



REGENWASSERNUTZUNG SYSTEM IN EINEM EINFAMILIENHAUS IN PESQUEIRA - PERNAMBUCO

ORIGINALER ARTIKEL

BEZERRA, Francisco Paiva¹, SANTOS, Wendell José Soares dos²

BEZERRA, Francisco Paiva. SANTOS, Wendell José Soares dos. **Regenwassernutzung System in einem Einfamilienhaus in Pesqueira - Pernambuco.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Jahr. 07, Hrs. 05, Bd. 06, S. 33-55. Mai 2022. ISSN: 2448-0959, Zuganglink: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/bauingenieurwesen/regenwassernutzung>, DOI:

10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/bauingenieurwesen/regenwassernutzung

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund von Wasserknappheit und verschiedenen sozialen Problemen, die durch den fehlenden Zugang zu Wasser verursacht werden, ist klar, dass die Bevölkerung nachhaltige Alternativen braucht, um solche Ausfälle zu beheben. Um in diesem Zusammenhang die Lehre zu diesem Thema hervorzuheben und die Bedeutung der Wiederverwendung von Wasser für die Erhaltung der Wasserressourcen für zukünftige Generationen hervorzuheben, hat dieser Artikel die Leitfrage: Die Verwendung eines Regenwassernutzungssystems ist wirtschaftlich, technisch und Umweltverträglichkeit? Ziel ist es daher, einen Vorschlag für ein Regenwassernutzungssystem in einem Einfamilienhaus in der Stadt Pesqueira im Bundesstaat Pernambuco vorzulegen. Die Methodik basierte auf der Durchführung von Berechnungen unterschiedlicher Dimensionen, die als Ergebnis darauf hindeuteten, dass das Gesamtvolumen notwendig war, um die Nachnutzungsanforderungen zu erfüllen, bestimmt durch die Summe aus Gartenvolumen, Garagenvolumen und Abflussvolumen des Wohnhauses. Abschließend wurde der Schluss gezogen, dass es in Bezug auf das Auffangen von Regenwasser durch das Dach des untersuchten Gebäudes möglich war, Überschwemmungen teilweise zu minimieren sowie den Verbrauch von Trinkwasser, das vom Konzessionär bereitgestellt wurde, zu reduzieren, wodurch das Projekt wirtschaftlich wurde und umweltfreundlich in der Stadt Pesqueira PE. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass durch die Verwendung des genannten



Systems 213,9775 Liter sauberes Wasser pro Tag eingespart wurden, was sich positiv auf den monatlichen Wert des Wassertarifs des Konzessionärs auswirkte.

Schlüsselwörter: Wasserknappheit, Regenwasser, Sammelsystem.

1. EINFÜHRUNG

Die Wasserressourcen in Brasilien sind von öffentlichem und wirtschaftlichem Interesse und erzeugen Krisen, wenn sie knapp werden, da sie neben einer angemessenen Verteilung eine angemessene Bewirtschaftung erfordern, um den Bedarf der gesamten Bevölkerung zu decken (FEITOSA, 2020). Laut der National Agency for Water and Basic Sanitation (2020) verfügt das Land jedoch über durchschnittlich 12% des Süßwassers auf dem Planeten und ist damit eines der Länder, die weltweit am stärksten von der Wasserverteilung abgedeckt sind.

Im Verhältnis zum Bevölkerungsdurchschnitt lässt sich jedoch beobachten, dass die Verteilung der brasilianischen Quellen ungleiche Wasserverteilungen aufweist, wie dies im Norden des Landes der Fall ist, wo die Wassermenge in keinem Verhältnis zur Anzahl der Wohnungen steht eine Konzentration von 80 % Wasser für 5 % der Bevölkerung (ANA, 2020).

In diesem Zusammenhang weisen die Vereinten Nationen (2017) darauf hin, dass die derzeitige Wasserverschwendung, wenn sie noch konstant ist, bis zum Jahr 2030 zu einem Rückgang der Wasserressourcen um 40 % führen kann, und prognostizieren auch, dass es bei diesem Rückgang zu einem Rückgang kommen wird 55 % Steigerung des Wasserbedarfs bis zum Jahr 2050.

Daher zeigen diese Daten die ökologische und konservative Sorge der nächsten Generationen, da das Bewusstsein für die Bedeutung des Wassersparens Barrieren in den schlechten Abfallgewohnheiten der Bevölkerung findet (PEDRANGELO *et al.*, 2018). So ist die Wiederverwendung von Wasser im Laufe der Jahre zu einer



intensiven Agenda für Regierungs- und Umweltdiskussionen geworden (SILVA, 2019).

Auf diese Weise wird die Forschung durch die Bedeutung des Schutzes dieser natürlichen Ressource begründet, die angesichts von so viel Abfall und gestiegenen Anforderungen, die oft nicht zugänglich sind, Studien zu diesem Thema benötigt, um einen angemessenen Schutz zu erreichen. Daher stellt sich folgendes Forschungsproblem: Ist der Einsatz einer Regenwassernutzungsanlage wirtschaftlich, technisch und ökologisch sinnvoll?

Die Antwort auf die Frage ist aufgrund der folgenden Hypothese positiv: Durch das Auffangen von Regenwasser durch das Dach eines Gebäudes, wobei dieses Wasser zu einem bestimmten Reservoir geleitet wird, wird das Regenwasser gespeichert, um den direkten Abfluss in die Öffentlichkeit zu reduzieren Straße, wodurch Überschwemmungen minimiert werden, und kann später für bestimmte nicht trinkbare Haushaltszwecke verwendet werden, wodurch der Verbrauch des vom Konzessionär bereitgestellten Trinkwassers reduziert werden kann.

Angesichts dessen zielt die vorliegende Arbeit darauf ab, einen Vorschlag für ein Regenwasser-Auffangsystem in einem Wohnhaus in der Stadt Pesqueira Pernambuco zu präsentieren, um die Doktrin zu diesem Thema hervorzuheben und die Bedeutung der Wiederverwendung von Wasser für die Erhaltung der Ressource hervorzuheben • Wasser für zukünftige Generationen.

2. WASSERSITUATION IN BRASILIEN

2.1 WASSERVERTEILUNG IM LAND

In Brasilien konzentriert sich die größte Wasserverteilung auf die Nordregion, die insgesamt 68 % des gesamten Wassers im Land ausmacht, wobei die Bevölkerung dieser Region 7 % der Landesbevölkerung entspricht. Im Südosten konzentrieren



sich 6 % des nationalen Wassers und im Nordosten nur 3 % dieser Reserven, wobei beide Regionen die bevölkerungsreichsten in Brasilien sind (PENA, 2022). Die höchsten *per capita* Indizes der nationalen Wasserverfügbarkeit befinden sich im Norden, Mittleren Westen und Süden, die wie der Norden eine geringere Bevölkerungsdichte und ihre Wassereinzugsgebiete einen höheren Durchfluss aufweisen (PENA, 2022).

Obwohl in einigen Regionen die Anzahl der Wasserverteilungen größer ist als in anderen, ist die Tatsache, dass sie immer noch Wasserkrisen erleben, sei es durch Katastrophen oder Knappheit, nicht ausgenommen, was eine ständige Planung, Verwaltung und Infrastruktur erfordert, um die Verfügbarkeit dieser Ressource für alle sicherzustellen Einwohner, was nicht ständig vorkommt (PENA, 2022).

2.2 SANIERUNG IN BRASILIEN

Die Qualität des Regens setzt sich aus vier Prozessen zusammen, die Wasser vor Erreichen des Bodens, nach Erreichen von Wohndächern, gespeichertes Wasser und verbrauchtes Wasser betreffen. In all diesen Phasen besteht die Möglichkeit der Behandlung, sodass sie auf nachhaltige, sichere und effektive Weise der Wiederverwendung von nicht trinkbaren Lebensmitteln zugeführt werden (LIMA, 2015).

Das Nationale Sanitärinformations System (SNIS)[3], das vom Nationale Sanitärsekretariat des Ministeriums für regionale Entwicklung (SNS/MDR)[4] verwaltet wird, fungiert als ein Instrument des Wissens über grundlegende sanitäre Einrichtungen, das seinesgleichen in Brasilien sucht (SNIS, 2021).

Auf diese Weise stellt das SNIS eine Reihe strukturierter Daten bereit, die die Bewertung der Entwicklung der Wasserversorgungsdienste sowie der sanitären Abwasserdienste seit 1995, der Bewirtschaftung fester Siedlungsabfälle seit 2002



und der Entwässerung und Bewirtschaftung von begünstigen städtisches Regenwasser seit 2015 (SNIS, 2021). Bald:

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).

Die Ziele dieses Systems basieren auf der Planung und Durchführung öffentlicher Maßnahmen und bieten neben der Bereitstellung von Leitlinien für die Verwendung von Ressourcen durch die folgenden Punkte:

- Kenntnis und Bewertung der Sanitärbranche;
- Bewertung der Serviceleistung;
- Verbesserung des Managements;
- Ausrichtung von Regulierungs- und Inspektionstätigkeiten;
- Ausübung sozialer Kontrolle.

In diesem Sinne hat das Nationale Sanitärsekretariat (SNS, 2021) eine Thematische Diagnose des Moduls Städtische Regenwasserentwässerung und -bewirtschaftung auf der Grundlage des Jahres 2020 erstellt, das unter Verwendung von Informationen und kommunalen Indikatoren durchgeführt wurde. Daher hebt der SNIS (2021) hervor:

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).



Diese Dienstleistungen sind vollständig mit der Wasserversorgung, der Abwasserentsorgung und der Stadtreinigung sowie der Abfallentsorgung verbunden. Eine effektive Entwässerung, Sammlung fester Abfälle (Müll) und Abwassersammlungs- und -behandlungssysteme verhindern, dass Regenwasser zu Vektoren für die Ausbreitung von Krankheiten sowie zur Verschmutzung von Wasserreserven wird, die sich an die Gesellschaft richten (SNIS, 2021). Deshalb:

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).

Das System weist auch darauf hin, dass derzeit Lösungen für eine nachhaltige Entwässerung (Streifen, Sickergräben), abflussdämpfende Infrastruktur (Stauseen oder Rückhalte- und Rückhaltebecken, Seen, Schwimmbäder) und lineare Parks (SNIS, 2021) Vorrang haben.

In dieser Argumentation ist bekannt, dass das Auffangen von Regenwasser für den nicht trinkbaren Verbrauch verwendet werden kann, durchgeführt durch die Rinnen, die das Wasser zu einem separaten Reservoir leiten, wo Abfall und Verunreinigungen beseitigt werden, eine Tatsache, die mit vereinheitlicht wird Planung und andere zuvor erwähnte notwendige Faktoren auf der Grundlage des SNIS, trägt zur Entwässerung öffentlicher Straßen bei und reduziert die Auswirkungen durch überschüssiges Regenwasser (REZENDE und TECEDOR, 2017).

2.3 REGENWASSERSAMMLUNG SYSTEME

Wassereinzugssysteme werden seit der Antike auf der ganzen Welt genutzt, und es gibt Aufzeichnungen über ihre Nutzung unter anderem durch Maya- und Inka-Zivilisationen. Auf diese Weise ist es das Auffangen von Regenwasser durch



Dachrinnen, Dächer oder andere Wege, dieses Wasser zu einem Reservoir zu leiten, das eine Zisterne oder andere Modalitäten davon sein kann, um seine nicht trinkbare Wiederverwendung zu ermöglichen (LUCAS, 2016).

So war das 21. Jahrhundert geprägt von der allgemeinen Einführung dieses Systems aufgrund des Bevölkerungswachstums, neben anderen finanziellen Aspekten, da dies Faktoren sind, die die Wassersicherheit beeinflussen. Bald wurde die Wiederverwendung dieser Wässer für den nicht trinkbaren Konsum bestimmt (LUCAS, 2016). In diesem Sinne der 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 m³/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).

Dennoch wird vom Autor erwähnt, dass der Hauptgrund für die Nutzung von Regenwasser aus dem genannten System für die Industrie darin besteht, nachhaltige Entwicklung mit der Reduzierung ihrer Kosten zu kombinieren (LUCAS, 2016).

In Bezug auf die Wiederverwendung von Regenwasser in Wohngebieten sind die Hauptvorteile für den Einsatz nachhaltiger Architektur der Erhalt der Umwelt, der Wirtschaftlichkeit, der Lebensqualität, des Geschäftsunterschieds, der Immobilienbewertung sowie einer höheren Benutzerzufriedenheit und Mitarbeiterproduktivität und schließlich der Entwicklung des Umweltbewusstseins (GUERRA, 2016).

Schließlich kann das Regenwassernutzungssystem durch das Dach erfolgen, das ein Teil des Gebäudes ist, das sich auf dem Dach befindet, um die bebauten Flächen vor Regen, Sonnenlicht und anderen Elementen zu schützen. Durch die Form der



Dachoberfläche ist es möglich, das Regenwasser, das für irgendeine Art von Sammlung bestimmt ist, zu leiten, sei es durch Gitter, Dachrinnen und andere (CARVALHO JÚNIOR, 2009).

3. MATERIALEN UND METHODEN

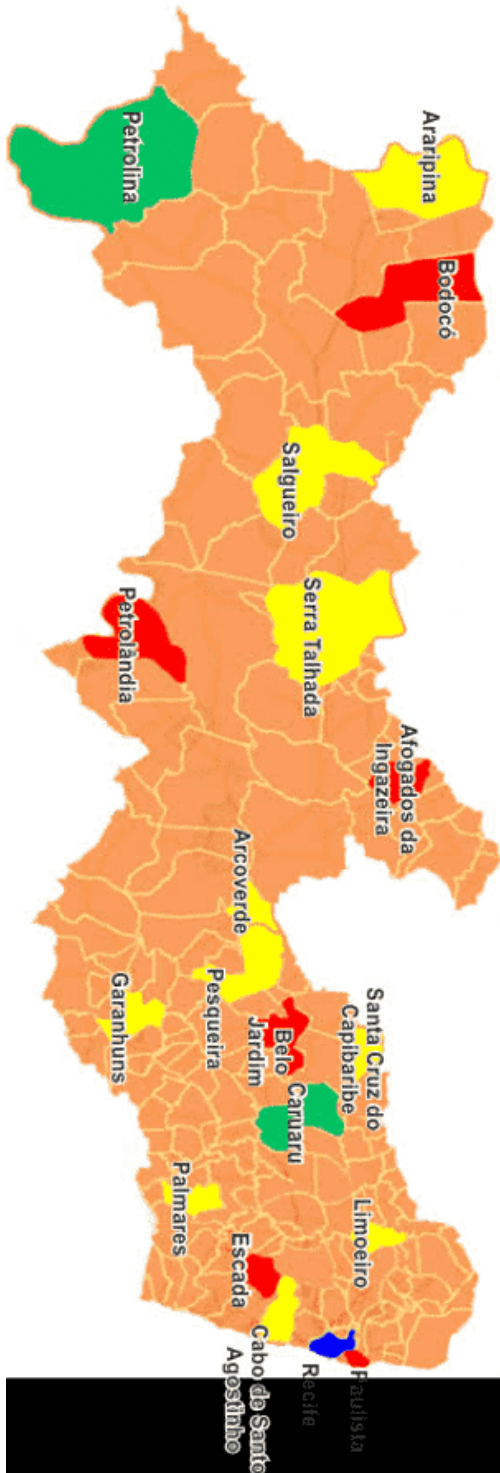
Die Forschung ist eine Fallstudie mit dem Zweck, einen Vorschlag für ein Regenwasser-Auffangsystem zu präsentieren, um die Wiederverwendung von Wasser bereitzustellen und die wirtschaftliche und ökologische Lebensfähigkeit des Systems zu bewerten.

Die bibliographische Übersicht bildete den theoretischen Rahmen dieser Forschung, die sich mit der Wasserverteilung in Brasilien, der Regenwassergewinnung und den Systemen der Regenwassergewinnung befasste. Als Parameter zur Durchführung der Dimensionierung von Regenwasser, Dachrinnen und Leitungen wurden die folgenden Normen verwendet: NBR 5626/2020 im Vergleich zur gleichen Norm NBR 5626 aus dem Jahr 1998, NBR 10844/1989, alle ABNT-Normen. Das Beispiel der Verwendung von Tabellen auf der offiziellen Website von Schneider Motobombas (2019) wurde auch für die Dimensionierung der Pumpen und die Forschung von Coutinho *et al.* (2010) verwendet, um die hydraulische Dimensionierung zu definieren.

3.1 STUDIENGEBIET

Bei der fraglichen Studie handelt es sich um ein Einfamilienwohnprojekt in der Stadt Pesqueira im Bundesstaat Pernambuco, wie in Abbildung 1 dargestellt. Es wurde in einer Software modelliert, die BIM-Technologie verwendet.

Abbildung 1: Standort des recherchierten Wohnorts

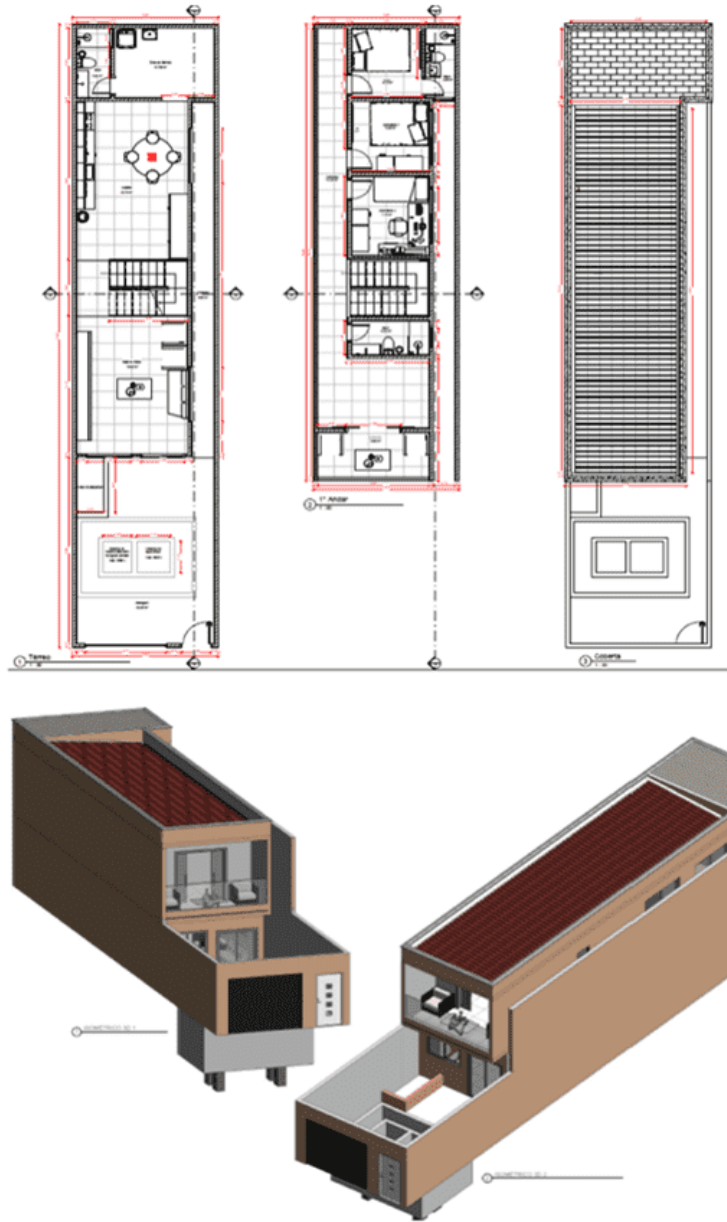


Quelle: CRC PE, 2020.

RC: 140690

Verfügbar in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/bauingenieurwesen/regenwassernutzung>

Abbildung 2 stellt das Wohnhaus dar, in dem das Regenwasserauffangsystem vorgeschlagen wurde. Es wurde in einer Software modelliert, die BIM-Technologie verwendet



Quelle: Der Autor, 2022.

RC: 140690

Verfügbar in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/bauingenieurwesen/regenwassernutzung>



3.2 METHODIK

Um das System zur Erfassung von Wasser aus lokalen Niederschlägen für nicht trinkbare Zwecke durchzuführen, müssen zunächst die notwendigen Werte für die Erfassung und Speicherung dieser Wassermenge gefunden werden. Dazu wurde eine Dimensionierung für Regenwassersystem, Kaltwasser und Pumpen durchgeführt, die alle den Kriterien der NBR 10844/1989, 5626/2020, 15527/2007 entsprechen.

Nach NBR 10844/1989 kann der Bemessungsdurchfluss durch Gleichung 1 ermittelt werden:

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

Mit dem Ziel, die Informationen zu homogenisieren, führten die Untersuchungen von Coutinho *et al.* (2010) Gleichungen intensiver Regenfälle für den Bundesstaat Pernambuco durch und zeigten somit die Gleichungen für mehrere Regionen des Bundesstaates, darunter auch für Pesqueira. Angesichts der Bedeutung von Gleichungen für Intensität, Dauer und Häufigkeit von Niederschlägen in Verbindung mit hydraulischen Projekten und städtischen, landwirtschaftlichen und sogar Autobahntwässerungen werden Projektganglinien von Hyetogrammen abhängig, die mit einer Wiederkehrperiode und einer bestimmten Dauer verbunden sind (COUTINHO *et al.*, 2010).

Daher wurde von den Autoren hervorgehoben, dass die Informationen über die Unbekannten i-d-f für viele Städte in Brasilien noch nicht existieren, wobei die vorhandenen Werte aufgrund der Realisierung ihrer Gleichungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten in unterschiedlichen Variationen unterliegen Methoden (COUTINHO *et al.*, 2010).



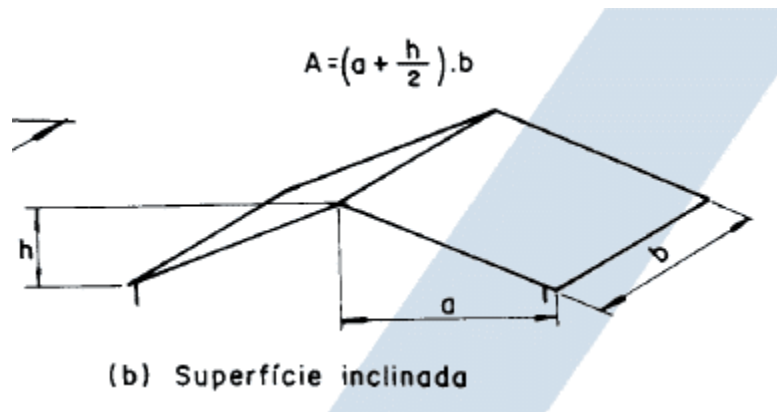
Die Niederschlagsintensität kann durch die Intensitäts-, Dauer- und Häufigkeitsgleichung (IDF) bestimmt werden. Gemäß Coutinho *et al.*, (2010) wird die IDF-Gleichung für die Fischerstadt durch Gleichung 2 dargestellt:

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

Daher schlägt Punkt 5.1.2 von NBR 10844/89 einige Werte für die Rückkehrzeit entsprechend den Anforderungen des Projekts vor, wobei T = 1 Jahr für befestigte Flächen, auf denen Pfützen toleriert werden können; T=5 Jahre für Dächer und/oder Terrassen; T= 25 Jahre für Dächer und Bereiche, in denen Staunässe oder Überschwemmungen nicht toleriert werden können. Für das betreffende Projekt wurde eine Amortisationszeit von 5 Jahren berücksichtigt.

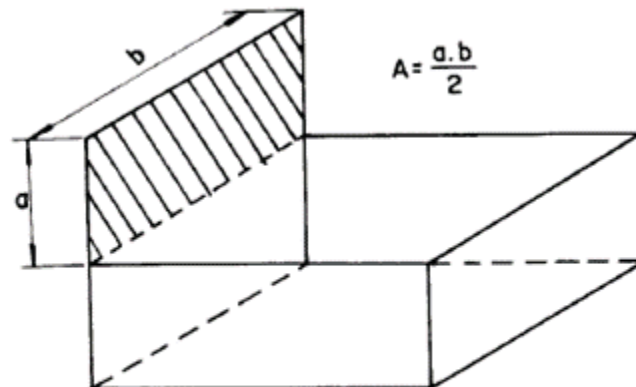
Punkt 5.1.3 der NBR 10844/89 legt fest, dass die Niederschlagszeit 5 Minuten betragen muss. NBR 10844/1989 stellt einige Möglichkeiten zur Abschätzung der Beitragsfläche in Abhängigkeit von der Entwurfsgeometrie vor. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Ausdrücke, die die Konfiguration des betreffenden Projekts darstellen.

Abbildung 3: Projektkonfiguration



Quelle: NBR 10844/1989.

Abbildung 4: Oberflächen



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

Quelle: NBR 10844/1989.

Mit dem gefundenen Durchfluss war es möglich, die Abmessungen der im Projekt verwendeten Rinne durch die als Gleichung 3 bezeichnete Manning-Strickler-Gleichung zu bestimmen:



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

Der Wert des Rauheitskoeffizienten (n) hängt von der Art des gewählten Materials ab. Tabelle 2 des Punktes 5.5.7.1 dieser Norm bestimmt den Wert des Rauheitskoeffizienten (n) in Abhängigkeit vom Material. Bei dem fraglichen Projekt wurde Kunststoffmaterial für die Rinnen verwendet, sodass der verwendete Rauheitskoeffizient gleich 0,011 war.

Die Bestimmung der senkrechten und waagerechten Leiter erfolgte mit dem Rinnenrechen mit scharfkantigem Abgang nach NBR 10844/1989 und Tabelle 4 ebenfalls nach NBR 10844/1989.

Für die Dimensionierung des Regenwasserspeichers wurde NBR 15527/2007 verwendet, der in seinem Anhang A einige Möglichkeiten vorschlägt, das Volumen des Speichers zu ermitteln. Das Volumen wurde nach der praktischen englischen Methode und der Methode von Azevedo Neto berechnet, wobei der niedrigste für das Projekt gefundene Wert angenommen wurde.

Die Gleichungen 4 und 5 drücken jeweils die praktische englische Methode und die Methode von Azevedo Neto aus.

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

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

Der durchschnittliche Niederschlag, der zur Berechnung der Reservoirvolumen benötigt wird, wurde anhand von Daten bestimmt, die von der *Pernambuco Water and Climate Agency (APAC)*[5] unter Bezugnahme auf die Niederschlagsstation 18 in der Stadt Pesqueira/PE bereitgestellt wurden.



Nach NBR 15527/2007 kann die Menge an nutzbarem Regenwasser durch Gleichung 6 bestimmt werden:

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

Wo:

V = Jahres-, Monats- oder Tagesvolumen

P = durchschnittlicher Jahres-, Monats- oder Tagesniederschlag

A = Sammelfläche (m²)

C = Dachabflusskoeffizient

η = Systemeffizienz erfassen

Der Abflussbeiwert hängt vom verwendeten Material ab und kann zwischen 0,8 und 0,9 variieren. Der verwendete Wert für die Effizienz des η-Capture-Systems wird von Tomaz (2003) empfohlen, wobei der Wert 0,9 angenommen wird.

Für die Dimensionierung des Kaltwasserspeichers legt NBR 5626/2020 mehrere Kriterien für die Ausführung der Speicher fest. Creder (1991) stellt Tabellen zur Verfügung, die bei der Auswahl der Variablen helfen, die zur Bestimmung der Kapazität des Reservoirs benötigt werden. Der tägliche Verbrauch kann durch Gleichung 7 ausgedrückt werden:

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

Behälter müssen gemäß NBR 5626/2020 über unabhängige Hebeseysteme verfügen. Für die Dimensionierung des Pumpsystems war es notwendig, den zu



messenden Durchfluss und die Förderhöhe zu ermitteln, um die erforderliche Leistung des Motor-Pumpen-Aggregats ermitteln zu können. Die Gleichungen 8, 9, 10, 11, 12, 13 und 14 drücken die Variablen aus, die zur Bestimmung der oben genannten Parameter benötigt werden:

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

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

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

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

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

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

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

3.2 WIRTSCHAFTLICHE UND UMWELTANALYSE

Zur Bestimmung der wirtschaftlichen und ökologischen Analyse der betreffenden Studie wurde die Rentabilität der Implementierung des Systems anhand der Entnahmemenge im Verhältnis zum Bedarf an Brauchwasser und der Einsparung bei der Zahlung des Tarifs an den zuständigen Konzessionär ermittelt.

Abbildung 5 zeigt die von Pernambuco Sanitärunternehmen (COMPESA)[6] in Rechnung gestellten Beträge nach der im Zeitraum von 1 Monat verbrauchten m³-Menge.



Abbildung 5 – COMPESA-Gebührenwerte nach monatlich verwendetem Volumen

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	↻

Fonte: COMPESA, 2022.

4. ERGEBNISSE

Die folgende Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse, die bei der Auslegung des Regenwassersystems erzielt wurden:

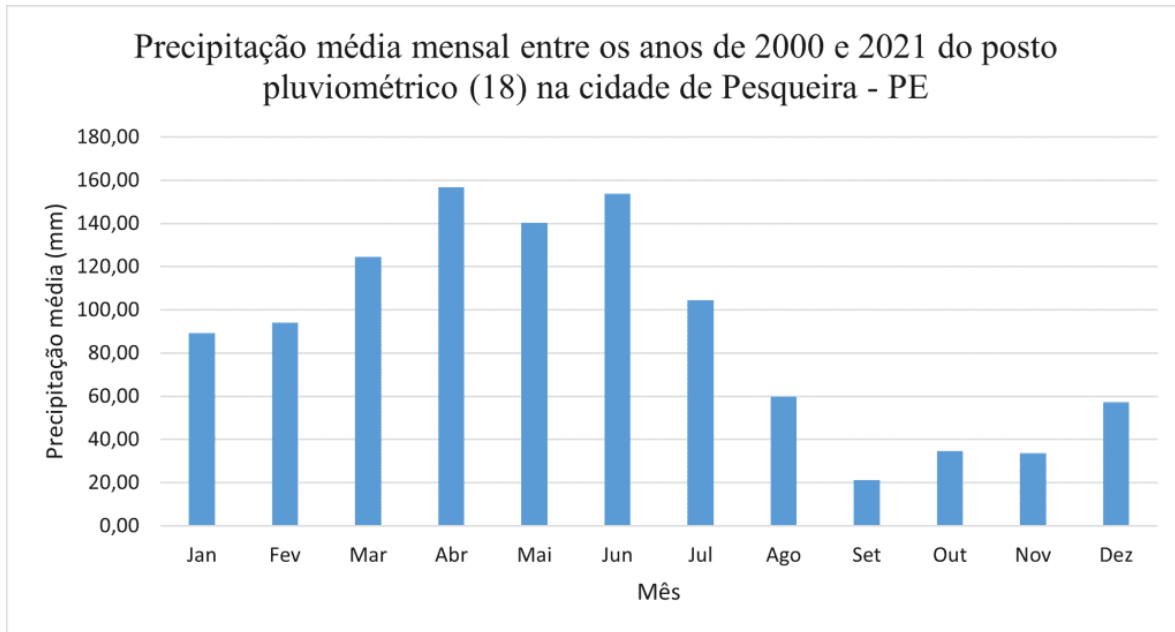
Tabelle 1: Dimensionierung von Dachrinnen und Leitern

Dimensionierung von Dachrinnen und Leitern	
Niederschlagsintensität (I) - mm/h	138,35
Beitragsfläche (A) - m ²	51,15
Projektfluss (Q) - L/min	117,95
Dachrinnenbasis (b) - cm	35
Rinnenhöhe (h) - cm	17,5
Wassertiefe (H) - mm	117
Vertikal DN - mm	75
Horizontal DN - mm	100
Quelle: Autor, 2022	

Um den durchschnittlichen Jahresniederschlag in der Stadt Pesqueira zu bestimmen, wurden die Niederschlagsüberwachungsaufzeichnungen der

Pernambuco Water and Climate Agency (APAC) der letzten 21 Jahre herangezogen. Grafik 1 zeigt die monatlich kumulierten Daten von Januar 2000 bis Dezember 2021:

Diagramm 1 - Monatlich aufgelaufen von 2000 bis 2021 in Pesqueira - PE



Quelle: Autor, 2022.

Wenn wir das arithmetische Mittel der Niederschlagswerte in der obigen Grafik berechnen, finden wir den Wert von 89,17 mm. Für die Bestimmung des Zeitraums mit wenig oder keinem Regen (T) der Azevedo-Neto-Methode wurde angenommen, dass der Zeitraum, in dem es wenig oder keinen Regen gab, 5 Monate (August, September, Oktober, November, Dezember) betrug, weil in diesen Monaten war der Niederschlag geringer als der gefundene Durchschnittswert. Tabelle 2 zeigt die Dimensionierung des Regenwasserreservoirs.



Tabelle 2 – Dimensionierung von Regenwasser

Dimensionierung des Regenwasserreservoirs	
Methode	Volumen (l)
Praktisches englisch	1454,26
Azevedo Neto	6107,89

Quelle: Autor, 2022.

Wenn wir den kleineren Wert zwischen den beiden Methoden wählen, können wir das Gesamtvolumen annähern zu:

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

Daher wurden die in der Literatur gefundenen Empfehlungen übernommen (CREDER, 1991) bezüglich:

- Unteres Reservoir: 60 % * Reservoirkapazität (Cr)
- Oberes Reservoir: 40 % * Reservoirkapazität (Cr)

Bald:

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

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

Wenn wir den Wert des oberen Reservoirs an das kommerziell nächstgelegene annähern, haben wir:

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

In Bezug auf das betreffende Projekt wurden die oben genannten Empfehlungen befolgt, auch wenn sie in der aktualisierten



Version von 2020 nicht explizit waren. Annahme, dass alle Abmessungen die gleiche Größe haben ($a = b = c$):

$$V = a^3$$

Wenn wir das Volumen der unteren Reservoirs ersetzen, haben wir:

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

Auch wenn diese Abmessungen den Versorgungsbedarf der Wohnung decken, wurde beobachtet, dass die Höhe einen geringen Wert hat, eine Tatsache, die die Installation des Pumpsystems erschweren kann. In diesem Sinne wurde die Höhe beider Reservoirs gleich 2 m angenommen, um eine bessere Ausführung der Pumpen zu erreichen. Deshalb:

Unteres Volumen = 2000 L

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

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

Zur Dimensionierung des Fassungsvermögens des Kaltwasserspeichers wurde die von Creder vorgeschlagene Tabelle verwendet, um den *per capita* Verbrauch der Wohnung abzuschätzen. Unter der Annahme, dass die Bevölkerung des Gebäudes 6 Einwohner und einen *per capita* Verbrauch von 200 L/Tag hat, können wir den täglichen Verbrauch der Wohnung ermitteln.



$$Cd = pop * q$$

$$Cd = 1200 \text{ L/Tag}$$

Die Literatur empfiehlt, dass die Speicherkapazität das Doppelte des verwendeten Tagesverbrauchs enthält, daher:

$$Cd = 2400 \text{ L/Tag}$$

Mit dem ermittelten Tagesverbrauch konnten die Volumina für Unter- und Oberbecken zugeordnet werden:

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

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

$$Cd = 1200 \text{ L/Tag}$$

Die Literatur empfiehlt, dass die Speicherkapazität das Doppelte des verwendeten Tagesverbrauchs enthält, daher:

$$Cd = 2400 \text{ L/Tag}$$

Mit dem ermittelten Tagesverbrauch konnten die Volumina für Unter- und Oberbecken zugeordnet werden:

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

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

$$V = a^3$$



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

Auch wenn diese Abmessungen den Versorgungsbedarf der Wohnung decken, wurde beobachtet, dass die Höhe einen geringen Wert hat, eine Tatsache, die die Installation des Pumpsystems erschweren kann. In diesem Sinne wurde die Höhe beider Reservoirs gleich 2 m angenommen, um eine bessere Ausführung der Pumpen zu erreichen. Deshalb:

Geringere Lautstärke= 2645 L

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

$c = 2 \text{ m}$

Nach der Dimensionierung der Becken muss die Pumpleistung berechnet werden, die erforderlich ist, um das Wasser zum oberen Becken zu heben. Gemäß NBR 5626/20 müssen die Abflusssysteme mindestens zwei Pumpen haben, die unabhängig voneinander arbeiten und das Phänomen der Kavitation vermeiden. Bei Gebäudeinstallationen kann der Wirkungsgrad des Motor-Pumpen-Aggregats zwischen 40 % und 75 % variieren. So stellt die Firma Schneider Bombas (2019) fest:

- Leistung bis 2CV – Ausbeute: 50%
- Leistung bis 12,5 PS – Ausbeute: 60 %
- Leistung größer als 12,5 CV - Ausbeute: 50 %

Der ideale Zeitraum für den Betrieb einer Pumpe variiert zwischen 4 Stunden und 6 Stunden. Im vorliegenden Projekt wurde eine Betriebszeit von 5 Stunden angenommen. Tabelle 3 enthält Bemessungswerte für beide Systeme, Regenwasser und Kaltwasser.

Tabelle 3 – Dimensionierung des Aufzugssystems

Größenvariable	Aufzugssystem			
	Regenwasser		Kaltes Wasser	
	Saugen	Repression	Saugen	Repression
Durchfluss (Q) - m ³ /h	2,4		2,4	
Austrittsdurchmesser (Dr) - mm	32	25	32	25
Saugdurchmesser (Ds) - mm	32	25	32	25
Tatsächliche Länge (L) - m	5,1673	23,532	5,5468	27,3092
Geometrische Höhe (h) – m	2	6,44	2	6,69
Äquivalente Länge (Le) – m	45,7	39,9	45,7	40,4
Druckverlust der Einheit (J) - m/m	0,005706	0,021	0,005706	0,019
Druckverlust (Δh) – m	0,29	1,34	0,3	1,29
Manometrische Höhe (Hmt) - m	2,29	7,78	2,3	7,98
Ausbeute (η) - %	50		50	
Leistung des Motorpumpenaggregats (P) - PS	0,074		0,076	

Quelle: Autor, 2022.

Aus dem Pumpenkatalog (SCHNEIDER, 2019) konnte die passende Pumpe für den Bedarf ermittelt werden. Die Wahl fiel auf das Modell BC-98 mit einer Leistung von 1/3 PS, das nicht nur leise ist, sondern auch den Anforderungen des Gebäudes gerecht wird.

Basierend auf den von Sanepar bereitgestellten Daten können wir den Bedarf für die täglichen Aktivitäten abschätzen. Tabelle 4 unten zeigt den geschätzten Verbrauch eines Hauses mit sechs Einwohnern.

Tabelle 4 – Wassernutzungsprofil

PROFIL DER WASSERVERWENDUNG IN DER HAUSWIRTSCHAFT FÜR SECHS PERSONEN			
Verwenden	Verbrauch für 1 Monat (L)	Verbrauch für 1 Tag (L)	per capita Verbrauch (L)



Zähne putzen (3 mal täglich pro Person)	180	6	1,5
Elektrisches Duschbad (5 Minuten, 1 Mal täglich für jede Person)	3600	120	30
Toilettenspülung (8 mal täglich)	3600	120	30
Geschirr spülen (3x täglich)	2700	90	22,5
Kleidung/Tank waschen (15 Minuten 3 Mal pro Woche)	2880	96	24
Wasser trinken	360	12	3
Essenszubereitung	900	30	7,5
Hausreinigung (1 Eimer pro Tag)	900	30	7,5
Gesamt	15120	504	126

Quelle: Adaptiert von Sanepar, 2020.

Laut Hespanhol (2012) kann für die Bewässerung von Gärten und das Waschen von Terrassen ein Verbrauch von 3 l/m² und 2 l/m² berücksichtigt werden. Aus den von Hespanhol vorgeschlagenen Werten und den Informationen in Tabelle 5 lässt sich der Wasserbedarf für die Reinigung und Pflege von Garage und Garten abschätzen, wenn man bedenkt, dass die Garage zweimal pro Woche gewaschen und der Garten bewässert wird 3 mal pro Woche, sowie die Nachfrage nach der Verwendung von hydraulischen Entladungen.

Tabelle 5 – Berechnung des Nichttrinkbedarfs

Nicht trinkbarer monatlicher Bedarf			
Parameter	Garage	Garten	Badezimmer
Fläche (m ²)	32,20	9,86	-
Wöchentliches Volumen (L)	128,78	88,76	900,00
Monatliches Volumen (l)	515,12	355,05	3600,00

Quelle: Autor, 2022.



Die zur Deckung des Nachnutzung Bedarfs benötigte Gesamtmenge ergibt sich aus der Summe der monatlichen Mengen, die dem Garten-, Garagen- und Abflussvolumen der Wohnung entsprechen.

Deshalb:

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

$$\text{Nachfrage} = 4470,17 \text{ L/mês}$$

Nachdem der erforderliche Wert für das Wiederverwendungsvolumen ermittelt und Gleichung 6 verwendet wurde, war es unter Berücksichtigung des Oberflächenabflusskoeffizienten C gleich 0,8 und eines Einzugsfaktors gleich η gleich 0,9, wie von Tomaz (2003) empfohlen, möglich, die wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte zu bewerten Realisierbarkeit des Projekts. Tabelle 6 zeigt die bei dieser Überprüfung erhaltenen Ergebnisse.

Tabelle 6 – Mögliche monatliche Finanzierung

Zeitraum (Monat)	Durchschnittlicher Niederschlag (mm)	Gesamtfläche (m ²)	Gesamtfläche (m ²) Notwendiger Bedarf (m ³)	Erfasstes Volumen (m ³)	Prozentsatz bedient (%)	Fehlender Prozentsatz (%)
Jan	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
Mee	124,60	47,57	4,48	4,27	95,26	4,74
Apr	156,71	47,57	4,48	5,37	119,81	-19,81
Dür	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
Agu	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
Okt	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
Dez	57,35	47,57	4,48	1,96	43,85	56,15

Quelle: Autor, 2022.

Aus der Analyse der Angaben in Tabelle 6 geht hervor, dass das Sammelsystem nur in den Monaten April, Mai und Juni den notwendigen Bedarf liefert. Gemäß Abbildung 5 beträgt die monatliche Gebühr für Haushalte mit einem Verbrauch von bis zu 10 m³ 50,50 R\$, was zu jährlichen Ausgaben von 606,00 R\$ führt. Da die gesammelte Wassermenge nur für drei Monate (April, Mai und Juni) reicht, reduziert sich der jährliche Wert um 151,50 R\$, was einer Einsparung von 25 % pro Jahr entspricht. Aus ökologischer Sicht trägt die Nutzung von Regenwasser zur Schonung und rationellen Nutzung von Ressourcen bei und mindert zunehmend die Auswirkungen der Knappheit.

5. SCHLUSSBETRACHTUNGEN

Die aktuelle Situation der brasilianischen Bevölkerung, entsprechend den Wasserkrisen in mehreren Städten in vielen brasilianischen Bundesstaaten, verlangt dringend nach nachhaltigen Maßnahmen, die Wasserressourcen erhalten und für zukünftige Generationen garantieren können. Angesichts dessen schlägt die Forschung Nachhaltigkeitsmaßnahmen vor, um die Wiederverwendung von Regenwasser so zu bewirken, dass die Umwelt profitiert und nicht noch mehr angegriffen wird.

Bei dem vorliegenden Projekt ging es um ein Regenwassersammelsystem, bei dem das Regenwasser vom Dach des Wohnhauses (Teil des Forschungsgegenstands) zu den Dachrinnen des Wohnhauses geleitet wird, die wiederum das Regenwasser ohne das System leiten in die sogenannte Straßenrinne geleitet werden, in einen eigens dafür angelegten Stausee.



Das in das Reservoir gefüllte Wasser wurde unter anderem für bestimmte nicht trinkbare Haushaltszwecke wie Spülen, Gärtnern, Waschen von Böden und Autos wiederverwendet. Auf diese Weise verhinderte die Wiederverwendung die Verschwendung von Regenwasser und trug auch dazu bei, Probleme wie Überschwemmungen auf den Straßen und andere negative Faktoren, die durch starke Regenfälle verursacht wurden, zu mildern.

Das Regenwassernutzungssystem ist ein interessanter Vorschlag, bei dem etwa 4,48 m³ Wasser eingespart wurden. Diese Einsparungen konnten jedoch nur in den Monaten April, Mai und Juni beobachtet werden, die die regenreichsten Monate der Region sind. Trotzdem gibt es eine Einsparung von 25 % des jährlich in den Tarifen des Konzessionärs (COMPESA) erhobenen Betrags, was das Projekt interessant macht, denn obwohl es im Vergleich zu den Anschaffungskosten mit den unteren Reservoirs und dem Pumpsystem nur einen kleinen Prozentsatz ausmacht, wird langfristig zu einer praktikablen Wahl, zusätzlich zum Nutzen der Umwelt.

In Anbetracht dessen, was aufgedeckt wurde, konnte als Antwort auf die Leitfrage dieser Untersuchung geschlussfolgert werden, dass in Bezug auf das Auffangen von Regenwasser durch das Dach des untersuchten Gebäudes sowohl Überschwemmungen als auch teilweise minimiert werden konnten die Verringerung des Verbrauchs von Trinkwasser, das vom Konzessionär bereitgestellt wird, wodurch das Projekt für die Stadt Pesqueira - PE wirtschaftlich und umweltverträglich wird.

VERWEISE

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. I.], 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.

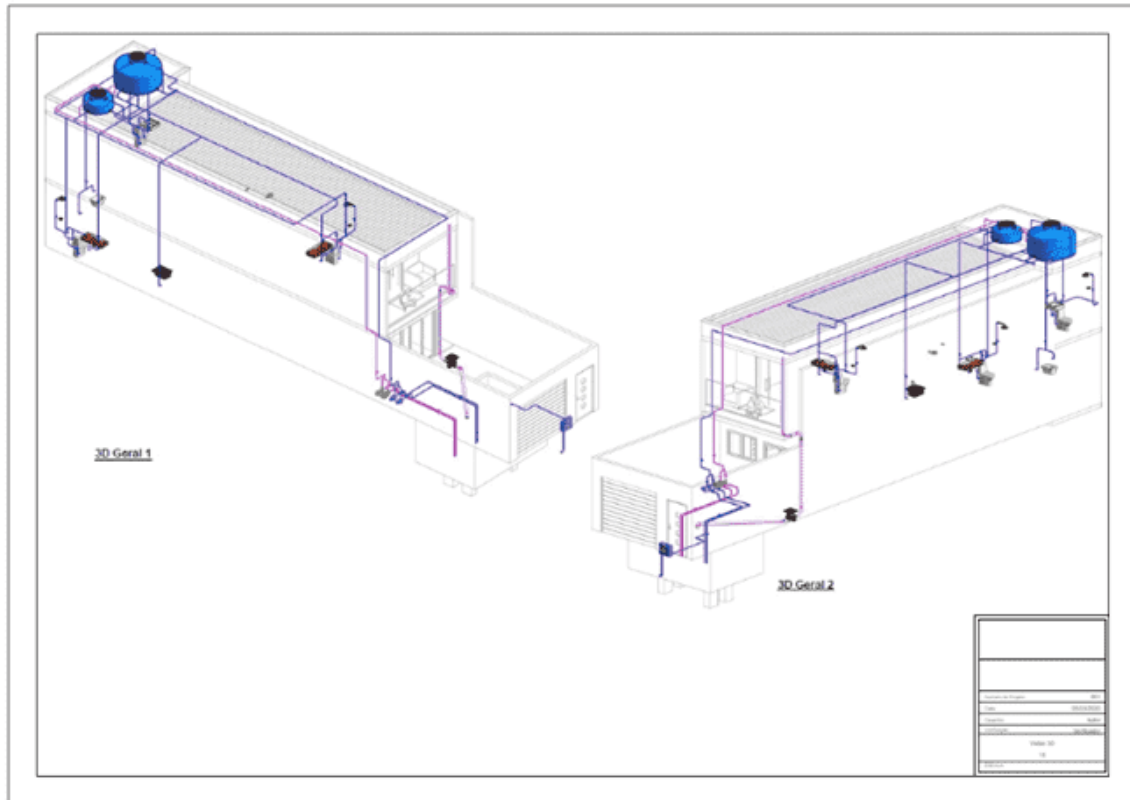
SILVA, Douglas dos Santos. **Análise da utilização de um sistema de reuso de águas pluviais e águas cinzas em uma edificação multifamiliar na cidade de Caruaru-PE.** Caruaru, 2019.

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

ANHÄNGE

Anhang A: 3D Hydrosanitary



ANHANG – FUßNOTE

3. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).
4. Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional (SNS/MDR).
5. Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).
6. Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).



Gesendet: Mai 2022.

Genehmigt: Mai 2022.

¹ Abschluss in Bauingenieurwesen. ORCID: 0000-0002-7445-1408.

² Master in Bau- und Umweltingenieurwesen. ORCID: 0000-0003-1496-6626.