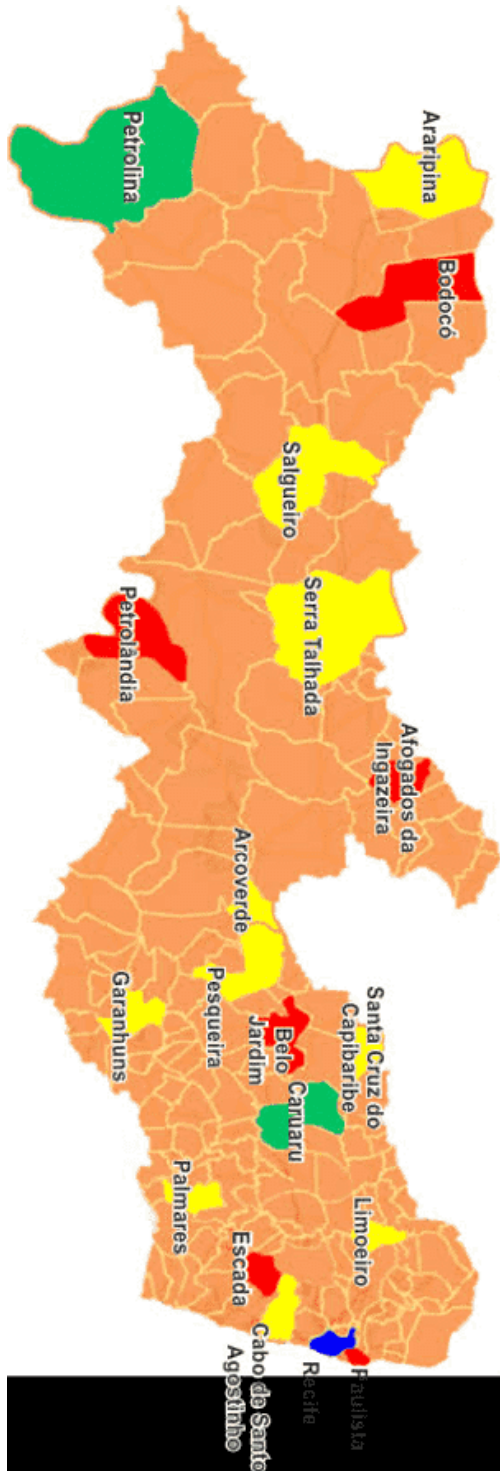
### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio en cuestión es un proyecto residencial unifamiliar ubicado en la ciudad de Pesqueira en el estado de Pernambuco, como se muestra en la Figura 1. Fue modelado en software que utiliza tecnología BIM.





Figura 1: Ubicación de la residencia investigada

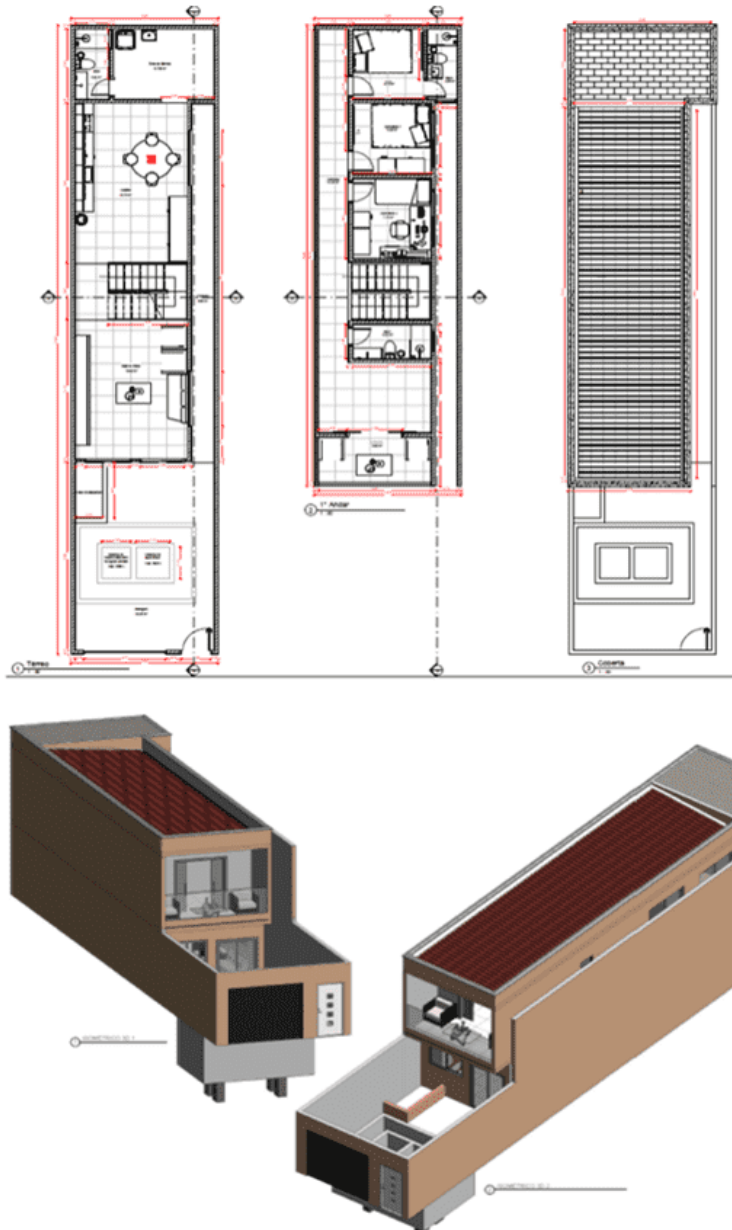


Fuente: CDN PE, 2020.

RC: 140633

Disponibile: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-civil/captacion-de-agua>

La figura 2 representa la residencia donde se planteó el sistema de captación de agua de lluvia. Se modeló en software que utiliza tecnología BIM



Fuente: El autor, 2022.

RC: 140633

Disponible: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-civil/captacion-de-agua>



### 3.2 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el sistema de captación de agua de las precipitaciones locales para fines no potables, inicialmente es necesario encontrar los valores necesarios para la captación y almacenamiento de este volumen de agua. Para eso, se realizó el dimensionamiento del sistema de agua lluvia, agua fría y bombeo, todos estos cumpliendo con los criterios establecidos por la NBR 10844/1989, 5626/2020, 15527/2007.

De acuerdo con la NBR 10844/1989, el caudal de diseño se puede encontrar a través de la ecuación 1:

$$Q = \frac{I.A}{60} \quad \text{Eq. 1}$$

Con el objetivo de homogeneizar las informaciones, la investigación de Coutinho *et al.*, (2010) realizó ecuaciones de precipitaciones intensas para el estado de Pernambuco, mostrando así las ecuaciones para varias regiones del estado, y entre ellas, Pesqueira. Dada la importancia de las ecuaciones de intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones, vinculadas a proyectos hidráulicos y de drenaje urbano, agrícola e incluso vial, los hidrogramas de proyecto pasan a depender de hietogramas asociados a un período de retorno y una duración determinada (COUTINHO *et al.*, 2010).

Por lo tanto, los autores destacaron que la información sobre las incógnitas i-d-f aún no existe para muchas ciudades de Brasil, siendo los valores existentes sujetos a variaciones debido a la realización de sus ecuaciones en diferentes épocas del año en diferentes metodologías (COUTINHO *et al.*, 2010).



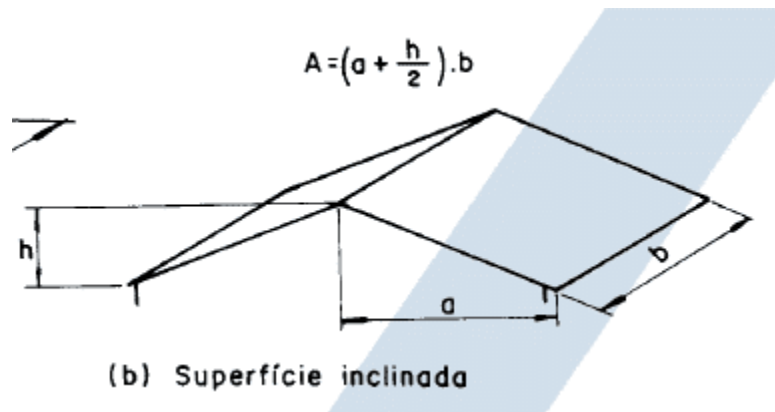
La intensidad de la lluvia se puede determinar a través de la ecuación de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF). Según Coutinho *et al.*, (2010) la ecuación IDF para el pueblo pesquero está representada por la ecuación 2:

$$i = \frac{497,4 * T r^{0,2398}}{(t+4,141274)^{0,7527}} \quad \text{Eq. 2}$$

Así, el ítem 5.1.2 de la NBR 10844/89 sugiere algunos valores para el tiempo de retorno de acuerdo con las necesidades del proyecto, donde T = 1 año para áreas pavimentadas donde se pueden tolerar charcos; T=5 años para cubiertas y/o terrazas; T= 25 años para cubiertas y zonas donde no se toleran encharcamientos o desbordamientos. Para el proyecto en cuestión se consideró un tiempo de recuperación de 5 años.

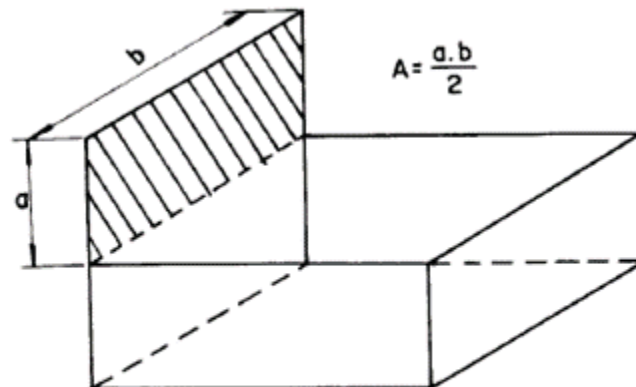
El ítem 5.1.3 de la NBR 10844/89 especifica que el tiempo de precipitación debe ser de 5 minutos. La NBR 10844/1989 presenta algunas posibilidades para estimar el área de contribución en función de la geometría de diseño. Las Figuras 3 y 4 presentan las expresiones que representan la configuración del proyecto en cuestión.

Figura 3: Configuração do projecto



Fonte: NBR 10844/1989.

Figura 4: Superfícies



(h) Quatro superfícies planas verticais,  
sendo uma com maior altura

Fonte: NBR 10844/1989.

Com o caudal encontrado, foi possível determinar as dimensões da canaleta utilizada em o projecto, a través de a ecuación de Manning-Strickler, denominada como Ecuación 3:



$$Q = K * \frac{S}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. 3}$$

El valor del coeficiente de rugosidad (n) depende del tipo de material elegido. La tabla 2 del ítem 5.5.7.1 de esa norma determina el valor del coeficiente de rugosidad (n) en función del material. En el proyecto en cuestión se adoptó material plástico para los canalones, por lo que el coeficiente de rugosidad utilizado fue igual a 0,011.

La determinación de los conductores verticales y horizontales se realizó utilizando el ábaco de canalón con salida de arista viva proporcionado por la NBR 10844/1989 y la tabla 4 también de la NBR 10844/1989.

Para el dimensionamiento del reservorio de agua de lluvia, se utilizó la NBR 15527/2007, que en su Anexo A sugiere algunas formas de encontrar el volumen del reservorio. El volumen se calculó utilizando el método inglés práctico y el método de Azevedo Neto, adoptando el valor más bajo encontrado para el proyecto.

Las ecuaciones 4 y 5 expresan, respectivamente, el método inglés práctico y el método de Azevedo Neto.

$$V = 0,05 * P * A \quad \text{Eq. 4}$$

$$V = 0,042 * P * A * T \quad \text{Eq. 5}$$

La precipitación media necesaria para calcular los volúmenes de los embalses se determinó a partir de los datos proporcionados por la Agencia de Agua y Clima de Pernambuco (APAC)[3] referentes a la estación pluviométrica 18 en la ciudad de Pesqueira/PE.

De acuerdo con la NBR 15527/2007, el volumen de agua de lluvia aprovechable se puede determinar a través de la ecuación 6:



$$V = P \cdot A \cdot C \cdot \eta \quad \text{Eq. 6}$$

Dónde:

V = volumen anual, mensual o diario

P = precipitación media anual, mensual o diaria

A = área de recolección (m<sup>2</sup>)

C = coeficiente de escorrentía del techo

$\eta$  = eficiencia del sistema de captura

El coeficiente de escorrentía depende del material utilizado y puede variar entre 0,8 y 0,9. El valor utilizado para la eficiencia del sistema de captura de  $\eta$  es el recomendado por Tomaz (2003), en el que se adopta el valor de 0,9.

Para el dimensionamiento del reservorio de agua fría, la NBR 5626/2020 establece varios criterios para la ejecución de los reservorios. Creder (1991), proporciona tablas que ayudan a elegir las variables necesarias para determinar la capacidad del embalse. El consumo diario se puede expresar mediante la ecuación 7:

$$Cd = pop * q \quad \text{Eq. 7}$$

De acuerdo con la NBR 5626/2020, los depósitos deben tener sistemas de elevación independientes. Para el dimensionamiento del sistema de bombeo fue necesario encontrar el caudal a medir y la altura para poder determinar la potencia necesaria del conjunto motobomba. Las ecuaciones 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 expresan las variables necesarias para determinar los parámetros mencionados anteriormente:





$$Q = \frac{Cd}{T} \quad \text{Eq. 8}$$

$$Dr = 1,3 * \left(\frac{T}{24}\right)^{0,25} * Q^{0,5} \quad \text{Eq. 9}$$

$$J = 10,67 * \frac{1}{D^{4,87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85} \quad \text{Eq. 10}$$

$$\Delta h = J * L \quad \text{Eq. 11}$$

$$Hm = h + \Delta h \quad \text{Eq. 12}$$

$$Hmt = Hms + Hmr \quad \text{Eq. 13}$$

$$P = \frac{1000 * Hmt * Q}{75 * \eta} \quad \text{Eq. 14}$$

### 3.2 ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Para determinar el análisis económico y ambiental del estudio en mención, se determinó la viabilidad de implementar el sistema con base en el volumen de captación en relación a la demanda de agua no potable y el ahorro en el pago de la tarifa al concesionario responsable.

La Figura 5 muestra los valores cobrados por Empresa de Saneamiento de Pernambuco (COMPESA)[4] según la cantidad de m<sup>3</sup> utilizados en el período de 1 mes.



Figura 5 – Valores de Tarifa COMPESA según el volumen mensual utilizado

## Consumidores Medidos

Residencial:

Consumo	Valor (R\$)	
Tarifa Social Até 10.000 litros/mês	9,44	↻
Até 10.000 litros/mês	50,50	↻
10.001 a 20.000 litros	5,79	↻
20.001 a 30.000 litros	6,88	↻
30.001 a 50.000 litros	9,48	↻
50.001 a 90.000 litros	11,23	↻
90.001 a 999999.000 litros	21,58	↻

Fuente: COMPESA, 2022.

## 4. RESULTADOS

En la tabla 1 a continuación se muestran los resultados obtenidos en el diseño del sistema pluvial:

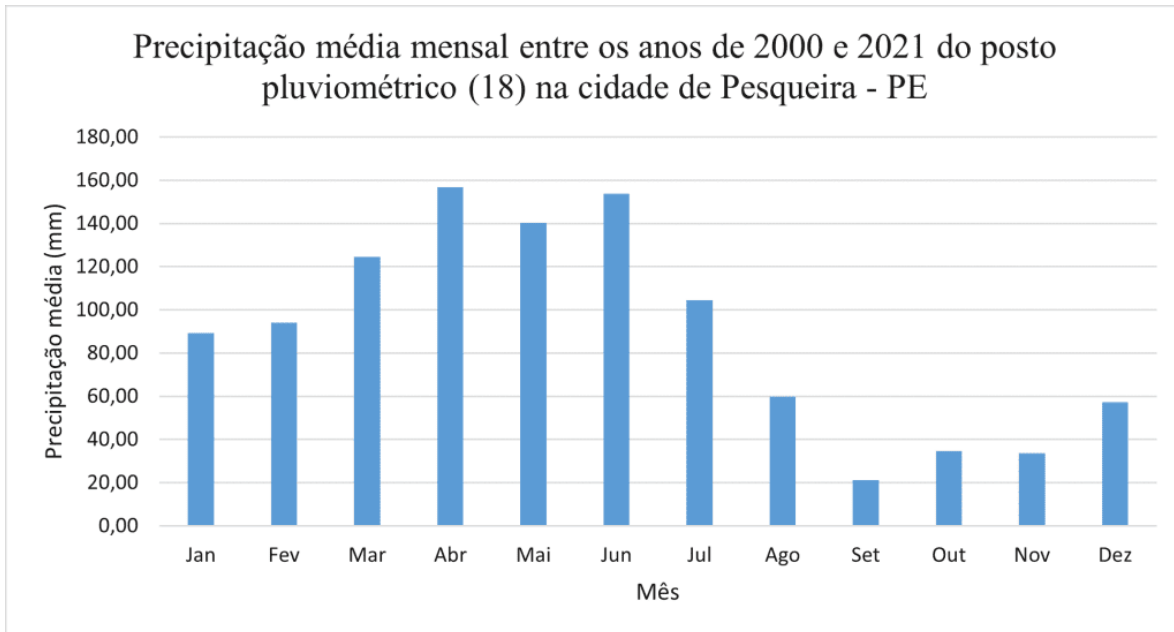
Tabla 1: Dimensionamiento de Canalones y Conductores

Dimensionamiento de Canalones y Conductores	
Intensidad de lluvia (I) - mm/h	138,35
Área de Contribución (A) - m <sup>2</sup>	51,15
Flujo del proyecto (Q) - L/min	117,95
Base Canalón (b) - cm	35
Altura del canalón (h) - cm	17,5
Profundidad del agua (H) - mm	117
DN verticales - mm	75
DN horizontales - mm	100
Fuente: Autor, 2022	

Para determinar la precipitación media anual en la ciudad de Pesqueira, se consultaron los registros de monitoreo de precipitaciones de la Agencia de Agua y

Clima de Pernambuco (APAC) de los últimos 21 años. El gráfico 1 muestra los datos acumulados mensuales desde enero de 2000 hasta diciembre de 2021:

Gráfico 1 - Acumulado mensual de 2000 a 2021 en Pesqueira - PE



Fuente: Autor, 2022.

Calculando la media aritmética de los valores de precipitación en el gráfico anterior, encontramos el valor de 89,17 mm. Para la determinación del período de poca o ninguna lluvia (T) del método de Azevedo Neto, se adoptó que el período en el que hubo poca o ninguna lluvia fue de 5 meses (agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre), porque en estos meses la precipitación fue inferior al valor promedio encontrado. La Tabla 2 representa el dimensionamiento del Embalse de Agua de Lluvia.

Tabla 2 - Dimensionamiento del Agua de Lluvia

Dimensionamiento del depósito de agua de lluvia	
Método	Volumen (L)
Inglés práctico	1454,26



Azevedo Neto	6107,89
--------------	---------

Fuente: Autor, 2022.

Eligiendo el valor más pequeño entre los dos métodos, podemos aproximar el volumen total a:

$$V \approx 1500 \text{ L}$$

Por lo tanto, se adoptaron las recomendaciones encontradas en la literatura (CREDER, 1991) en cuanto a:

- Depósito Inferior: 60% \* Capacidad del Depósito (Cr)
- Embalse Superior: 40% \* Capacidad del Embalse (Cr)

Pronto:

$$\text{Res. Inf.: } 60\% * 1500 = 900 \text{ L}$$

$$\text{Res. Sup.: } 40\% * 1500 = 600 \text{ L}$$

Aproximando el valor del embalse superior al comercialmente más cercano, tenemos:

$$\text{Res. Sup.} \approx 750 \text{ L}$$

En cuanto al proyecto en cuestión, se siguieron las recomendaciones antes mencionadas aunque no fueran explícitas en su versión actualizada de fecha 2020. Suponiendo que todas las dimensiones tendrán el mismo tamaño ( $a=b=c$ ):



$$V = a^3$$

Reemplazando el volumen de los embalses inferiores, tenemos:

- $0,90 = a^3$
- $a = 0,9654 \text{ m}$
- $a \approx 1 \text{ m}$

Si bien estas dimensiones cumplen con las necesidades de abastecimiento de la residencia, se observó que la altura tiene un valor bajo, hecho que puede dificultar la instalación del sistema de bombeo. En este sentido, se adoptó la altura de ambos depósitos equivalente a 2 m, con el fin de obtener una mejor ejecución de las bombas. Por lo tanto:

Volumen inferior = 2000 L

$$a = b = 1 \text{ m}$$

$$c = 2 \text{ m}$$

Para dimensionar la capacidad del reservorio de agua fría se utilizó la tabla propuesta por Creder para estimar el consumo *per cápita* de la residencia. Suponiendo que la población del edificio será de 6 habitantes y un consumo *per cápita* de 200 L/día, podemos encontrar el consumo diario de la residencia.

$$Cd = pop * q$$

$$Cd = 1200 \text{ L/día}$$

La literatura recomienda que la capacidad del embalse contenga el doble del consumo diario utilizado, por lo tanto:



$Cd = 2400 \text{ L/día}$

Con el consumo diario determinado, fue posible asignar los volúmenes para los embalses inferior y superior:

Res. Inf.:  $60\% * 2400 = 1440 \text{ L}$

Res. Sup.:  $40\% * 2400 = 960 \text{ L}$

$Cd = 1200 \text{ L/día}$

La literatura recomienda que la capacidad del embalse contenga el doble del consumo diario utilizado, por lo tanto:

$Cd = 2400 \text{ L/día}$

Con el consumo diario determinado, fue posible asignar los volúmenes para los embalses inferior y superior:

Res. Inf.:  $60\% * 2400 = 1440 \text{ L}$

Res. Sup.:  $40\% * 2400 = 960 \text{ L}$

$$V = a^3$$

- $1,44 = a^3$
- $a = 1,12924 \text{ m}$
- $a \approx 1,15 \text{ m}$

Si bien estas dimensiones cumplen con las necesidades de abastecimiento de la residencia, se observó que la altura tiene un valor bajo, hecho que puede dificultar



la instalación del sistema de bombeo. En este sentido, se adoptó la altura de ambos depósitos equivalente a 2 m, con el fin de obtener una mejor ejecución de las bombas. Por lo tanto:

Volumen inferior = 2645 L

$a = b = 1,15 \text{ m}$

$c = 2 \text{ m}$

Después de dimensionar los embalses, es necesario calcular la potencia de bombeo necesaria para elevar el agua hasta el embalse superior. Según la NBR 5626/20, los sistemas de descarga deben tener por lo menos dos bombas funcionando independientemente una de la otra y deben evitar el fenómeno de la cavitación. Para instalaciones de edificios, la eficiencia del conjunto motobomba puede variar entre un 40% y un 75%. Así, la empresa Schneider Bombas (2019) establece:

- Potencia hasta 2CV – Rendimiento: 50%
- Potencia hasta 12,5CV – Rendimiento: 60%
- Potencia superior a 12,5CV - Rendimiento: 50%

El período ideal para el funcionamiento de una bomba varía entre 4 horas y 6 horas. En el proyecto en cuestión, se adoptó un tiempo de funcionamiento de 5 horas. La tabla 3 contiene valores dimensionados para ambos sistemas, agua de lluvia y agua fría.

Tabla 3 - Dimensionamiento del sistema de ascensores

Variables de tamaño	Sistema de ascensor			
	Agua de lluvia		Agua fría	
	Succión	Represión	Succión	Represión
Caudal (Q) - m <sup>3</sup> /h	2,4		2,4	





Diámetro de descarga (Dr) - mm	32	25	32	25
Diámetro de succión (Ds) - mm	32	25	32	25
Longitud real (L) - m	5,1673	23,532	5,5468	27,3092
Altura geométrica (h) – m	2	6,44	2	6,69
Longitud equivalente (Le) – m	45,7	39,9	45,7	40,4
Pérdida de carga unitaria (J) - m/m	0,005706	0,021	0,005706	0,019
Pérdida de carga ( $\Delta h$ ) – m	0,29	1,34	0,3	1,29
Altura manométrica (Hmt) - m	2,29	7,78	2,3	7,98
Rendimiento ( $\eta$ ) - %	50		50	
Potencia del conjunto motobomba (P) - hp	0,074		0,076	

Fuente: Autor, 2022.

Del catálogo de bombas (SCHNEIDER, 2019) se pudo determinar la bomba adecuada para la demanda. Se eligió el modelo BC-98, con una potencia igual a 1/3 hp, que además de ser silencioso, cumple adecuadamente con los requerimientos del edificio.

En base a los datos proporcionados por Sanepar, podemos estimar la demanda necesaria para las actividades diarias. La Tabla 4 a continuación muestra el consumo estimado de una casa con seis habitantes.

Tabla 4 - Perfil de uso del agua

PERFIL DE USO DE AGUA EN LA ECONOMÍA DOMÉSTICA PARA SEIS PERSONAS			
Usar	Consumo por 1 mes (L)	Consumo por 1 día (L)	Consumo <i>per cápita</i> (L)
Cepillarse los dientes (3 veces al día cada persona)	180	6	1,5
Baño con ducha eléctrica (5 minutos, 1 vez al día para cada persona)	3600	120	30
Descarga del inodoro (8 veces al día)	3600	120	30
Lavar los platos (3 veces al día)	2700	90	22,5
Lavar ropa/tanque (15 minutos 3 veces por semana)	2880	96	24



Agua potable	360	12	3
Preparación de comida	900	30	7,5
Limpieza de la casa (1 cubo por día)	900	30	7,5
Total	15120	504	126

Fuente: Adaptado de Sanepar, 2020.

Según Hespanhol (2012), para riego de jardines y lavado de patios se pueden considerar consumos de 3L/m<sup>2</sup> y 2L/m<sup>2</sup>. A partir de los valores sugeridos por Hespanhol, y la información de la Tabla 5, es posible estimar la demanda de agua para limpieza y mantenimiento del garaje y jardín, considerando que se lavará el garaje dos veces por semana y se regará el jardín 3 veces por semana, así como la demanda del uso de descargas hidráulicas.

Tabla 5 - Cálculo de la demanda no potable

Demanda mensual no potable			
Parámetros	Cochera	Jardín	Baño
Superficie (m <sup>2</sup> )	32,20	9,86	-
Volumen semanal (L)	128,78	88,76	900,00
Volumen mensual (L)	515,12	355,05	3600,00

Fuente: Autor, 2022.

El volumen total necesario para satisfacer las demandas de reutilización se puede determinar sumando los volúmenes mensuales correspondientes al jardín, garaje y el volumen de descarga de la casa.

Por lo tanto:

$$\text{Demanda} = 515,12 + 355,05 + 3600$$

$$\text{Demanda} = 4470,17 \text{ L/mes}$$



Habiendo establecido el valor necesario para el volumen de reutilización y utilizando la ecuación 6, considerando el coeficiente de escorrentía superficial  $C$  igual a 0.8 y un factor de captación igual a  $\eta$  igual a 0.9 como recomienda Tomaz (2003), fue posible evaluar el impacto económico y ambiental viabilidad del proyecto. La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos en esta verificación.

Tabla 6 - Financiamiento mensual potencial

Período (mes)	Precipitación media (mm)	Área Total (m <sup>2</sup> )	Demanda requerida (m <sup>3</sup> )	Volumen recogido (m <sup>3</sup> )	Porcentaje servido (%)	Porcentaje faltante (%)
Ene	89,27	47,57	4,48	3,06	68,25	31,75
Feb	94,12	47,57	4,48	3,22	71,95	28,05
Mar	124,60	47,57	4,48	4,27	95,26	4,74
Abr	156,71	47,57	4,48	5,37	119,81	-19,81
May	140,26	47,57	4,48	4,80	107,23	-7,23
Jun	153,85	47,57	4,48	5,27	117,62	-17,62
Jul	104,61	47,57	4,48	3,58	79,97	20,03
Ago	59,76	47,57	4,48	2,05	45,69	54,31
Sep	21,21	47,57	4,48	0,73	16,21	83,79
Oct	34,65	47,57	4,48	1,19	26,49	73,51
Nov	33,61	47,57	4,48	1,15	25,69	74,31
Dic	57,35	47,57	4,48	1,96	43,85	56,15

Fuente: Autor, 2022.

Analizando la información de la Tabla 6, es claro que el sistema de recolección solo abastece la demanda necesaria en los meses de abril, mayo y junio. Según el Gráfico 5, la tarifa mensual cobrada para viviendas que consumen hasta 10 m<sup>3</sup> es de R\$ 50,50, lo que genera un gasto anual de R\$ 606,00. Como el volumen de agua captada sirve sólo tres meses (abril, mayo y junio), hay una reducción en el valor anual de R\$ 151,50, lo que corresponde a un ahorro del 25% anual. Desde el punto de vista ambiental, el uso del agua de lluvia contribuye a la preservación y uso



racional de los recursos, reduciendo cada vez más los impactos causados por la escasez.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

La situación actual de la población brasileña, correspondiente a las crisis hídricas encontradas en varias ciudades de muchos estados brasileños, anhela con urgencia medidas sostenibles que puedan preservar los recursos hídricos y garantizarlos para las generaciones futuras. Ante esto, la investigación propone medidas de sustentabilidad para provocar la reutilización del agua de lluvia de manera que el medio ambiente se vea beneficiado y no más agredido.

El presente proyecto se trató de un sistema de captación de agua de lluvia, en el cual a partir de las lluvias, la azotea residencial (parte del objeto de esta investigación), dirigía esta agua a las canaletas residenciales, las cuales a su vez destinaban el agua de lluvia que sin el sistema, se se encaminaría a la denominada cuneta de la calle, a un embalse creado específicamente para su ocupación.

El agua depositada en el embalse comenzó a ser reutilizada en determinados usos domésticos no potables, como cisternas, jardinería, lavado de pisos y automóviles, entre otros fines. De esta forma, la reutilización evitó el desperdicio de agua de lluvia, ayudando además a mitigar problemas como las inundaciones en las calles y entre otros factores negativos provocados por las fuertes lluvias.

El sistema de captación de agua de lluvia es una propuesta interesante en la que se ahorró aproximadamente 4,48 m<sup>3</sup> de agua, sin embargo, este ahorro solo se pudo observar durante los meses de abril, mayo y junio, que son los meses más lluviosos de la región. Aún así, existe un ahorro del 25% en el monto cobrado anualmente en las tarifas de la concesionaria (COMPESA) lo que hace interesante el proyecto, ya que si bien representa un pequeño porcentaje respecto al gasto inicial con los



embalses inferiores y el sistema de bombeo, a largo plazo se convierte en una opción viable, además de beneficiar al medio ambiente.

En vista de lo anterior, en respuesta a la pregunta orientadora de esta investigación, se pudo concluir que en relación a la captación de agua de lluvia a través de la cubierta de la edificación estudiada, se logró minimizar parcialmente las inundaciones, así como la reducción en el uso de agua potable provista por la concesionaria, tornando el proyecto económica y ambientalmente viable para la ciudad de Pesqueira - PE.

## REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (BRASIL) - **Segurança hídrica.** Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2020. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/Capitulo5.a4c79690.pdf>>.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Técnica 5626, de Junho de 2020. NBR 5626 - Sistemas prediais de água fria e água quente: Projeto, execução, operação e manutenção, [S. l.], 29 jun. 2020.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Técnica 5626, de Setembro de 1998. NBR 5626 - Instalação Predial de Água Fria, [S. l.], 30 out. 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Técnica 10844, de dezembro 1989. NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura.** São Paulo: Blucher, 2009, 2ª edição.

COUTINHO, *et al.* **Coletânea De Equações De Chuvas Intensas Para O Estado De Pernambuco.** Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2010.

CRC PE. Subsedes, delegacias e representações. 2022, disponível em: <https://www.crcpe.org.br/institucional/delegacias/>

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias.** 5ª edição, de. LTC. 1991.



FEITOSA, M. L. G. **Análise De Sistema De Captação E Reuso De Água Do Edifício Acqua Home Club**, Na Cidade De Caruaru – PE. Caruaru, 2020.

GUERRA. B. B. **Uso da água como fonte renovável em edificações**. Revista de Arquitetura IMED, 5(2): 4-9, 2016 - ISSN 2318-1109.

GAITÁN, M. C. P e TEIXEIRA, B. A. N. **Aproveitamento de água pluvial e sua relação com ações de conservação de água**: estudo de caso em hospital universitário, São Carlos (SP). Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. 2020, v. 25, n. 1.

LUCAS, F. V. **Sistema De Captação E Aproveitamento De Águas Pluviais Em Indústria De Alimentos**. Brasília, 2016.

LIMA. A. **Captação Da Água Da Chuva Para Consumo Doméstico**. Ariquemes, 2015.

NAÇÕES UNIDAS. **Água**. 2017. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. Boletim da Organização Mundial de Saúde, 2017.

PENA, R. F. Alves. "**Distribuição da água no Brasil**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-brasil.htm>. Acesso em 21 de abril de 2022.

PEDRANGELO, Alessandra de Castro; REZENDE, Luciana Cristina Soto Herek; YAMAGUCHI, Natália Ueda. **Avaliação de um sistema residencial para coleta de água de chuva**. Maringá, 2018.

REZENDE, J. H. e TECEDOR, N. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura em edificações: dimensionamento do reservatório pelos métodos descritos na NBR 15527**. Revista Ambiente & Água, 2017, v. 12, n. 6.

SALLA, M. R. LOPES, G. B. PEREIRA, C. E. NETO, J. C. M. PINHEIRO, A. M. **Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 167-181, 2013.

SILVA, Douglas dos Santos. **Análise da utilização de um sistema de reuso de águas pluviais e águas cinzas em uma edificação multifamiliar na cidade de Caruaru-PE**. Caruaru, 2019.

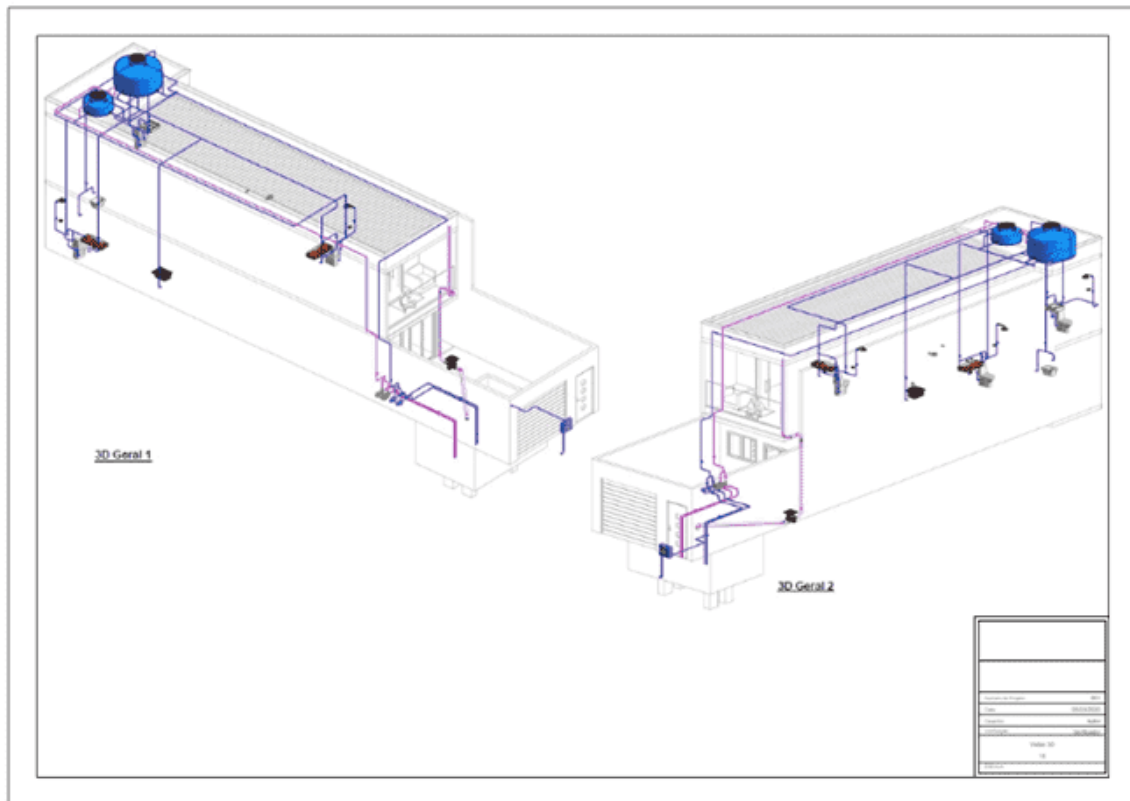


SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Tabela de Seleção de Bombas e Motobombas, 2019.

SNIS. Diagnóstico Temático Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas Visão Geral ano de referência 2020. 2021. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ap/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AP\\_SNIS\\_2021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ap/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AP_SNIS_2021.pdf)

## ANEXOS

Anexo A: Hidrosanitario 3D



## APÉNDICE - NOTA AL PIE

3. Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).
4. Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).





Enviado: Mayo de 2022.

Aprobado: Mayo de 2022.

---

<sup>1</sup> Egresado de Ingeniería Civil. ORCID: 0000-0002-7445-1408.

<sup>2</sup> Máster en Ingeniería Civil y Ambiental. ORCID: 0000-0003-1496-6626.