

IX-088 - BALANÇO HÍDRICO E ENERGÉTICO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA**Aline Chieka Jo⁽¹⁾**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (2008). Mestre em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP).

José Euclides Stipp Paterniani

Engenheiro Civil, Mestrado e Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Professor Titular na área de Qualidade da Água da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Professor credenciado no Programa de Pós-Graduação da FEC/UNICAMP.

Wolney Castilho Alves

Engenheiro Civil e Sanitarista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP (1983); MPhil (1990) e PhD (1997) pela Heriot-Watt University, Edimburgo, Escócia. Pesquisador responsável pela Seção de Saneamento do Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento, Centro de Tecnologia do Ambiente Construído do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/CETAC/LIP). Professor do Mestrado em Tecnologias Ambientais e em Habitação do IPT.

Luciano Zanella

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP (1995). Mestre em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela UNICAMP (1999). Doutorado em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela UNICAMP. Pesquisador da Seção de Saneamento do Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento, Centro de Tecnologia do Ambiente Construído do IPT. Professor do Mestrado em Tecnologias Ambientais e em Habitação do IPT.

Wérica Cardoso Soares

Bacharel em Química pela Faculdade de São Bernardo do Campo, (FASB) (2009). Técnica em Química pela Escola SENAI Mario Amato, São Bernardo do Campo (2005).

Endereço⁽¹⁾: Rua Domingos Augusto Setti, Nº 21 Apto 23 - Vila Mariana - São Paulo - SP - CEP: 04116-070 - Brasil - Tel: +55 (11) 5081-3181 - e-mail: aline.jo@gmail.com

RESUMO

A adoção do aproveitamento de água de chuva é importante componente de programas de conservação de água que explora o conceito de substituição de fontes. À água consumida no meio urbano se associa o consumo de energia elétrica, recurso natural cuja conservação também é essencial. A adoção de sistemas de aproveitamento de água de chuva é abordada no presente artigo levando em conta os recursos água e energia, segundo contextos particulares de aplicação em edificações urbanas. Foi desenvolvido modelo teórico que permite realizar o balanço hídrico e energético de um sistema de aproveitamento de água de chuva. A aplicação do modelo à instalação piloto de aproveitamento de água de chuva situada no *campus* do IPT, em São Paulo, permitiu a análise das características de funcionamento e de eficiência do sistema. São apresentados índices de avaliação sob a ótica volumétrica que mostraram o destacado papel dos componentes empregados na eficiência do sistema, especialmente devida à perda de águas de chuva contribuindo para o montante total de volumes não aproveitados. Filtros de material grosseiro empregados no sistema piloto do IPT mostraram índices de ineficiência de aproveitamento quantitativo muito alto. No que se refere à sustentabilidade de edificações prediais o binômio água & energia foi abordado. Incidência média de 3,17 kWh de energia elétrica para cada metro cúbico de água de chuva efetivamente aproveitada pelo sistema foi calculado a partir dos dados do balanço hídrico-energético. O índice líquido de consumo energético (ILE) de 3,17 kWh/m³ é alto comparativamente a indicadores semelhantes obtidos em instalações de aproveitamento de água de chuva no Brasil. A aplicação do modelo ao sistema piloto do IPT mostrou que o índice é sensível às características da instalação. Mostrou-se particularmente significativa a incidência da energia quando o sistema requer bombeamento de água. No caso da aplicação no IPT o índice cai para 0,14 kWh/m³ se a energia aportada para desinfecção não for considerada. Conclui-se que o modelo teórico baseado no balanço hídrico e energético é um ferramental importante para a avaliação da eficiência de sistemas a serem implantados. O uso do modelo permitiu verificar que a tecnologia explorada pelos componentes e equipamentos dos sistemas de aproveitamento de água de chuva tem peso significativo na eficiência do sistema quanto ao índice líquido de consumo energético (ILE) que mede à incidência de energia sobre o volume de água efetivamente aproveitado.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço hídrico e energético, Sistemas de aproveitamento de água de chuva, água e energia.

INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população, concentrada principalmente em grandes aglomerados urbanos, a diversificação e intensificação das atividades antrópicas e a forte expansão econômica vêm elevando a demanda de água de forma significativa, impondo pressões cada vez mais severas aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. A geração de águas residuárias associada corresponde, em geral, à degradação de mananciais superficiais e subterrâneos sujeitos a receberem volumes crescentes de despejos nem sempre em qualidade compatível com a capacidade de assimilação.

Esse estresse hídrico decorrente do aumento da demanda e da modificação da qualidade da água devido à poluição dos mananciais exige a busca de fontes cada vez mais distantes dos grandes centros, seja no intuito da obtenção de melhor qualidade, seja pela necessidade de maiores volumes para o suprimento das necessidades de consumo, implicando na execução de obras de grande porte e no incremento no uso de energia para o tratamento e transporte de água de locais mais distantes e/ou mais profundos.

Essa energia necessária para mover a água através dos sistemas municipais representa quase que a totalidade do consumo energético direto de um sistema de abastecimento de água. Cada litro de água consumido ou desperdiçado também representa um consumo específico de energia (GONÇALVES *et al.*, 2009).

Visto que o consumo de energia elétrica apresenta relação direta com as quantidades de água, fica evidente a necessidade do planejamento conjunto de programas de conservação de água e energia para a obtenção de um impacto positivo mais integrado. Esses programas podem ser aplicáveis em diferentes escalas: em edificações isoladas ou em conjuntos, bairros, municípios, microbacias, microrregiões, bacias hidrográficas, mesorregiões, etc. Quanto maior a escala, usualmente mais complexas as interações entre consumo de água e consumo de energia e mais abrangentes os resultados globais.

As mensurações necessárias ao estabelecimento de balanço hídrico e energético foram adotadas para avaliação de uma experiência de substituição de fonte: a utilização de recursos hídricos provenientes de uma fonte alternativa - água da chuva diretamente captada - em substituição às fontes existentes - água potável obtida da concessionária de serviços de saneamento - em usos não potáveis, ou seja, onde o padrão necessário para a qualidade da água seja menos exigente que o da água do sistema público de abastecimento.

A execução desse estudo foi baseada no modelo teórico de balanço hídrico e energético de sistemas de aproveitamento de água de chuva desenvolvido por Jo (2011), no qual foram identificadas e equacionadas as principais variáveis de oferta e demanda de água e energia de um sistema e correspondentes grandezas e unidades associadas. O modelo desenvolvido permite a adequação do procedimento de cálculo segundo as características próprias do sistema objeto de análise.

Com os resultados obtidos pelo emprego do modelo teórico, calculou-se o valor da incidência de energia no aproveitamento e avaliou-se a eficiência de um sistema predial de captação e aproveitamento de água de chuva.

OBJETIVO

O presente artigo tem por objetivo apresentar índices de eficiência de sistema predial de aproveitamento de água de chuva tendo como base os resultados de balanço hídrico e energético aplicado ao sistema.

METODOLOGIA

O objeto de avaliação utilizado no presente trabalho é a instalação experimental de aproveitamento de água de chuva do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) situado na região oeste do município de São Paulo, na Cidade Universitária da USP.

A Figura 1 demonstra o fluxograma físico do sistema de aproveitamento de água de chuva em questão e a Figura 2 apresenta foto ilustrativa de parte do sistema.

A água de chuva coletada e tratada é fornecida para a lavagem de piso do restaurante e cozinha do referido local de estudo. A área de lavagem do ambiente apresenta aproximadamente 1400 m².

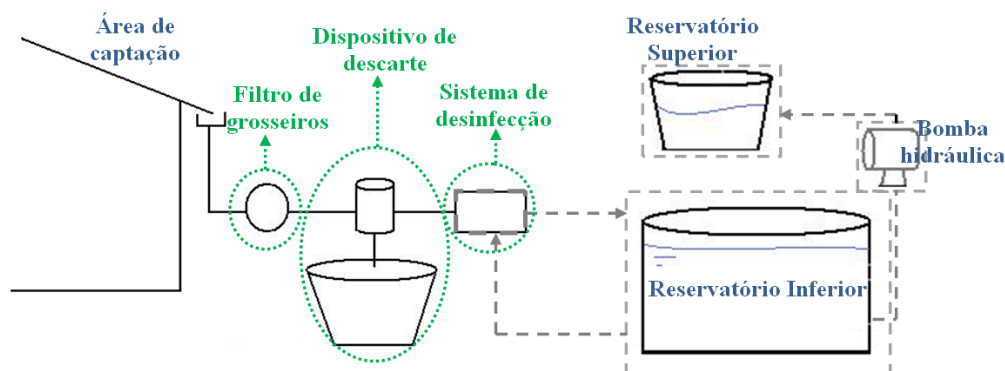


Figura 1: Representação esquemática do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT.

(Fonte: os autores)

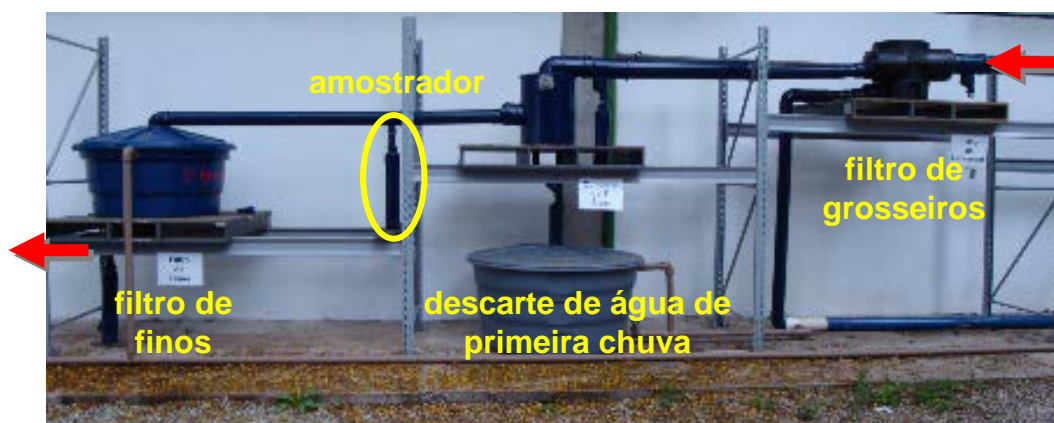


Figura 2: Ilustração de parte da instalação experimental de aproveitamento de água de chuva no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (Fonte: os autores)

Empregando o modelo teórico apresentado por Jo (2011) desenvolveu-se procedimento de cálculo para o estabelecimento do balanço hídrico e energético do sistema de aproveitamento de água de chuva. Os resultados do balanço permitiram calcular índices de eficiência relativos aos volumes de águas envolvidos e a incidência energética por unidade de volume de água de chuva (kWh/m³) aportada, aproveitada e não aproveitada.

Para adequado entendimento dos valores apresentados e de seu relacionamento é necessário estabelecer *a priori* a definição de **volume não aproveitado** e de **perda**. Para tanto há que considerar as possibilidades de ocorrência de eventos evitáveis e inevitáveis. Os primeiros se associam às características de implantação ou de operação que levam à **perda** que é definida como o não aproveitamento que poderia ter sido evitado. No segundo grupo de eventos tem-se condição de não aproveitamento intrínseco, sendo, portanto, inevitável. Exemplos típicos desse segundo caso é o descarte das águas de primeiras chuvas e o extravasamento por excesso de volume captado com relação à capacidade de armazenamento. Para o primeiro grupo de eventos citam-se os vazamentos e as ineficiências de funcionamento.

Os dados de precipitação pluviométrica relativos aos meses de janeiro e maio de 2010, área de captação, altura pluviométrica de lavagem do telhado, volume de reservação, volume de demanda e eficiência dos componentes

do sistema quanto ao aproveitamento volumétrico, são as principais variáveis para a obtenção do balanço hídrico.

A equação (1) é a expressão geral que orienta a determinação do balanço hídrico de água de chuva, associando oferta, volume aproveitado e volume não aproveitado. A oferta corresponde ao volume de entrada (VE) de água de chuva no sistema que é volume bruto de precipitação pluvial sobre a área de captação disponível, também denominado volume precipitado. Desse volume é deduzida a parcela de volume não aproveitado (VNA) igual à soma das perdas nos componentes do sistema com a extravasão nos reservatórios. A subtração expressa o volume efetivamente aproveitado (VA).

$$VA = VE - VNA$$

equação (1)

No que se refere ao volume extravasado tem-se em conta que o critério de dimensionamento da reservação do sistema experimental do IPT resultou em capacidade ótima de reservação de água de chuva, consideradas as características próprias do local de aplicação. Nesse caso a quantidade de água de chuva que extravasa os reservatórios constitui-se em evento inevitável. Capacidades de reservação inadequadas podem dar lugar a volumes extravasados que podem ser considerados perdas propriamente ditas, ou seja, eventos evitáveis. A extravasão de água de chuva na instalação experimental ocorreu apenas no reservatório inferior.

O sistema operacional da instalação experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT é dotado de automação completa. Dessa forma os volumes extravasados não têm participação devida às eventuais ineficiências operacionais, ou seja, o sistema automatizado foi concebido e dimensionado para atender à máxima demanda de água para lavagem de pisos e os sistemas de acionamento de bombas mostraram desempenho adequado durante todo o período de medições, não gerando, portanto, perdas.

Lógica de mesma natureza que a da extravasão é aplicável à água descartada. Caso o dimensionamento, ou as características operacionais do equipamento de descarte deem lugar a volumes maiores que o efetivamente necessário, poderão ser computados volumes efetivamente perdidos (eventos evitáveis).

A quantidade de água não aproveitada devida à evaporação, retenção e infiltração da chuva que cai sobre o telhado não foi considerada como perda, pois se trata de fenômeno inevitável.

Já no caso do filtro de grosseiros observa-se que dado o princípio de funcionamento do equipamento ocorrem perdas cujos valores variam com o valor da vazão do escoamento de água de chuva que passa pelo equipamento. Entende-se que o volume não aproveitado nesse caso é uma perda cuja origem é própria à concepção e dimensionamento do equipamento.

O Quadro 1 apresenta as partes componentes do sistema experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT classificadas quanto à natureza do não aproveitamento (evitáveis e inevitáveis) e a observação da ocorrência de eventos de não aproveitamento na instalação durante os períodos de monitoramento em situação real de uso.

Os componentes do sistema de aproveitamento que consomem energia elétrica são a bomba hidráulica de recalque do reservatório inferior ao superior e o sistema de desinfecção que conta também com bomba hidráulica de recirculação. O cálculo do consumo de energia foi baseado na potência nominal bruta fornecida pelos fabricantes e no tempo de funcionamento dos equipamentos. A quantificação do consumo de energia para o sistema foi realizada pela somatória dos consumos individuais dos componentes.

Com os dados obtidos nos balanços hídrico e energético analisaram-se dois grupos de grandezas e respectivos valores:

a) volumes de águas envolvidos:

- pluvial: precipitado, não aproveitado e aproveitado;
- potável: consumido para complementação do volume de água de chuva insuficiente para a demanda.

- b) quantidade de energia consumida no sistema de aproveitamento de água de chuva em função dos volumes de água de chuva armazenado e consumido.

Quadro 1 – Partes constituintes do sistema experimental do IPT, classificação e observação de eventos

Partes constituintes	Classificação quanto ao não aproveitamento		Ocorrência de eventos de não aproveitamento
	Inevitável	Evitável (perda)	
Captação (telhado, calha e condutor vertical)	<i>(evaporação, retenção e infiltração)</i>		<i>Ocorreu e foi computado</i>
Filtro de material grosseiro		<i>(ineficiência de funcionamento frente à vazão)</i>	<i>Ocorreu e foi computado</i>
Dispositivo de descarte	<i>(volume correspondente ao primeiro milímetro de chuva)</i>		<i>Ocorreu e foi computado</i>
Filtro de finos			<i>Não ocorreu</i>
Sistema de desinfecção			<i>Não ocorreu</i>
Reservatório inferior	<i>(extravasão de água de chuva em quantidade que superou a capacidade de reserva)</i>		<i>Ocorreu e foi computado</i>
Reservatório superior			<i>Não ocorreu</i>
Tubos, conexões e juntas diversas			<i>Não ocorreu</i>

Foram medidos e/ou calculados os volumes de água de chuva precipitados, aproveitados (efetivamente consumidos) e não aproveitados. Foi também medido e computado o volume complementar de água proveniente da rede pública de água potável nas situações em que a água de chuva diretamente captada não foi suficiente para atender o uso não potável.

O volume não aproveitado foi desmembrado em duas parcelas: *perdas no filtro de material grosseiro* (eventos evitáveis) e volumes não aproveitados na *captação, descarte e extravasão* (eventos inevitáveis).

Os valores medidos e calculados permitem calcular índices úteis à avaliação de sistemas de aproveitamento a partir da grandeza volume. A Tabela 1 apresenta os valores de índices volumétricos que se prestam a avaliar o grau de aproveitamento de água de chuva e o grau de eficiência ou ineficiência de um determinado sistema.

Os índices apresentados na Tabela 1 foram definidos como instrumento auxiliar na análise do desempenho do sistema experimental do IPT. Têm caráter preliminar e se constituem em proposta inicial para discussão visando o estabelecimento de índices e indicadores uniformes para auxiliar na avaliação de sistemas de aproveitamento diversos.

No que respeita os volumes a avaliação se desenvolveu sobre quatro índices:

IBR é o *índice bruto de aproveitamento de água de chuva* definido pela razão entre o volume de água de chuva efetivamente aproveitado no período T e a precipitação pluvial total ocorrida nesse período, em termos percentuais. Trata-se de índice estritamente local, ou seja, aplica-se a comparações da mesma instalação ao longo do tempo e segundo usos não potáveis pré-definidos, ou constantes. Não se presta a comparações entre sistemas em localidades diferentes e/ou usos não potáveis diversos. Considerada a sua definição e adotando a hipótese de que no período ocorre precipitação pluvial, por menor que seja, o índice IBR varia, teoricamente, entre 0% e 100% sendo o limite superior a meta ideal a ser atingida;

INA é o *índice de não aproveitamento de água de chuva* definido pela razão entre o volume de água de chuva não aproveitado total (evitáveis mais não evitáveis) em um período T e o volume total de águas de chuva precipitado no mesmo período. A exemplo do índice anterior, trata-se de índice estritamente local, ou seja, aplica-se a comparações da mesma instalação ao longo do tempo e segundo usos não potáveis pré-definidos, ou constantes. Não se presta a comparações entre sistemas em localidades diferentes e/ou usos não potáveis diversos. Considerada a sua definição e adotando a hipótese de que no período ocorre precipitação pluvial, por menor que seja, o índice INA varia, teoricamente, entre 0% e 100% sendo o limite inferior a meta ideal a ser atingida;

IPS é o *índice de perdas de água na instalação predial de aproveitamento* definido pela razão entre o volume de perdas (eventos evitáveis) nos componentes da instalação em um período T e o volume total de águas de chuva efetivamente utilizado em usos não potáveis nesse período. Esse índice presta-se a comparações entre sistemas, pois é relativo a perdas específicas em componentes empregados na instalação, segundo volume efetivamente aproveitado. Considerada a sua definição, o índice IPS tem limite inferior de 0% e máximo de 100% sendo o limite inferior a meta ideal a ser atingida;

ISF é o *índice de substituição de fontes ou de substituição de água potável*. Pode ser também chamado de índice de sucesso na substituição de fontes, definido pela razão entre o volume total de águas de chuva efetivamente utilizado em usos não potáveis no período T e o volume máximo potencial de usos não potáveis no mesmo período. Esse índice tem caráter global e universal e pode se constituir em indicador para sistemas e usos não potáveis específicos instalados em localidades diversas. Considerada a sua definição, o índice ISF tem limite inferior de 0% e máximo de 100% sendo o limite superior a meta ideal a ser atingida.

Deve ser observado que o ISF não deve ser utilizado isoladamente na avaliação da eficiência do sistema, pois ele não leva em conta a ineficiência de aproveitamento no que concerne às perdas. Índices de substituição de fontes de mesmo valor podem ocorrer segundo volumes diferenciados de água de chuva aportados ao sistema devidos às perdas. Portanto o índice ISF deve ser usado em conjunto com o índice de perdas IPS.

O índice de avaliação hídrico-energético do sistema foi obtido pela equação (2) que corresponde à incidência de consumo de energia por volume de água de chuva aproveitada. É denominado *índice líquido de consumo energético*.

$$ILE = \frac{CT}{VTA} \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

ILE = *Índice líquido de consumo energético (kWh/m³)*;

CTE = *Consumo total de energia no sistema de aproveitamento de água de chuva (kWh) e*

VTA = *Volume total de água de chuva efetivamente aproveitado (m³)*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O balanço hídrico e energético do sistema de aproveitamento de água de chuva foi realizado com os dados medidos e estimados referentes aos meses de janeiro e maio de 2010, aproximando-se da representação de períodos típicos de cheia e de estiagem, respectivamente. O mês de maio corresponde ao início do período de estiagem na cidade de São Paulo.

Medições preliminares mostraram que para lavagem dos 1.400 m² de pisos de cozinha e refeitório, lavados uma vez ao dia, foram necessários aproximadamente 42.000 litros de água por mês, em média.

Na Figura 3 são apresentados os resultados relativos aos volumes de água envolvidos. As barras constantes da Figura 3 são representativas dos volumes precipitados, não aproveitados e efetivamente consumidos. Essa última parcela aplica-se também aos volumes complementares de água potável. A Figura 4 apresenta a distribuição percentual de perdas efetivas no filtro de grosseiros e das parcelas de não aproveitamento em eventos inevitáveis: captação, descarte e extravasão.

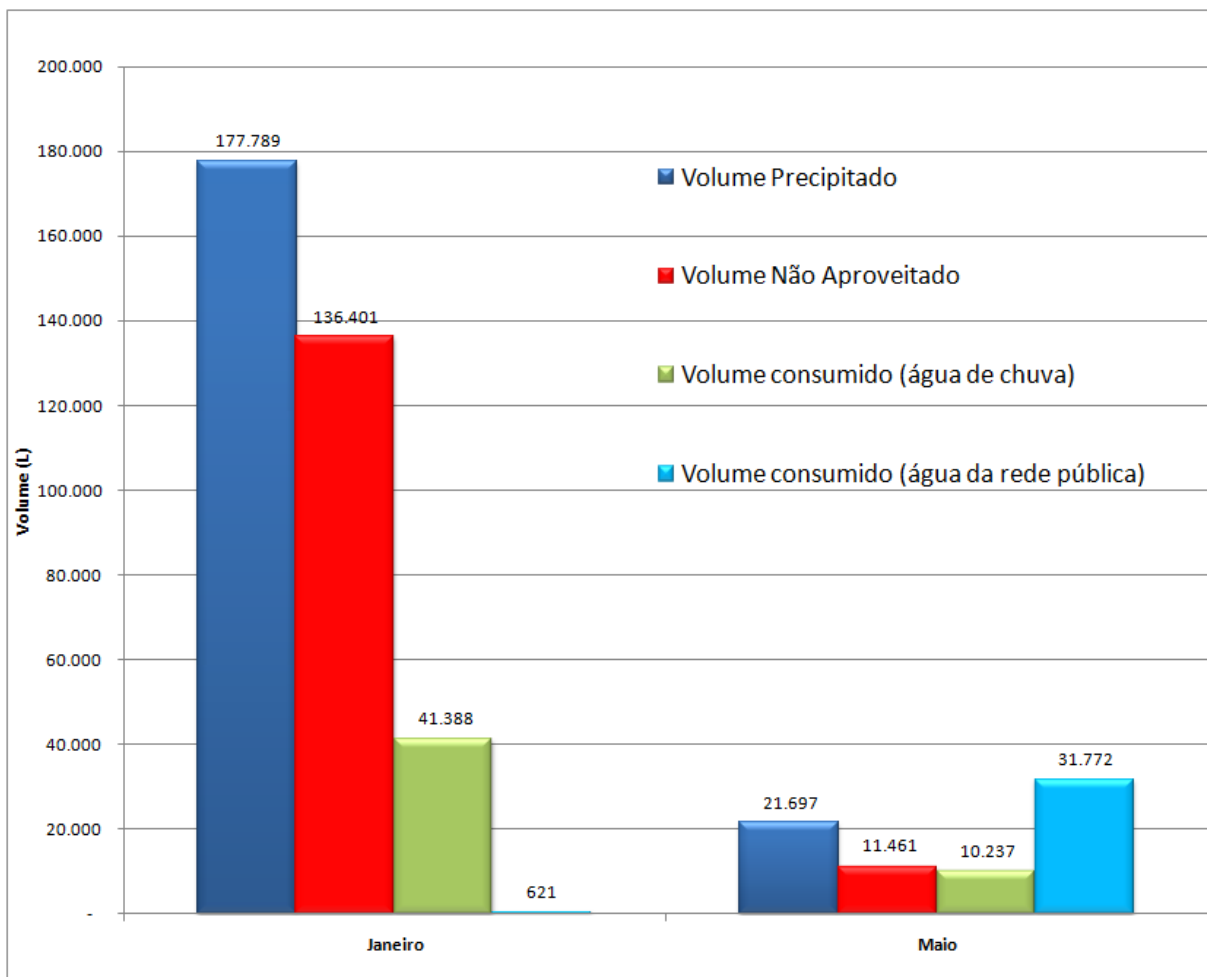


Figura 3: Valores dos volumes mensais obtidos para o balanço hídrico do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010.

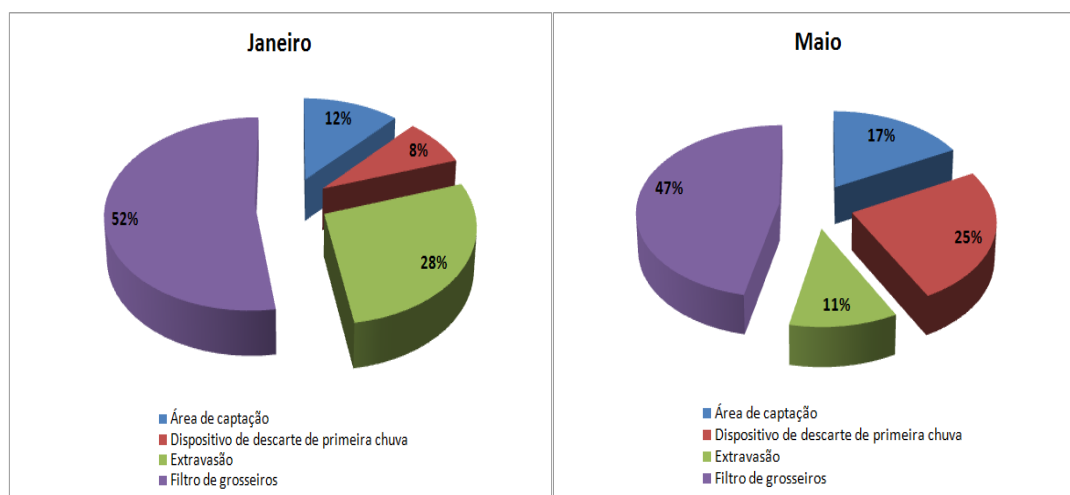


Figura 4: Distribuição dos volumes não aproveitados (área de captação, dispositivo de descarte e extravasão) e perdidos (filtro de grosseiros) nos meses de janeiro e maio no sistema experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010.

A Tabela 1 apresenta os valores dos índices volumétricos calculados com base nos dados obtidos em campo e que propiciaram a construção dos gráficos das Figuras 3 e 4.

Tabela 1 – Índices volumétricos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010.

IBR		INA		IPS		ISF	
janeiro	maio	janeiro	maio	janeiro	maio	janeiro	maio
23,3%	47,2%	76,7%	52,8%	171,4%	47,0%	98,5%	24,4%

A observação inicial dos valores apresentados na Figura 3 relativos ao mês de janeiro impressiona pelos altos valores precipitados e perdidos e pelo baixo valor de água de chuva efetivamente aproveitado. A análise desse fato poderia levar a concluir que o critério de dimensionamento do sistema teria privilegiado o atendimento da demanda mesmo em meses de estiagem. Isso acarreta não aproveitamentos de maior magnitude nos meses de cheias. No entanto, não é esse o caso, pois o volume não aproveitado e a parcela de perdas evitáveis no filtro de material grosseiro são altos também em maio como atestam os dados da Figura 3. Apesar dessas considerações, a Tabela 1 mostra que em janeiro o índice de substituição de fontes (ISF) é de 98,5 %, ou seja, o sistema atendeu praticamente a toda demanda por substituição de água potável. Porém isso ocorreu sob enorme ineficiência, pois o índice de perdas (IPS) nesse mês foi de 171,4%.

No mês de maio, início da estiagem na cidade de São Paulo, chama à atenção a necessidade do uso de água potável da rede pública frente ao volume precipitado e o não aproveitado. Esse último teria sido suficiente para atendimento da demanda caso o sistema fosse mais eficiente. Resulta desses valores um índice de substituição de fontes (ISF) de apenas 24,4 %, valor que é ainda mais negativamente avaliado ao se observar também na Tabela 1 que o índice de perdas (IPS) nesse mês foi de 47 %, ou seja, quase metade da água de chuva aportada ao sistema foi perdida por ineficiência (evento evitável).

Independentemente das observações anteriores, uma conclusão importante é que o sistema tem a particularidade de exibir altos volumes não aproveitados de água de chuva, com o agravante de ser essa condição passível de intervenção já que o não aproveitamento é dado majoritariamente por perdas evitáveis, ou seja, perdas efetivas que, no caso, ocorreram pela ineficiência de funcionamento do filtro de grosseiros como mostra a Figura 3. Essa Figura apresenta perdas no filtro de 52% em janeiro e 47% em maio. Dado que o filtro de grosseiros tem curva de eficiência que varia com a vazão por ele escoada (GONÇALVES, 2009), infere-se que mesmo sob menores valores de vazão, ocorridas em maio, a capacidade de aproveitamento do equipamento é baixa.

Finalizando a análise dos índices volumétricos a observação do índice bruto de aproveitamento (IBR) mostra que em janeiro teria sido aproveitar cerca de 4,3 vezes a demanda ($100/23,3$) caso não ocorressem não aproveitamentos, evitáveis e não evitáveis. O mesmo raciocínio aplicado a maio resultaria em atendimento de aproximadamente metade da demanda.

O consumo de energia pelos componentes do sistema está relacionado diretamente com volume de água armazenado e o volume consumido de água de chuva. Isso ocorre porque a demanda de energia se dá por bomba centrífuga necessária à recirculação de água do reservatório inferior para a desinfecção e por bomba centrífuga que promove o recalque do reservatório inferior para o superior. Os demais componentes do sistema experimental do IPT não consomem energia, pois funcionam sob gravidade (ALVES et al., 2008).

Os valores medidos em campo permitiram calcular o consumo energético das bombas. A Tabela 2 apresenta os resultados finais do balanço energético mostrando valor bem maior de consumo de energia no mês de janeiro comparado a maio. A Tabela 2 apresenta também a índice líquido de consumo energético (ILE) para os dois meses estudados.

Tabela 2: Resultados do Balanço Energético e Hídrico e do índice líquido de consumo energético (ILE) do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT.

	<i>Balanço Energético (kWh)</i>	<i>Balanço Hídrico (m³)</i>	<i>Índice ILE kWh/m³</i>
Janeiro	127,85	41.388	3,09
Maior	33,44	10.237	3,26
		Índice Médio	3,17

Ao simular a retirada do sistema de desinfecção do sistema o índice médio obtido de 3,17 kWh/m³ sofre uma redução para 0,14kWh/m³. O sistema de desinfecção existente é adequado ao fim proposto, principalmente por se tratar de uma instalação experimental que prevê a avaliação de diversos sistemas de desinfecção. O elevado consumo de energia, no caso aqui sob análise, deve-se ao fato de que o sistema de desinfecção requer a recirculação da água armazenada praticamente de forma contínua para atender a requisitos de qualidade da água no uso não potável previsto, considerando que se trata de lavagem de pisos de cozinha e refeitório industrial.

Cumprir destacar um aspecto particular que tem repercussão significativa na eficiência energética de sistema de aproveitamento de água de chuva que requeira o uso de bombas hidráulicas. Em sistemas prediais o uso de bombas é condicionado às disponibilidades de modelos e potências de bombas dos diversos fabricantes. Ocorre com frequência a contingência da escolha de bombas, especialmente as de pequena potência, que operam sob baixíssimos níveis de eficiência ou de rendimento global. Níveis globais de rendimento na faixa de 20 % a 30% são comuns em bombas centrífugas de baixa potência, mesmo que o par (altura manométrica total x vazão), utilizado na escolha de bombas, esteja bem ajustado. Essa realidade impõe aportes globais de energia para o sistema com baixíssimos níveis de eficiência. Esse problema se apresentou nos cálculos de consumo energético do sistema experimental do IPT, pois a instalação contava com 2 bombas centrífugas que ostentam esse problema. Trata-se de problema de difícil solução prática e que não diz respeito somente às instalações de aproveitamento de água de chuva, visto que tais bombas são largamente empregadas em instalações prediais de água potável, de esgoto e águas pluviais.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva permitem uma série de combinações de equipamentos, componentes e sistemas, além de diversas configurações e arranjos entre os sistemas de captação, tratamento, armazenamento e distribuição. Esse número possível de opções de sistemas permite, inclusive, a utilização de configurações onde a utilização de energia elétrica seja desnecessária, aproveitando-se da energia gravitacional para o transporte da água da área de captação até o ponto de consumo. A sofisticação das instalações a necessidade de equipamentos de tratamento implicam, na maioria das vezes, no aporte de energia elétrica ao sistema elevando a relação de consumo de energia por volume de água aproveitado.

Segundo estimativas realizadas por Kiperstok (2008), a relação de consumo de energia elétrica para o volume aproveitado em sistemas de pequeno porte que utilizem bomba para a elevação de água até um reservatório superior gira em torno de 0,05kWh/m³.

Frente a essas considerações e com base nos dados apresentados até aqui no presente artigo, é possível depreender que o projeto e a escolha dos equipamentos do sistema de aproveitamento de água de chuva é um fator importante na eficiência hídrico-elétrica, não só pelo consumo absoluto de energia necessário ao funcionamento do sistema, mas também pelas perdas de água que podem ocorrer devido às características intrínsecas dos equipamentos ou do projeto.

A relação entre a quantidade de água aproveitada, obtida pelo balanço hídrico do sistema, e a energia elétrica consumida para possibilitar a adequação quali-quantitativa de água e permitir seu transporte até o ponto de consumo, dada pelo índice líquido de consumo energético (ILE) permite que seja feita uma avaliação da eficiência do sistema. O conceito de balanço hídrico-energético pode ser aplicado durante a etapa de projeto para possibilitar a análise comparativa entre diferentes sistemas ou entre diversas possibilidades de implantação para um mesmo sistema de forma que se possa estimar a eficiência hídrico-energética possível.

De forma análoga à comparação de sistemas pela metodologia proposta, o conceito pode ser extrapolado e comparar um sistema alternativo de abastecimento parcial de utilização de água de chuva com os sistemas

convencionais de abastecimento de água de modo a direcionar e fomentar políticas públicas de incentivo á esses sistemas quando conveniente.

Para os sistemas públicos de abastecimento, o índice líquido de consumo energético (ILE) varia de 0,33 kWh/m³ a 1,24 kWh/m³ (COHIM *et al*, 2009).

O valor obtido pelo sistema de aproveitamento de água de chuva utilizado como caso de estudo apresenta-se em desvantagem quando comparado com índices de eficiência hídrico-energética reportada para sistemas públicos de abastecimento e para sistemas prediais sob estudo. No entanto, a presente aplicação sobre instalação experimental de aproveitamento mostra claramente os aspectos de maior importância para se avançar em preceitos de sustentabilidade na edificação, aqui, especificamente, aqueles que relacionam os recursos naturais água e energia.

Vislumbra-se que o adequado tratamento dos pontos críticos apontados no presente artigo contribuam para a solução de problemas e para a elevação dos níveis de sustentabilidade associados ao uso da água em edificações prediais com rebatimentos que podem se tornar significativos na eficiência do manejo de recursos hídricos.

CONCLUSÕES

Análises de sistemas complementares de abastecimento de água para usos não potáveis aplicando o conceito de substituição de fontes devem levar em conta características quali-quantitativas de águas de fontes alternativas, segundo os usos não potáveis potenciais, e de água potável possível de ser substituída.

A utilização do balanço hídrico em conjunto com os índices volumétricos é uma ferramenta interessante para a quantificação do volume de água que realmente é aproveitado por um sistema já que a concepção do sistema, a introdução de equipamentos e componentes ocasiona perdas de volume significativo de água durante o tratamento, transporte e efetivo uso.

A composição de índice que relacione os gastos energéticos necessários ao funcionamento do sistema com a quantidade de água possível de se aproveitar permite a comparação entre as eficiências alcançáveis por concepções diversas de um mesmo sistema ou comparação de sistemas diferentes.

O sistema avaliado apresentou um índice médio de eficiência hídrico-energética de 3,17 kWh/m³, bastante superior aos índices reportados em literatura para sistemas de pequeno porte de aproveitamento de água de chuva, em torno de 0,05 kWh/m³, e também superiores aos dados de literatura disponíveis para o sistema público de abastecimento, de 0,33 a 1,24 kWh/m³.

O índice médio de eficiência hídrico-energética do sistema avaliado é reduzido para 0,14 kWh/m³ quando é descontada a energia elétrica utilizada no sistema de desinfecção instalado, tornando o índice de eficiência mais próximo do reportado na literatura. Esse fato ressalta a importância da concepção do sistema e escolha de soluções tecnológicas como um fator decisivo na eficiência hídrica-energética alcançada.

O sistema de aproveitamento de água de chuva instalado foi capaz de suprir mais de 98% da demanda existente para o mês de janeiro – mês chuvoso, mas com enorme parcela de água perdida: índice de perdas na instalação (IPS) de 174,4 %. As mesmas figuras, aquilatadas para o início da estiagem na cidade de São Paulo, mês de maio, resultaram em 24% de atendimento da demanda associado a IPS de 47 %.

AGRADECIMENTOS

O presente artigo é um dos produtos resultantes da pesquisa sobre aproveitamento de água de chuva em desenvolvimento no IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e que contou com o suporte dos recursos do PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico sob gestão da FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos do MCT. Os autores apresentam seu reconhecimento frente às políticas desenvolvidas por essas instituições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, W.C., ZANELLA, L. et SANTOS, M.F.L. *Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis*. São Paulo. Revista Techné, 133, abril de 2008, p. 99 a 104.
2. GONÇALVES, R.F. (Coord.); JORDÃO, E.D.; JANUZZI, G. Água e energia nos dias de hoje. In: Uso racional de água e energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água: Projeto Prosab, Edital 5. Rio de Janeiro: Abes, 2009.
3. COHIM E.; KIPERSTOK, A.; PHILLIPI, L.S.; ALVES, W.C.; GONÇALVES, R.F. Perspectivas futuras: água, energia e nutrientes. In: Uso racional de água e energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água: Projeto Prosab, Edital 5. Rio de Janeiro: Abes, 2009.
4. JO, A.C. Balanço hídrico e energético de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas). Campinas – SP, 2011.
5. KIPERSTOK A. (Org.) Prata da casa: construindo produção limpa na Bahia. Salvador: [s.n.]. 446 p. Rede de Tecnologias Limpas-Teclim/Universidade Federal da Bahia-UFBA, 2008.