

## IV-018 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DA ÁGUA COM O APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO HOSPITAL UNIVERSITARIO DA UFSCar, SÃO CARLOS – SP

**María Camila Perdomo Gaitán<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Javeriana de Bogotá – Colômbia. Mestranda em Engenharia Urbana na Universidade Federal de São Carlos (PPGEU/UFSCar) – Brasil.

**Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela UFMG, com Mestrado e Doutorado pela EESC/USP. Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil e do PPGEU/UFSCar - Brasil

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Oscar de Souza Geribelo, 64, – Jardim Santa Paula – São Carlos – São Paulo - CEP: 13564-031 - Brasil - Tel: +55 (16) 98271-0768 - e-mail: [mariacperdomo88@gmail.com](mailto:mariacperdomo88@gmail.com).

### RESUMO

O aproveitamento de água pluvial está sendo estimulado para diferentes fins, como fonte alternativa de abastecimento em regiões sujeitas ao estresse hídrico, como instrumento de sensibilização para o uso eficiente da água, e mais recentemente para a redução do risco de inundações em zonas urbanizadas, altamente impermeabilizadas. A implantação destes sistemas em edificações com altos consumos de água, como as não-residenciais, pode trazer grandes benefícios, tanto econômicos aos usuários, como ambientais para o entorno, já que a maior demanda é para usos que não requerem qualidades especiais da água. Este trabalho tem como objeto avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais como alternativa de abastecimento de água em edificações não residenciais, tendo como objeto de estudo o Hospital Universitário da Universidade Federal de São Carlos – SP (HU). A partir da água pluvial disponível e o consumo de água de abastecimento atual da edificação, foi determinada a relação oferta – demanda mensal do HU, a qual evidenciou um déficit de oferta nos meses de abril a setembro. No entanto, os meses restantes apresentam uma oferta até 2,3 vezes maior à demanda de água, o que significa um potencial da economia da água maior que a demanda anual. No entanto, o tamanho do reservatório para garantir o abastecimento durante todo o ano pode ser excessivo para a edificação, por isto foi determinada a relação oferta – demanda para os usos não potáveis externos e usos não potáveis internos e externos (65%), apresentando um melhor comportamento com um reservatório de tamanho muito inferior.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aproveitamento de água, águas pluviais, relação oferta-demanda, economia da água potável.

### INTRODUÇÃO

Dada a situação de insuficiência de água potável, em diferentes países no mundo, está sendo modificado o enfoque na prestação do serviço de abastecimento de água nas cidades. Isto levou a analisar a viabilidade da utilização de fontes alternativas como a dessalinização da água do mar, o reuso de água cinza e o aproveitamento da água pluvial (Mitchell et al. 2008). O aproveitamento de água de chuva tem sido uma solução mais interessante, devido a seu menor custo e funcionalidade dupla; já que além de reduzir o estresse hídrico nas fontes tradicionais de abastecimento, contribui para a atenuação das vazões e dos volumes coletados pelos sistemas de drenagem (Mitchell et al. 2008; Rostad, Foti, e Montalto 2016).

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) são geralmente adequados para qualquer tipo de edificação, podendo ser implantados desde a concepção dos projetos ou depois de construídas as edificações (Baptista, Nasimento, e Barraud 2015). A implantação destes sistemas em edificações com altos consumos de água, como as não-residenciais, pode trazer grandes benefícios, tanto econômicos aos usuários, como ambientais para o entorno, já que a maior demanda é para usos que não requerem qualidades especiais da água, tais como fluxos de sanitários, sistemas de refrigeração, irrigação e serviços de limpeza (Lawson et al. 2009).

A análise da viabilidade de implantação de um SAAP em edificações já existentes começa com a determinação da relação oferta – demanda. Por esta razão, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de redução do consumo

da água potável numa edificação institucional, com o aproveitamento de águas pluviais para seus diferentes usos, considerando as quantidades disponíveis a serem captadas e os consumos atuais de água de abastecimento.

## OBJETIVOS

Avaliar o potencial de economia da água consumida no Hospital Universitário da Universidade Federal de São Carlos – SP (HU) para fins potáveis e não potáveis em relação à oferta de água pluvial.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Avaliar a demanda de água na edificação e a classificação dos usos da água em potáveis e não potáveis.
- Definir a disponibilidade de água pluvial para o possível aproveitamento nos telhados do HU.
- Determinar o cenário ideal de aproveitamento de água chuva para o HU, em relação ao balanço oferta-demanda para os diferentes usos.

## METODOLOGIA

O desenvolvimento metodológico começa com o diagnóstico das instalações físicas do HU, a partir da consulta dos seus desenhos arquitetônicos e hidrosanitários, com intuito de definir as principais características físicas da edificação que influenciarão na implantação de um SAAP. Será o caso dos materiais e dimensões dos telhados e calhas, materiais e capacidade das redes de drenagem de águas chuva e redes de abastecimento de água.

Um dos pontos de partida desta pesquisa, consistiu na determinação da demanda de água no HU, para seus diferentes usos, potáveis e não potáveis. Os consumos totais de água são medidos diariamente pela administração do HU, mediante um hidrômetro na entrada de água ao reservatório de água potável. No entanto, estes valores não permitiram determinar diretamente os diferentes usos da água, portanto foi necessária a revisão das projeções iniciais do seu dimensionamento, e a análise dos dados estatísticos de usuários e serviços, com os quais identificaram-se os diversos usos da água no cenário atual e futuro.

Em seguida, realizou-se a análise da oferta hídrica, a partir dos dados históricos de precipitação medida pela estação pluviométrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em São Carlos, do período compreendido entre 1.970 e 2.016. A partir disso, foi possível obter os valores médios mensais disponíveis de água de chuva, em função das áreas de coleta correspondentes às coberturas do HU e mediante os princípios do Método Racional, com a adoção de coeficientes de escoamento adequados para cada tipo de cobertura. A oferta mensal de água pluvial no HU foi calculada pela multiplicação da área coberta, a chuva mensal e o coeficiente de escoamento.

Com a determinação da oferta da água pluvial disponível para ser aproveitada e a demanda do HU para seus diferentes usos, realizados nas etapas anteriores, foi possível desenvolver balanços hídricos, mediante o método de massas, com a simulação de diferentes cenários de consumo, da situação atual e futura do HU. Do mesmo modo, foi analisada a divisão da edificação em zonas de consumo, em relação à localização dos reservatórios existentes, distribuição das redes de drenagem existentes, sentido de escoamento dos telhados, e redes de distribuição. Assim, foi possível determinar o balanço ótimo, estabelecendo o potencial de economia da água potável no HU.

## RESULTADOS

Seguindo a metodologia proposta, foram obtidos os resultados aqui descritos, em relação à análise da demanda de água, usos, disponibilidade de água de chuva e o desenvolvimento de diferentes cenários de aproveitamento.

- **Caracterização da Edificação**

A área de estudo para o desenvolvimento deste trabalho é o Hospital Universitário “Prof. Dr. Horácio Carlos Panepucci” da Universidade Federal de São Carlos (HU), localizado na Rua Luiz Vaz de Camões, na cidade de São Carlos, SP, Brasil. A área total do terreno é de aproximadamente 36.600 m<sup>2</sup>, com aproximadamente

22.000 m<sup>2</sup> construídos, distribuídos em quatro blocos, como apresenta-se na Figura 1. O projeto previu no Bloco A, as atividades administrativas e de ensino; no Bloco B, a unidade de emergência, serviços de apoio diagnóstico, centro cirúrgico, centro obstétrico, UTI e central de esterilização; no Bloco C, unidades de internação; e no Bloco D, unidades de apoio e serviços gerais. O HU iniciou suas atividades em 2007, no entanto, por diferentes motivos, as obras e consequente expansão das atividades não foram ainda concluídas. Atualmente, encontra-se em funcionamento e concluído o bloco B e em processo de adequação o bloco C.



Figura 1 Imagem do HU com Numeração de Blocos.

Fonte: São Carlos em Rede, 2015

O projeto arquitetônico do HU foi feito pelo arquiteto João da Gama Filgueiras Lima, com um desenho especial a fim de ter um melhor conforto em iluminação e ventilação dentro da edificação, com a captação do ar fresco no piso técnico, introduzidos nos ambientes e extraído pelas aberturas no telhado (Figura 2). Deste modo, a captação das águas escoadas sobre os telhados tem uma configuração especial (Figura 3) em relação ao sentido do escoamento de cada telhado.

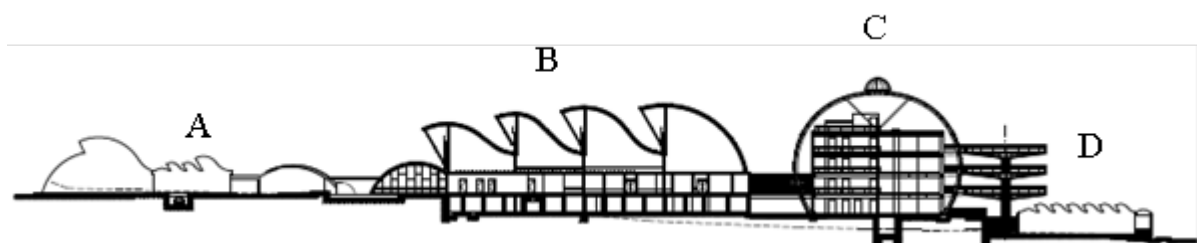


Figura 2 Corte geral do HU.

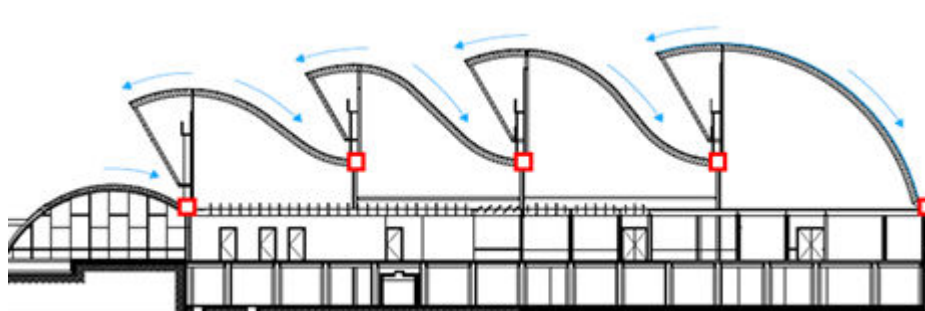


Figura 3 Configuração drenagem dos telhados.

O telhado encontra-se construído com telha ondulada convencional de chapa de aço zincada e rufo com beiral de chapa de aço galvanizada, pré-pintadas na cor branca. Do mesmo modo, as calhas de drenagem são de forma retangular, com revestimento interno, também, em aço galvanizado e pré-pintado na cor branca. A Tabela 1 apresenta as potenciais áreas dos telhados de cada bloco construído.

**Tabela 1: Áreas Telhados por Blocos.**

Bloco	Área
A	1.178
B	9.360
C	3.241
D	3.953
Total	17.731

Ao longo da frente do bloco B se encontra construído um jardim de água integrado às áreas de estar; projetado com o objetivo de equilibrar os baixos níveis de umidade, característicos da cidade (Lima 2012). A área do espelho de água é de 1.464 m<sup>2</sup> com uma altura de 0,60 m, e um volume de 878 m<sup>3</sup> de água.

- **Demanda de Água**

A partir dos consumos registrados no HU diariamente desde o mês de novembro do ano 2015, tem-se um valor aproximado de consumo de um ano para a análise inicial da demanda mensal de água. No entanto, estes dados apresentam uma grande variabilidade, a qual se deve a diferentes problemas estruturais que sofreu o espelho da água. A Tabela 2 apresenta os consumos médios diários e mensais determinados para usos internos e externos.

**Tabela 2 Consumo médio diário por mês e total para usos internos.**

Mês	Usos Internos		Usos Externos		Total
	Média Diária Mensal (m <sup>3</sup> )	Total Mensal (m <sup>3</sup> )	Média Diária Mensal (m <sup>3</sup> )	Total Mensal (m <sup>3</sup> )	
Janeiro	20,07	622,07	46,20	1.432,33	2.054,40
Fevereiro	28,61	829,73	43,46	1.260,22	2.089,95
Março	27,14	841,31	2,82	87,44	928,75
Abril	39,17	1.175,00	28,97	869,00	2.044,00
Mai	34,15	1.058,77	14,20	440,23	1.499,00
Junho	20,69	620,77	8,27	248,23	869,00
Julho	21,82	676,40	7,04	218,26	894,67
Agosto	16,25	503,87	9,24	286,46	790,33
Setembro	19,15	574,62	25,65	769,38	1.344,00
Outubro	18,04	559,29	8,28	256,71	816,00
Novembro	19,04	571,25	8,76	262,75	834,00
Dezembro	29,31	908,69	45,43	1408,31	2.317,00
Total Anual		8.941,76		7.539,34	16.481,10

A partir da informação disponível no HU foi encontrado que não se tem conhecimento da distribuição dos usos e consumos da água. Desta forma foi necessário realizar uma análise detalhada dos dados de consumo totais do ano 2016, em relação às estatísticas de atendimentos, funcionários e refeições do mesmo ano. Seguido da execução de um inventário de aparatos hidráulicos da edificação, foi possível estabelecer consumos médios para cada uso interno, como apresenta a Tabela 3.

**Tabela 3 Porcentagem de consumo médio mensal por uso interno no HU.**

Tipo de Uso	Consumo (m <sup>3</sup> /mês)	Uso (%)
Duchas	23	3%
Torneiras	217	29%
Cozinha	58	8%
Bacias sanitárias	249	33%
Mictórios	15	2%
Outros usos	183	25%
Usos Potáveis	481	65%
Usos não Potáveis	264	35%

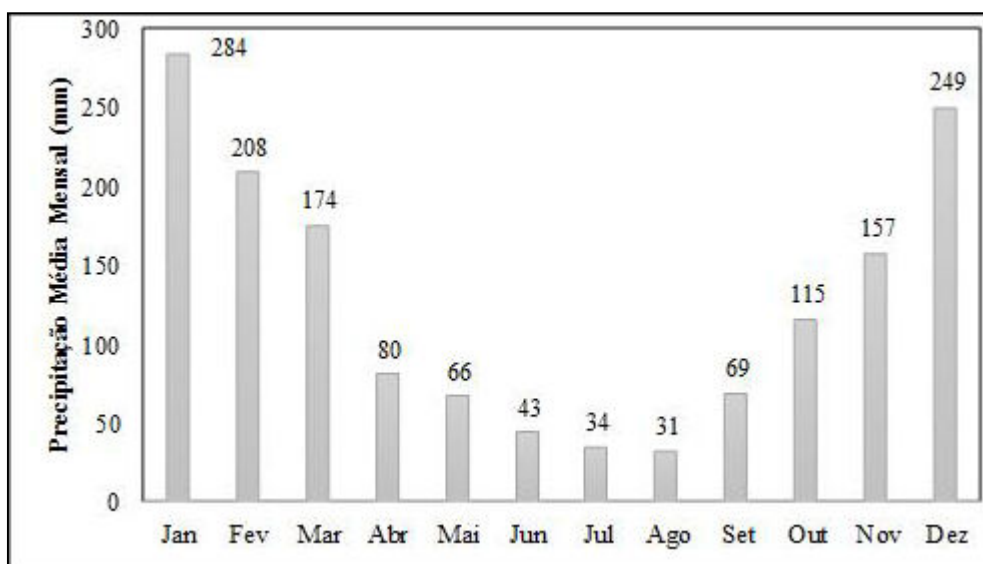
Assim foram estimadas as porcentagens de cada tipo de uso na edificação. O consumo de água potável é 65% do consumo interno, considerando como usos não potáveis a demanda de vasos sanitários e mictórios. Dado que segundo as normas e requerimentos de qualidade da água para usos não potáveis internos de edificações, os consumos foram classificados como apresenta a Tabela 4.

**Tabela 4 Porcentagem de consumo médio mensal por usos totais no HU.**

Tipo de Uso	Consumo (m <sup>3</sup> /mês)	(%)
Potáveis Interiores	481	35%
Não Potáveis Interiores	264	19%
Usos Exteriores	628	46%
Total	1.373	

- **Disponibilidade de Águas Pluviais**

Depois do cálculo da demanda, realizou-se a estimativa da oferta hídrica, por meio da obtenção e análise dos dados históricos de precipitação medidos pela estação pluviométrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em São Carlos, no período compreendido entre 1.970 e 2.016. Com base nestes dados, foram calculadas as médias históricas mensais para o período de dados analisados, sendo os valores expressos em mm, equivalentes a litros por metro quadrado (Figura 4).



**Figura 4 Precipitação média mensal de São Carlos entre 1.970 e 2.016.**

Do mesmo modo, partindo dos princípios do Método Racional, se determinou o coeficiente de escoamento superficial para as potenciais áreas de captação, em 0,80, segundo recomendações da NBR 15.527 (ABNT 2007). Assim, foram calculados os diferentes volumes de água disponíveis para aproveitamento nos diferentes cenários, a fim de analisar os comportamentos oferta-demanda no HU, sendo o cenário de maior disponibilidade, a captação na totalidade dos telhados.

- **Balanco Hídrico**

A análise inicial de economia da água foi feita mediante a construção de balanços de massas, para diferentes cenários de consumo, obtidos da relação oferta – demanda mensal para cada um destes. Os cenários definidos analisados foram:

- Cenário 1: aproveitamento da água pluvial para o abastecimento de 100% dos usos, por meio da coleta da área total dos telhados do HU.
- Cenário 2: aproveitamento da água pluvial para o abastecimento dos usos externos (não potáveis), por meio da coleta da área total dos telhados do HU.
- Cenário 3: aproveitamento da água pluvial para o abastecimento dos usos não potáveis, internos e externos, por meio da coleta da área total dos telhados do HU.

### Cenário 1

Este cenário pretende atingir a demanda total atual do HU para todos os usos, potáveis e não potáveis. Como ponto de partida, esta análise representou o cenário máximo de demanda e oferta; no entanto é necessário considerar a topografia da edificação para captar a totalidade da água escoada nos telhados.

O resultado da análise demonstrou que durante seis meses do ano, a oferta supera a demanda, podendo alcançar até mais de duas vezes o consumo registrado, como ilustra a Figura 5. Além disto, nos meses restantes, o déficit estimado ficou entre 27% e 46%. Por conseguinte, foi desenvolvida a relação de oferta e demanda acumulada no ano, da qual se determinou que a oferta total anual de 21.441 m<sup>3</sup> é superior que a demanda anual acumulada de 16.481 m<sup>3</sup>. Portanto, a oferta poderia ser atendida em totalidade, com um volume de armazenamento adequado.

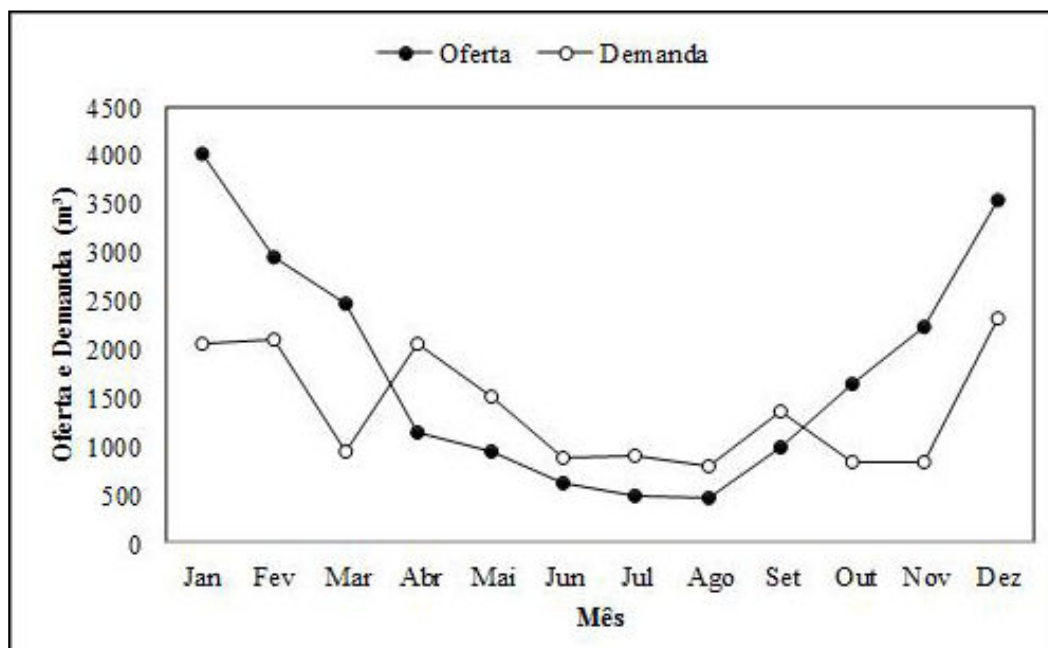


Figura 5 Relação oferta – demanda mensal para cenário 1.

### Cenário 2

Este cenário busca atingir a demanda para usos externos o que representa o 46% do consumo total do HU (Tabela 4), com captação na totalidade dos telhados. Esta análise foi realizada, dado que a qualidade da água de chuva é um parâmetro importante para seu aproveitamento, sendo que para os usos externos estes parâmetros são menos restritivos.

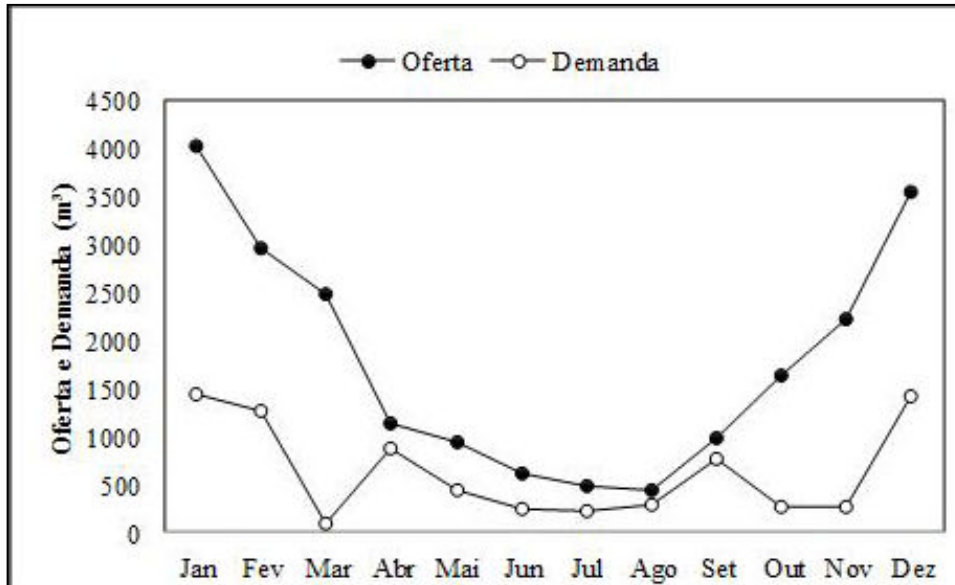


Figura 6 Relação oferta – demanda mensal para cenário 2.

A análise deste cenário mostrou que durante todo o ano, a demanda externa de água da edificação, pode ser abastecida pela oferta, como o ilustra a Figura 6. Deste modo, só é preciso dimensionar um reservatório para garantir a demanda, com uma modelação diária de oferta – demanda.

### Cenário 3

Considerando a disponibilidade adicional de água do Cenário 2, este foi considerado para atender a totalidade dos usos não potáveis, incluídos os usos internos e externos da edificação. Este consumo (Tabela 4) representa 65% do consumo total do HU.

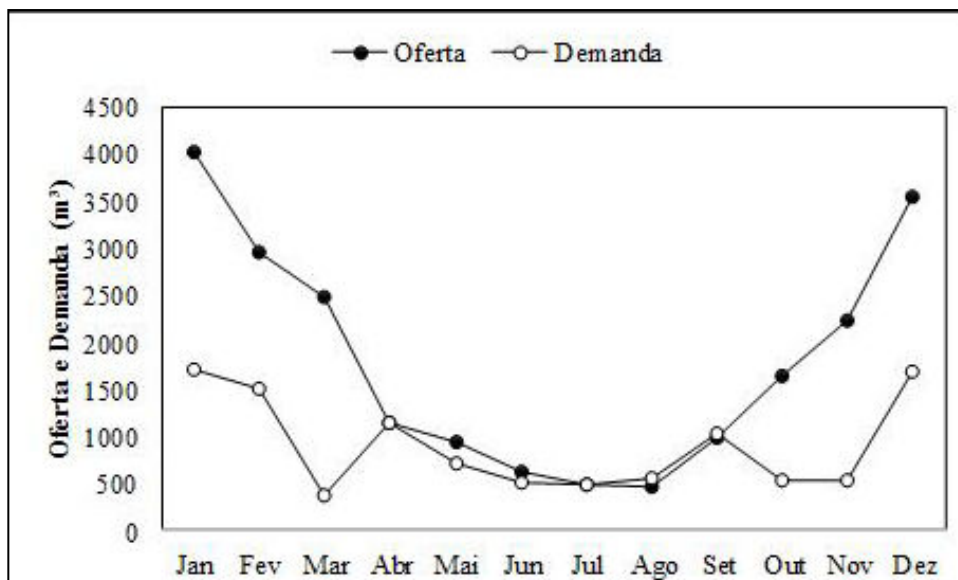
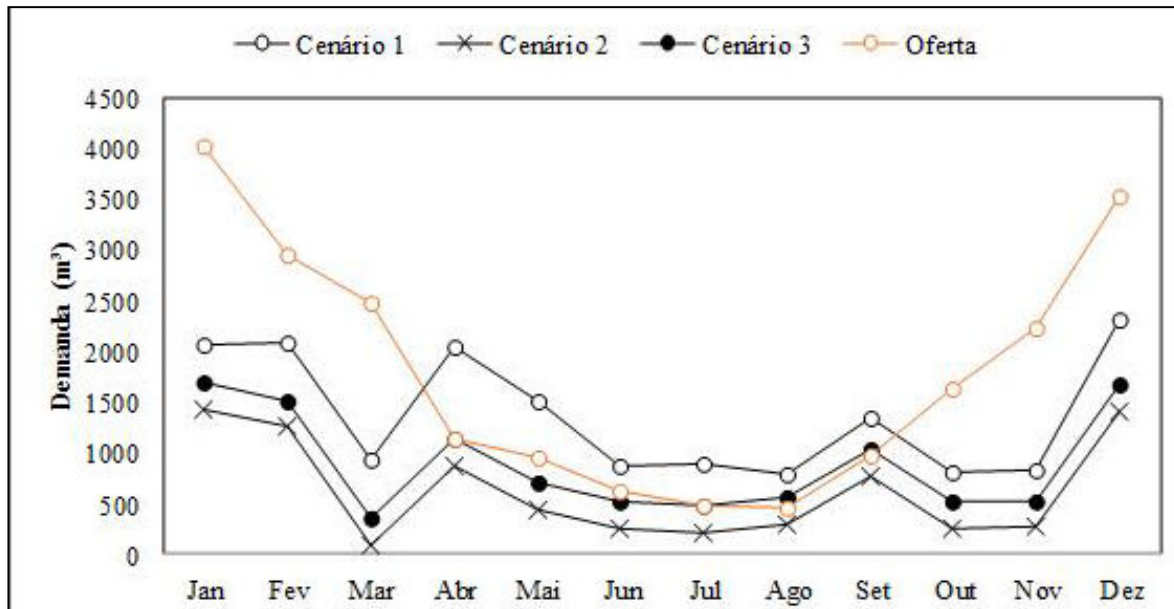


Figura 7 Relação oferta – demanda mensal para cenário 3.

A análise deste cenário permitiu determinar que, durante 9 meses do ano, a demanda dos usos não potáveis pode ser atendida pela oferta de águas chuvas, como se ilustra na Figura 7. O déficit na oferta encontra-se nos meses de julho a setembro, aproximadamente 170 m<sup>3</sup>, o qual poderia ser atendido com o reservatório dimensionado para atender a demanda diária.

A Figura 8 apresenta consolidados os três cenários de consumo e a oferta pluvial disponível mensalmente.



**Figura 8 Diferentes cenários de consumo e oferta de água pluvial.**

É importante destacar que as áreas dos telhados não se encontram no mesmo nível, como apresenta a Figura 2, dadas as condições iniciais do prédio. Assim, os sistemas de coleta e de transporte e a localização do reservatório têm que estar em conformidade com esta disposição para o aproveitamento da água escoada em parte do bloco C e no bloco D. Deste modo, embora esta opção possa ser considerada tecnicamente viável, os requerimentos de infraestrutura podem torná-la economicamente inviável.

Além do balanço hídrico se realizou o dimensionamento dos reservatórios necessários para armazenar os volumes de água pluvial requeridos para atingir a demanda calculada para cada cenário. Para este fim, foram usados os seis métodos de dimensionamento propostos na NBR 15.527. Os dados considerados para a aplicação dos métodos são os mesmos dos balanços de massas feitos para cada cenário de oferta e demanda. Além dos dados anteriores, foi preciso determinar o número de meses com pouca chuva ou seca, para a aplicação do método Azevedo Neto. Com base na análise dos métodos feita por Forgiarini Rupp, Munarim, e Ghisi (2011), foram considerados os meses com precipitação menor ou igual a 80% da média mensal; estimados entre os meses de abril e setembro.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos dimensionamentos dos reservatórios de água pluvial calculados pelos diferentes métodos apresentados na NBR 15527 (ABNT, 2007), bem como seus percentuais de confiança, determinados como a porcentagem de dias ou meses abastecidos em 100% da demanda.

Como se pode observar, o volume calculado nos métodos Rippl Mensal, Simulação Mensal e Diário apresentam valores muito similares. O método Prático Australiano avaliado mensal e diariamente permitem segundo a NBR 15.724 um percentagem de confiança entre 90% e 100% e também considera o descarte dos primeiros 2 mm de chuva, do mesmo modo a avaliação diária por meio deste método permite um aproveitamento máximo de 12.144 m<sup>3</sup>. Por esta razão apresenta menor potencial de economia para volumes maiores de reservatório. Por sua vez, o método Prático Alemão varia o tamanho em relação à demanda total anual, mas não atende percentagens significativas da demanda máxima e permite um maior percentagem de economia de água para o Cenário 1 de consumo, mas sobre dimensionamento nos cenários restantes.



**Tabela 5 Capacidades dos reservatórios dimensionados pelos diferentes métodos para os três cenários de consumo.**

Método	Cenário 1		Cenário 3		Cenário 2	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Economia (%)	Volume (m <sup>3</sup> )	Economia (%)	Volume (m <sup>3</sup> )	Economia (%)
Rippl Mensal	2.845	100%	168	65%	0	46%
Rippl Diário	3.110	100%	912	65%	277	46%
Simulação Mensal	3.000	100%	170	65%	0	46%
Simulação Diário	2.800	100%	220	65%	60	46%
Azevedo Neto	6.754	100%	6.754	46%	6.754	65%
Prático Alemão	989	89%	643	65%	452	46%
Prático Inglês	1.340	91%	1.340	65%	1.340	46%
Prático Australiano Mensal	2.800	92%	200	65%	0	46%
Prático Australiano Diário	3.000	61%	2.500	60%	1.200	42%

## CONCLUSÕES

Na caracterização da edificação foi possível determinar condições aptas para a implantação de um SAAP. Esta conta com uma grande área de telhados que permite a captação e coleta de água de chuva, por meio de calhas e condutos verticais de possível interceptação para um reservatório. Além disso, o HU tem um piso técnico, destinado a instalações e sistema de ventilação, onde se encontram construídos os reservatórios de água potável e incêndios, e o sistema de resfriamento, com espaço suficiente para a construção de um possível reservatório de águas pluviais e instalações de tratamento e bombeamento.

Foi possível estabelecer que o HU consome aproximadamente 1.400 m<sup>3</sup> de água ao mês e 16.500 m<sup>3</sup> anualmente. Assim mesmo, foram determinados os diferentes usos da água na edificação, sendo que 35% do consumo total é para fins potáveis, como limpeza pessoal, preparação de alimentos e equipamentos médicos. Enquanto que os usos não potáveis representam 65% do consumo total, como descargas de vasos sanitários e mictórios, limpeza e manutenção do espelho de água e limpeza. Devido aos problemas estruturais do espelho de água, o HU gastou 6.410 m<sup>3</sup> no ano 2016, o que é um valor exagerado para sua finalidade.

Por enquanto, os resultados da análises do balanço hídrico mostram que a água pluvial possivelmente captada na totalidade dos telhados é suficiente para abastecer a totalidade da demanda atual do HU, no entanto o tamanho do reservatório é excessivo. Deste modo, foram analisados os cenários adicionais de consumo, encontrando-se que o Cenário 3, abastecimento de 65% da demanda total equivalente aos usos não potáveis, só requer a implantação de um reservatório de 170 m<sup>3</sup>, identificando um potencial significativo de economia de água potável na edificação sem requerimentos de infraestrutura para um reservatório de grande porte.

A economia da água depende da relação entre a disponibilidade hídrica e a qualidade exigida para cada aplicação, de modo na próxima etapa da pesquisa, se realizará uma avaliação da qualidade da água de escoamento superficial direto nos telhados do HU. Deste modo, se espera determinar os usos da água bruta e a necessidade de tratamento para seus diferentes usos. Com esta análise se espera realizar um ajuste aos balanços de massas já realizados para chegar ao cenário ideal de aproveitamento de água de chuva para o HU.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. 2007. *NBR 15.527. Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos*. Brasil.
2. Baptista, Márcio, Nilo Nasimento, e Sylvie Barraud. 2015. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. 2a ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
3. Forgiarini Rupp, Ricardo, Ulisses Munarim, e Enedir Ghisi. 2011. "Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial". In *Ambiente Construído*, 47-64. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

4. Lawson, Sarah, Adrienne LaBranche-Tuker, Hans Otto-Wack, Rick Hall, Benjamin Sojka, Ed Crawford, David Crawford, e Cabell Brand. 2009. *Virginia Rainwater Harvesting Manual*. Virginia.
5. Lima, João Filgueiras. 2012. *Arquitetura - Uma Experiência na Área da Saúde*. Romano Neg. São Paulo.
6. Mitchell, V. G., D. T. McCarthy, A. Deletic, e T. D. Fletcher. 2008. “Urban stormwater harvesting - sensitivity of a storage behaviour model”. *Environmental Modelling and Software* 23 (6): 782–93. doi:10.1016/j.envsoft.2007.09.006.
7. Rostad, Nathan, Romano Foti, e Franco A. Montalto. 2016. “Harvesting rooftop runoff to flush toilets: Drawing conclusions from four major U.S. cities”. *Resources, Conservation and Recycling* 108. Elsevier B.V.: 97–106. doi:10.1016/j.resconrec.2016.01.009.