

## IV-1133 - ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS PARA GESTÃO DE DEMANDA DE ÁGUA

**Alex Sandro Ferreira de Queiroz<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Mestrando em Águas, Saneamento e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Bahia.

**Francisco Ramon Alves do Nascimento<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Ambiental. Mestre e Doutor em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia. Professor adjunto no Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

**Eduardo Henrique Borges Cohim Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista. Mestre em Tecnologias Limpas e doutor em Energia e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Bahia. Professor titular da Universidade Estadual de Feira de Santana.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Transnordestina, s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana – BA – CEP: 44036-900 – Brasil – e-mail: [alexqueirozeng@gmail.com](mailto:alexqueirozeng@gmail.com); [edcohim@gmail.com](mailto:edcohim@gmail.com)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Rua Aristides Novis, 02, Escola Politécnica (DEA, 4º andar) – Federação – Salvador – BA – CEP: 40210-630 – Brasil – e-mail: [francisco.ramon@ufba.br](mailto:francisco.ramon@ufba.br)

### RESUMO

Com o crescimento da população mundial e a tendência em se viver nas regiões urbanas, surgem problemas associados ao suprimento de água necessária para atender as necessidades da população, sendo essas quantidades cada vez maiores e extraídas de distâncias também crescentes. Diminuir a importação de água potável das áreas externas aos limites urbanos, assim como a exportação de águas residuais, e otimizar a aplicação de reuso da água dentro da própria cidade, permite um planejamento urbano que é sensível aos recursos hídricos. O objetivo desse trabalho é quantificar os fluxos existentes em uma residência, comparando situações diferentes de uso e aplicação de meios alternativos de abastecimento para identificar o que possibilite a menor importação e menor geração de resíduos ao final dos processos. Para isso, uma Análise de Fluxo de Materiais (AFM) foi utilizada, permitindo uma avaliação sistemática dos fluxos de água dentro de um sistema definido no espaço e tempo, possibilitando uma fácil visualização dos volumes necessários e como a aplicação de fontes e usos alternativos interferem na quantidade de material necessário para suprimento de necessidades, bem como no volume que é descartado ao final dos processos. Quatro cenários diferentes para uma mesma residência foram avaliados, onde os fluxos necessários para utilização de cada processo da residência variam de acordo com a utilização de fontes alternativas ou a aplicação de aparelhos hidro eficientes. O cenário que possui utilização de fontes alternativas de abastecimento em conjunto com a aplicação de aparelhos hidro eficientes apresenta uma redução no abastecimento necessário da concessionária de cerca de 81% em comparação ao cenário base que não possui nenhum meio de redução do consumo aplicada, e desperdício final aproximadamente 59% menor, para a mesma comparação. É possível se concluir que a aplicação de fontes alternativas e aparelhos hidro eficientes auxilia na diminuição de impactos e recursos necessários para abastecimento residencial, e pode ser uma solução para regiões de difícil acesso a água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança Hídrica, Gestão de demanda de água, Consumo de água.

### INTRODUÇÃO

Desafios relacionados a utilização de recursos naturais existentes tornam-se cada vez mais complexos, principalmente quando se está próximo aos limites de exploração (BARBOSA, 2018). Neste sentido, o entendimento do funcionamento dos fluxos e processos no metabolismo urbano torna-se necessário para um desenvolvimento mais sustentável das cidades, visando a utilização dos recursos da forma mais eficiente possível, entendendo-se por desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento com redução dos fluxos de materiais e energia e que não ultrapasse a capacidade de regeneração e assimilação de resíduos na biosfera (KENNEDY et al., 2007).

Dentre os fluxos ou ciclos fundamentais do metabolismo urbano, a água se destaca por ser o maior componente em termos de quantidade, e por isso é o foco deste trabalho. A redução da importação de água potável das áreas

externas aos limites urbanos bem como da exportação de águas residuais, otimizando o uso dos recursos hídricos dentro da cidade, propiciam um planejamento urbano sensível aos recursos hídricos, que tem como princípios fundamentais a proteção dos sistemas naturais, integração do tratamento de águas pluviais à paisagem, proteção da qualidade da água, redução do escoamento e pico de fluxo, e a minimização de custos de desenvolvimento (WONG, 2006). Para isso, é necessário compreender e quantificar os fluxos e estoques de água existentes, que pode ocorrer a partir da utilização de diversos métodos e ferramentas.

A Análise de Fluxo de Materiais (AFM) é uma avaliação sistemática dos fluxos e estoques de materiais dentro de um sistema definido no espaço e no tempo. Com base na lei da conservação da matéria, os resultados de uma AFM podem ser controlados pelo balanço de materiais do sistema, comparando todas as entradas, estoques e saídas. Esta característica da AFM torna o método atrativo como uma ferramenta de suporte a tomada de decisão para a gestão de recursos, gestão de resíduos e gestão ambiental (BRUNNER e RECHBERGER, 2005).

O presente trabalho visa analisar os fluxos de água existentes em uma residência para quatro cenários distintos, quanto a utilização de fontes alternativas de água ou aparelhos hidro eficientes. Busca-se assim, encontrar a situação ideal que permita a maior eficácia da utilização dos recursos, bem como proporcionar igualdade na alocação das águas entre todos os grupos socioeconômicos sem deixar de lado a preocupação quanto a proteção integrada dos ecossistemas e dos recursos hídricos, garantindo assim os objetivos da gestão integrada das águas. A análise dos cenários deve mostrar como a utilização de aparelhos hidro eficientes e fontes alternativas de água podem refletir na eficiência do uso da água, sobretudo em situações onde há escassez ou dificuldade de obtenção desse recurso.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Uma Análise de Fluxo de Materiais (AFM) foi utilizada para avaliar os fluxos de água em uma residência hipotética. Neste estudo, o sistema foi definido como uma residência construída na cidade de Feira de Santana/BA e a avaliação dos fluxos corresponde ao período de um ano. Para a análise, o software Stan (abreviação de subSTance flow ANalysis) foi utilizado para a quantificação e representação dos fluxos de água. Os volumes de água necessários para cada uso foram adotados a partir de estudos realizados por Santos (2022) e Azevedo (2021).

Com o objetivo de se obter o menor valor de consumo advindo de fontes centralizadas, e conseqüentemente o menor desperdício final da água, além de se analisar como formas alternativas podem ser aplicadas para que um modelo circular de consumo, enfatizando conservação e reutilização de recursos seja elaborada, foram avaliados diferentes cenários possíveis de serem adotados em uma residência, de forma que, por comparação, evidenciasse a situação ideal e seja quantificado as economias feitas quando fontes alternativas de uso e aplicação da água são adotadas. A avaliação do consumo de água foi realizada para os seguintes processos: Bacia sanitária, chuveiro, lavatório, máquina de lavar, tanque, ingestão, limpeza da residência, preparação de alimentos e lavação de louça.

Os dados dos volumes necessários para utilização da bacia sanitária, chuveiro, lavatório, máquina de lavar e tanque foram obtidos do estudo de Santos (2022), que desenvolveu uma modelagem holística da demanda de água em uma residência a partir de simulações para 5000 domicílios, considerando uma taxa de ocupação de 3,0 pessoas por domicílio. Os dados do consumo de água referentes a ingestão, limpeza da residência, preparação de alimentos e lavação de louça foram obtidos de Azevedo (2021), que realizou um estudo sobre a demanda mínima de água para uma vida humana saudável, considerando a mesma taxa de ocupação utilizada por Santos (2022).

Além dos fluxos antropogênicos, fluxos naturais a partir da precipitação também foram considerados neste estudo. A precipitação utilizada foi resultante dos valores medios do período entre os anos 1998 e 2017, que foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018). Os volumes gerados foram calculados com base na área total do terreno igual a 150 m<sup>2</sup>, considerando uma residência padrão com 80 m<sup>2</sup> de telhado, localizada no município de Feira de Santana – BA, com 50 % de superfície permeável. A precipitação anual de Feira de Santana é de aproximadamente 677 mm, com desvio padrão igual a 178,7 mm (Tabela 1).

**Tabela 1: Precipitação anual média de Feira de Santana – Ba entre 1998 e 2017.**

Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1998	710,1	2002	648	2006	226,2	2010	850,8	2014	670,4
1999	882,3	2003	881,56	2007	757,5	2011	787,6	2015	648,5
2000	873,6	2004	755,6	2008	773,1	2012	373	2016	608,2
2001	619,6	2005	782,1	2009	579,5	2013	731,9	2017	377
<b>Média = 676,8 mm</b>									
<b>Desvio Padrão = 178,7 mm</b>									

Tem-se que para essa precipitação, o volume total de água precipitado na área do terreno é de aproximadamente 101 m<sup>3</sup>/ano, onde 54 m<sup>3</sup>/ano são precipitados na área do telhado e 47 m<sup>3</sup>/ano são precipitados no restante da área do terreno. O desvio padrão correspondeu a cerca de 27 m<sup>3</sup>/ano e foi utilizado para o cálculo da incerteza de dados com relação a precipitação.

## APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS

Para avaliação da melhor situação de aproveitamento de água, a AFM foi realizada para quatro cenários distintos, considerando a inserção de diferentes processos ao sistema de estudo, como fontes alternativas de água ou substituição de aparelhos convencionais (bacia sanitária, chuveiro e máquina de lavar) por aparelhos hidro eficientes.

### CENÁRIO 01

Este cenário, que foi considerado como o cenário base, corresponde aos fluxos e volumes existentes na residência sem medidas de racionalização do uso da água, reaproveitamento de água residuárias ou abastecimento de fontes descentralizadas. Assim, a entrada total de água na residência é proveniente da concessionária de saneamento e da precipitação média anual. Os volumes necessários para aplicação nos aparelhos e usos na residência são resultados dos estudos de Azevedo (2021) e Santos (2022), que possuem uma incerteza correspondente a variação que pode existir nos valores necessários para a utilização dos aparelhos e também da quantidade provinda da fonte de abastecimento centralizada que de fato chega a residência.

Esses valores de variação são obtidos como sendo o desvio padrão da média dos valores que compõem a amostra estudada, calculada a partir do programa MatLab. Na Tabela 2 são apresentados os volumes necessários para utilização nos aparelhos da residência, considerando-se uma taxa de ocupação de 3 pessoas (SANTOS, 2022).

**Tabela 2: Consumo de água na residência para diferentes aparelhos.**

CONSUMO ANUAL EM UMA RESIDÊNCIA (CENÁRIO 1)					
Consumo de água por aparelho (m <sup>3</sup> /ano)	BACIA	CHUVEIRO	LAVATÓRIO	MQL	TANQUE
	47,28 ±0,40	33,57 ±0,50	20,19 ±0,17	16,30 ±1,05	1,74 ±0,11

Na Tabela 3 são apresentados os volumes necessários para os diferentes usos considerados na avaliação da residência, considerando a mesma taxa de ocupação. A variação adotada para esses valores corresponde a 3 % do consumo, sendo este valor a média entre a variação dos consumos obtidos para os dados de aparelhos.

**Tabela 3: Consumo de água na residência para diferentes usos.**

CONSUMO ANUAL EM UMA RESIDÊNCIA (CENÁRIO 1)				
Consumo de água por uso (m <sup>3</sup> /ano)	INGESTÃO	LIMPEZA DA RESIDÊNCIA	PREP. DE ALIMENTOS	LAVAÇÃO DE LOUÇA
	2,23 ± 0,07	3,90 ± 0,12	6,12 ± 0,18	6,68 ± 0,21

## CENÁRIO 02

Este cenário apresenta os mesmos processos do cenário base e representa a inserção da utilização de fontes descentralizadas e reutilização de água. Quanto a reutilização da água, a utilização de água cinza clara para abastecimento da bacia sanitária e limpeza da residência foi analisada. Dessa forma, os volumes necessários para os aparelhos e usos apresentados nas Tabelas 2 e 3 continuam os mesmos, embora sejam provenientes de fontes diferentes. Estas medidas podem tornar o sistema cíclico e mais sustentável.

## CENÁRIO 03

Neste cenário, os fluxos não possuem utilização de fontes alternativas de captação e uso de água. Semelhante ao cenário base, o abastecimento total de água foi considerado a partir de uma fonte centralizada. Assim, não foi considerada a utilização da água de chuva e todos os valores para os processos de infiltração, evaporação e drenagem foram iguais aos valores do Cenário 01. A utilização de aparelhos hidro eficientes, como forma de redução do consumo de água, foi considerada. Os volumes demandados por aparelho estão apresentados na Tabela 4, assim como os valores de desvio padrão, que corresponderam as incertezas dos dados.

**Tabela 4: Consumo de água na residência para diferentes usos.**

CONSUMO EM UMA RESIDÊNCIA EM UM ANO			
COM BACIA, CHUVEIRO E MQL EFICIENTES			
Consumo total da residência (m <sup>3</sup> /ano)	BACIA	CHUVEIRO	MQL
	6,3 ± 0,06	18,5 ± 0,24	4,5±1,05

## CENÁRIO 04

O Cenário 04 representa a utilização de aparelhos hidro eficientes e fontes alternativas de água. Este cenário apresenta a mesma configuração do Cenário 02, onde o volume de água precipitado é encaminhado para os mesmos processos, sendo armazenado e utilizado da mesma forma.

## EVAPORAÇÃO E INFILTRAÇÃO

A evaporação foi avaliada para os processos: chuveiro, máquina de lavar, tanque, limpeza, preparação de alimentos e lavagem de louça, além da evaporação da água que precipita sobre o terreno e o telhado da residência. O processo lavatório também foi avaliado, mas o resultado obtido mostrou ser irrisório e não foi considerado.

Para a evaporação do chuveiro, foi-se considerado um banheiro de 2 m<sup>2</sup>, que após cada banho acumula um fio de água de 0,25 mm. Com uma ocupação residencial de 3 pessoas e considerando que cada uma toma um banho por dia, foi possível obter o volume de água evaporada na residência para este processo, em metros cúbicos por ano. A água que fica retida no corpo após o banho também foi considerada e calculada a partir da área da superfície corporal média brasileira, que foi obtida por meio da calculadora de superfície corporal disponibilizada pela Sociedade Brasileira de Nefrologia (SBN), utilizando dados de altura e peso médio dos brasileiros disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Como os valores encontrados não foram significativos em comparação aos demais volumes do estudo, este fluxo de água não foi considerado.

Para o processo máquina de lavar, seguiu-se o estudo de Azevedo (2021) para calcular a quantidade de água que fica retida nas roupas após a centrifugação que ocorre ao final do processo de lavagem. O estudo da autora apontou que 3,5 kg de roupa são sujas por pessoa semanalmente. Assim, para a determinação da quantidade evaporada, 3,5 kg de roupa foram considerados como lavados na máquina de lavar e quantificados após a centrifugação. Este valor engloba o aumento de 680 g no peso total, que corresponde a água evaporada para essa quantidade de roupa. Quando o mesmo peso de roupa é lavado no tanque e não passa pelo processo de centrifugação, mas apenas pela torção manual para diminuição do volume de água retido, o resultado do peso da roupa apresenta uma adição de 1209 g, sendo esse peso relativo ao volume de água que ainda se mantém retido na roupa e será evaporado posterior o processo de secagem.

Para a limpeza da residência, considerou-se que toda água utilizada evapora após aplicação no processo. A preparação de alimentos tem um volume de aproximadamente 80 % descartado para o esgotamento sanitário

devido a lavagem de legumes e saladas, e apenas 20 % do volume é ingerido/incorporado no processo de preparação dos alimentos (AZEVEDO, 2021). Para a lavagem de louça, considerou-se que 5 % do volume total utilizado fica retido na louça e na pia, e posteriormente evaporado. Para os dados de precipitação, considerou-se que 20 % que precipita sobre o telhado é evaporado, além de 10 % do volume precipitado sobre o terreno na área impermeável e 40 % do volume precipitado sobre o terreno na área permeável. A infiltração que ocorre nos cenários é resultado também da precipitação, e corresponde a 40 % do volume precipitado sobre a área permeável do terreno. Os valores de evaporação e infiltração permanecem inalterados em todos os cenários, incluindo os cenários que a captação da água da chuva foi considerada. O valor da captação não interfere na evaporação ou infiltração, mas sim no volume precipitado sobre o telhado e escoado na superfície do terreno posteriormente. Assim, os valores para este processo são menores nos cenários que possuem a captação de água de chuva.

## INDICADORES PROPOSTOS

A utilização da AFM também permite a criação de indicadores de performance com relação a eficiência do recurso avaliado. No caso da água, é possível se gerar o indicador de “eficiência hídrica urbana por pessoa”, que corresponde ao volume total de uso da água que são extraídas do meio ambiente, por pessoa, sendo este indicador aplicado na prática como fonte de planejamento e implementação de políticas baseadas em evidências e também como métrica para comparar tanto o desempenho de desenvolvimento quanto a gestão de recursos hídricos (equação 1).

$$EU = \frac{C}{\text{População}}$$

**Equação 1**

Onde C é o volume total de água que é utilizada e “população” corresponde ao número de pessoas que utilizam esse recurso, dentro do sistema de fronteira e no período de tempo avaliado.

Um indicador para medir a internalização do abastecimento de água também pode ser obtido como a proporção da demanda total de água que é atendida internamente pela água colhida ou reciclada no sistema, tendo sua aplicação prática voltada para estratégia de investimento, inovação tecnológica e ainda auxiliando como métrica para avaliação do desempenho da gestão de recursos hídricos (equação 2).

$$IA = \frac{D+R}{D+R+C}$$

**Equação 2**

Onde D corresponde ao suprimento descentralizado devido a precipitação, R a água que é reciclada e reutilizada e C ao uso total de água que abastece o sistema (RENOUF et al., 2017).

Outro indicador extremamente importante e possível de se ser medido é o “Índice de Perturbação Hídrica” que corresponde a relação entre o somatório dos volumes de entradas e saídas no sistema, antes da urbanização da área de estudo, pelo somatório dessas entradas e saídas após a urbanização. Esse indicador é dado pela equação 3 a seguir:

$$IPH = \frac{\sum E_{pu} + \sum S_{pu}}{\sum E_u + \sum S_u}$$

**Equação 3**

Onde  $E_{pu}$  é a entrada de água no sistema, antes da urbanização;  $S_{pu}$  é a saída de água no sistema, também antes da urbanização;  $E_u$  é a entrada de água no sistema após a urbanização e  $S_u$  a saída de água no sistema após a urbanização.

O indicador EU possui uma limitação por não ser suficiente para determinar quais valores são ideais e aceitáveis. Uma vez que esse indicador corresponde ao volume total de água que é extraído do meio ambiente, por pessoa, ele não é capaz por si só de trazer um valor mínimo necessário para que as demandas sejam supridas de forma satisfatória, mas serve para comparar os valores entre os cenários, apontando aquele que melhor satisfaz as necessidades, sendo este o que possui o menor volume de água demandado.

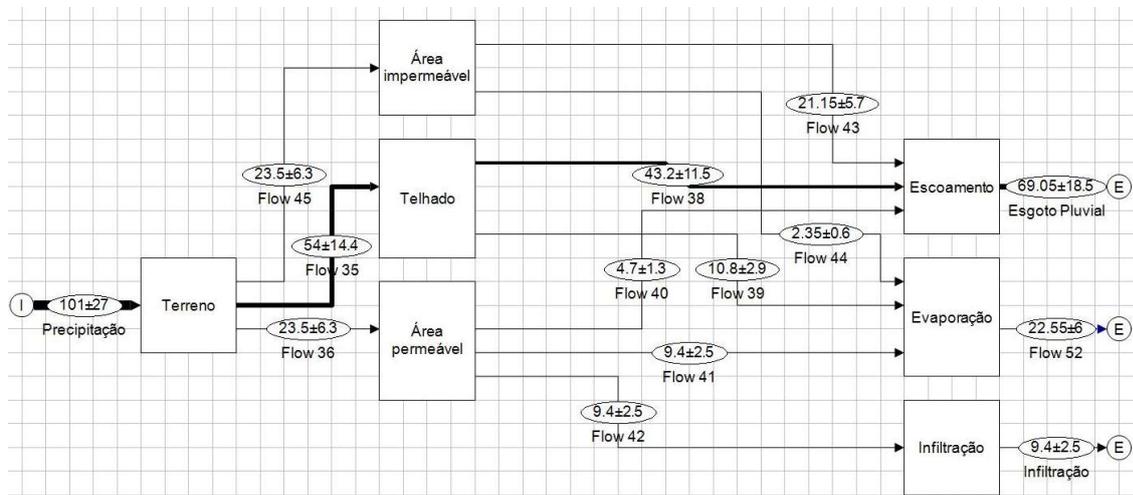
Com relação ao indicador IA, o pior cenário será aquele com valores mais próximos de 0, pois o resultado desse indicador mostra quantos por cento do volume de água demandado no sistema, é proporcionado pela reutilização de água ou abastecimento descentralizado.

O indicador IPH é limitado pelos valores 0 e 1, onde o 0 corresponde a um grande volume de água que escoou superficialmente, salientando uma grande urbanização no local, enquanto o valor 1 corresponde a entradas e saídas pós urbanização, com valores iguais aos que existiam antes dessa urbanização.

## RESULTADOS

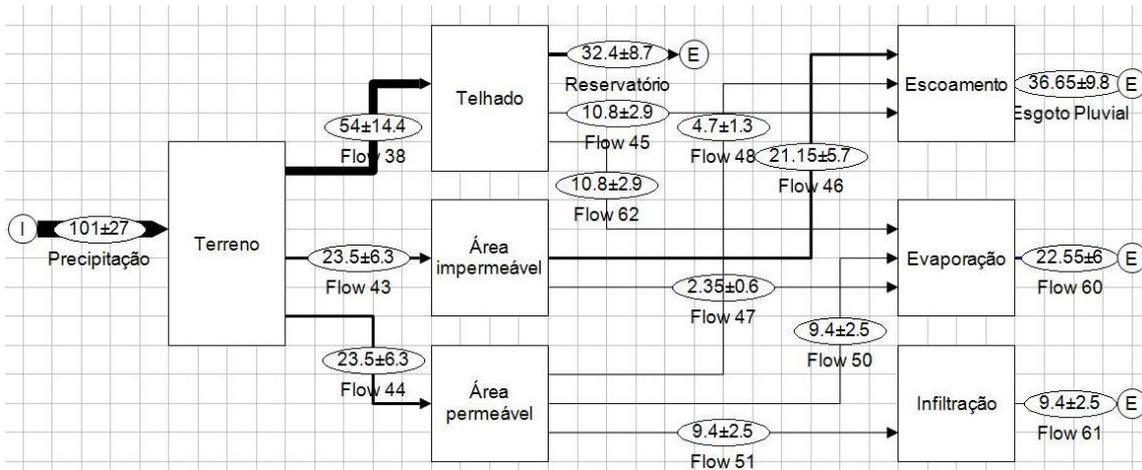
### AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS

Os quatro cenários avaliados possuem em comum os valores de evaporação e infiltração. Foi-se considerado que para todos os cenários, os processos apresentaram os mesmos valores de evaporação sendo gerados, uma vez que independente da necessidade de água para utilização do aparelho, a quantidade de retida que será evaporada posteriormente se mantém a mesma. Nesses processos, a adoção de uma variação em torno de 20% do volume evaporado foi considerada. Para os processos chuveiro, máquina de lavar, tanque, preparação de alimentos e lavagem de louça tem-se uma evaporação de, respectivamente,  $0,55 \pm 0,1 \text{ m}^3$ ;  $0,11 \pm 0,02 \text{ m}^3$ ;  $0,19 \pm 0,04 \text{ m}^3$ ;  $0,22 \pm 0,04 \text{ m}^3$ ;  $0,33 \pm 0,1 \text{ m}^3$ ; que somados ao processo limpeza ( $3,9 \text{ m}^3$ ), considerado como 100% evaporado após sua utilização, soma um total de  $5,3 \text{ m}^3$  evaporados devido os processos, em todos os cenários, apresentando um volume total evaporado de  $27,85 \pm 6 \text{ m}^3$  quando a parcela correspondente da precipitação ( $22,55 \pm 6 \text{ m}^3$ ) é considerado. Os valores de evaporação e infiltração devido a precipitação também são os mesmos em todos os cenários. A Figura 01 mostra a divisão do terreno com relação a chuva precipitada na área estudada.



**Figura 1: Subsistema da precipitação sem captação da chuva.**

Como o telhado possui  $80 \text{ m}^2$  ele consegue captar  $54 \text{ m}^3$  dos  $101 \text{ m}^3$  precipitados na área de  $150 \text{ m}^2$ , e os demais  $47 \text{ m}^3$  são divididos igualmente entre a área permeável e impermeável do terreno. Para todos os cenários, 20% do volume que cai sobre o telhado ( $10,8 \pm 2,9 \text{ m}^3$ ) evapora, junto com 10% do volume que precipita sobre a área impermeável ( $2,35 \pm 0,6 \text{ m}^3$ ) e 40% da precipitação da área permeável ( $9,4 \pm 2,5 \text{ m}^3$ ). A infiltração corresponde a 40% do volume precipitado sobre a área permeável ( $9,4 \pm 2,5 \text{ m}^3$ ). A diferença entre os cenários com relação a precipitação ocorre apenas com relação ao escoamento superficial, como mostra a figura 02. Cerca de 60% do volume que precipita sobre a área do telhado ( $32,4 \pm 8,7 \text{ m}^3$ ) são captados para o reservatório nos cenários que utilizam fontes alternativas (Cenários 02 e 04), diminuindo assim o volume de esgoto pluvial, que antes da captação era  $69,05 \pm 18,5 \text{ m}^3$  (Figura 01) e com a captação passa a ser  $36,65 \pm 9,8 \text{ m}^3$ .

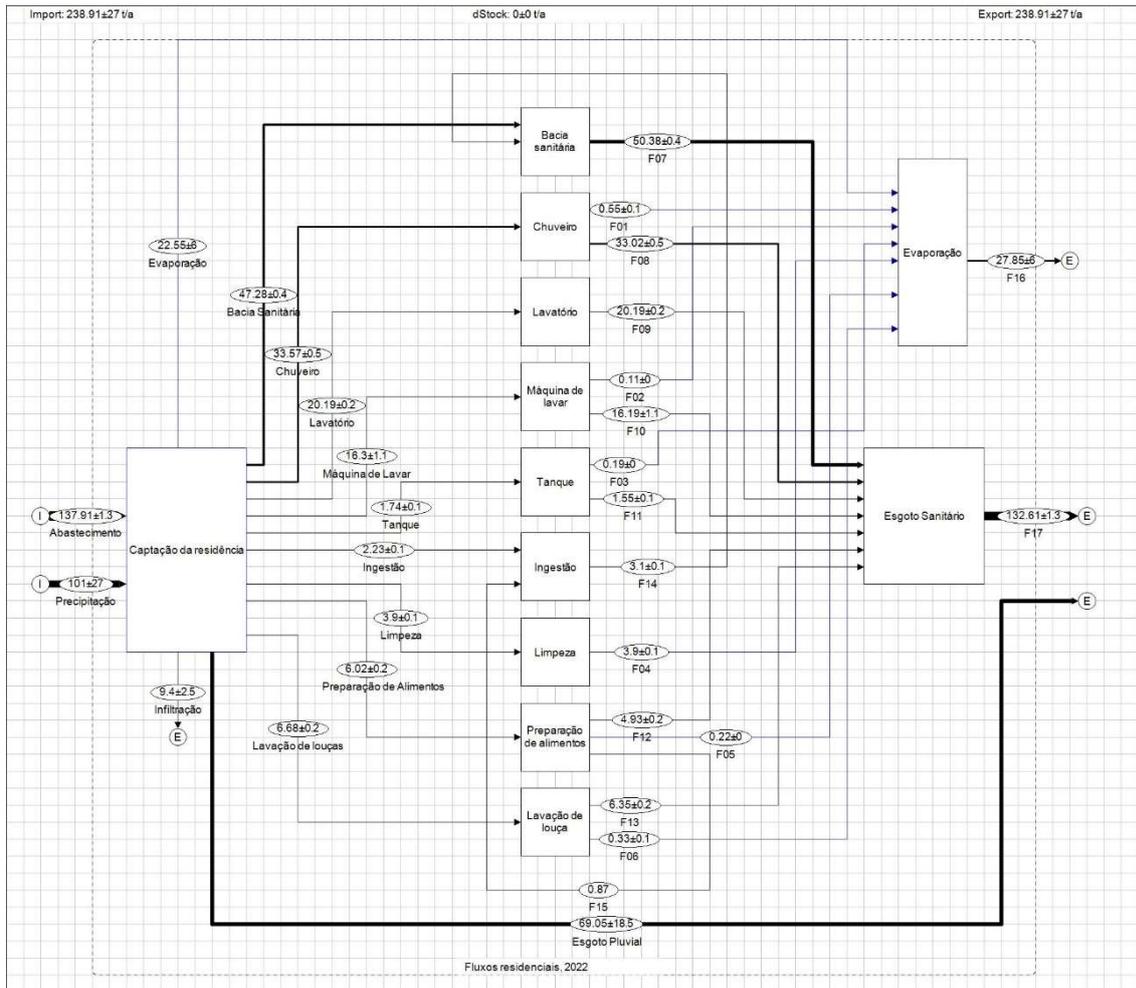


**Figura 2: Subsistema da precipitação com captação da chuva.**

Para todos os cenários, os fluxos correspondentes as evaporações serão representadas na cor azul, enquanto os processos, quando substituídos por aparelhos economizadores, serão representados pela cor turquesa e as fontes alternativas pela cor verde claro. Além disso, os fluxos gerados pelas fontes alternativas estarão representados na cor vermelha para melhor visualização e separação dos fluxos.

## CENÁRIO 01

Na Figura 3 são apresentados os fluxos e processos correspondentes ao Cenário 01, bem como os volumes que passam pelo sistema. Para situação inicial, o abastecimento da residência demanda  $137,91 \pm 1,3$  m<sup>3</sup> de água provindos da concessionária por ano, onde  $132,61 \pm 1,3$  m<sup>3</sup> são descartados na forma de esgoto sanitário ao final dos processos. A diferença entre os volumes de entrada e saída na forma de esgoto sanitário é igual a  $5,3$  m<sup>3</sup> e corresponde a parcela que evapora nos processos. Os processos “bacia sanitária” e “chuveiro” são os maiores consumidores de água, correspondendo a quase 60 % do volume total utilizado pela residência, seguido por “lavatório” e “máquina de lavar” que somam quase 30 % do volume total. Com relação a precipitação, cerca de 70 % do volume de chuva é escoado superficialmente e descartado na forma de esgoto pluvial.



**Figura 3: Sistema de AFM para o cenário 01 da residência.**

Na Tabela 5 são apresentados os fluxos existentes demandados por cada processo, após a conciliação de dados realizado pelo software de AFM.

**Tabela 5: Volumes dos fluxos após conciliação dos dados pelo Stan para o Cenário 01**

CONSUMO RESIDÊNCIAL PARA DIFERENTES PROCESSOS DO CENÁRIO 01 EM M <sup>3</sup>							
	Bacia sanitária	Chuveiro	Lavatório	Máquina de lavar	Tanque	Ingestão	Limpeza
<b>Abastecimento público</b>	47,28 ± 0,4	33,57 ± 0,5	20,19 ± 0,2	16,3 ± 1,1	1,74 ± 0,1	2,23 ± 0,1	3,9 ± 0,1
<b>Fonte alternativa</b>	-	-	-	-	-	-	-

Os processos “preparação de alimentos” e “lavação de louça” não sofrem alteração em qualquer cenário. Em todas as situações seus valores são os mesmos (6,02 ± 0,2 m<sup>3</sup> e 6,68 ± 0,2 m<sup>3</sup>, respectivamente) e por isso não foram inseridos nas tabelas individuais de cada cenário.

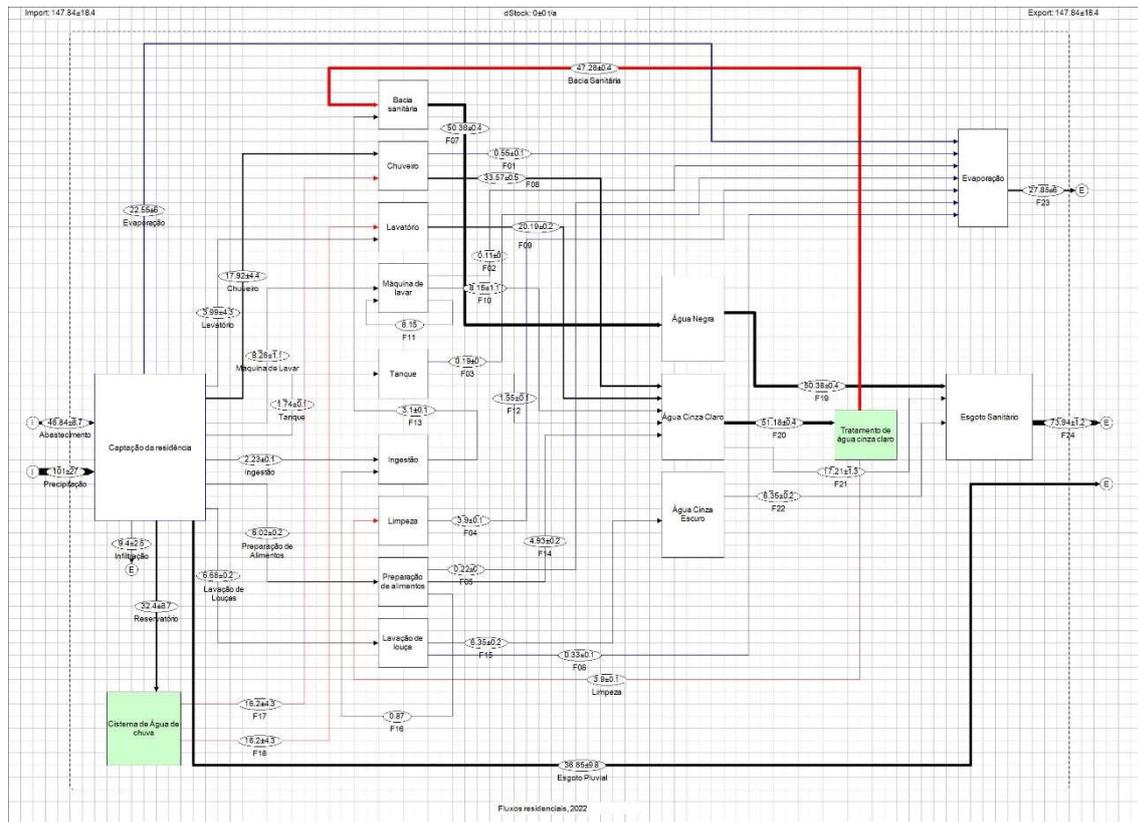
## CENÁRIO 02

No Cenário 02 os resíduos gerados foram separados em água negra, água cinza escuro e água cinza claro, sendo esse último tratado e reutilizado nos processos “bacia sanitária” e “limpeza”. São gerados cerca de 69 m<sup>3</sup> de água cinza claro, onde 47,28 m<sup>3</sup> são aplicados na bacia sanitária e 3,9 m<sup>3</sup> na limpeza, após tratamento, restando

18,4 m<sup>3</sup> que não são tratados e destinados ao esgoto sanitário. Além disso, há a captação da água da chuva em um reservatório onde o volume armazenado, igual a 32,4 ± 8,7 m<sup>3</sup>, é posteriormente aplicado no chuveiro e no lavatório, numa proporção de 50 % para cada, diminuindo o volume necessário da concessionária para 17,92 ± 4,4 m<sup>3</sup> com relação ao chuveiro (que no cenário 01 era 33,57 ± 0,5 m<sup>3</sup>) e 3,99 ± 4,3 m<sup>3</sup> para o lavatório (que no cenário 01 era 20,19 ± 0,2 m<sup>3</sup>).

Além da reutilização da água cinza claro, há também uma rotação na máquina de lavar que corresponde a água de enxague das roupas, uma vez que essa é mais limpa e pode ser reutilizada para lavagens subsequentes. Para essa reutilização, foi considerado que a lavagem é feita em 2 ciclos, sendo cada ciclo correspondente a 50% do volume total de água necessário para utilização da máquina de lavar, onde o primeiro ciclo corresponde ao processo de ensaboar a roupa, e o segundo ao enxague, sendo essa a parcela reutilizada. Dessa forma, dos 16,3 ± 1,1 m<sup>3</sup> necessários para o uso da máquina de lavar, apenas 8,26 ± 1,1 m<sup>3</sup> precisam ser abastecidos da fonte descentralizada.

Dessa forma, tem-se que para abastecimento da residência, é necessário que 46,84 ± 8,7 m<sup>3</sup> sejam providos da concessionária, gerando um volume de 73,94 ± 1,2 m<sup>3</sup> de esgoto sanitário, para o presente cenário, como pode ser visto na Figura 4, e o esgoto pluvial passa de 69,05 ± 18,5 m<sup>3</sup> para 36,65 ± 9,8 m<sup>3</sup> já que uma parcela da água precipitada é armazenada.



**Figura 4: Sistema de AFM para o Cenário 02 da residência.**

Os fluxos existentes demandados por cada processo com suas parcelas de contribuição das fontes alternativas e da concessionária, após a conciliação de dados realizado pelo software de AFM do Cenário 02 estão representados na Tabela 6.

**Tabela 6: Volumes dos fluxos após conciliação dos dados pelo Stan para o cenário 02**

CONSUMO RESIDENCIAL PARA DIFERENTES PROCESSOS DO CENÁRIO 02 EM M <sup>3</sup>							
	Bacia sanitária	Chuveiro	Lavatório	Máquina de lavar	Tanque	Ingestão	Limpeza

<b>Abastecimento público</b>	-	17,92 ± 4,4	3,99 ± 4,3	8,26 ± 1,1	1,74 ± 0,1	2,23 ± 0,1	-
<b>Fonte alternativa</b>	47,28 ± 0,4	16,2 ± 4,3	16,2 ± 4,3	8,15	-	-	3,9 ± 0,1

### CENÁRIO 03

O Cenário 03 apresenta a mesma configuração do Cenário 01: não há utilização de fontes descentralizadas de abastecimento, nem aplicação da água pluvial. Nesse cenário a utilização de aparelhos hidro eficientes é aplicada como forma de redução do consumo de água. Os aparelhos substituídos por suas versões hidro eficientes são a bacia sanitária, chuveiro e máquina de lavar, que somados correspondem a 70 % de todo o volume necessário da residência, no cenário padrão. A bacia sanitária apresenta uma redução no consumo de aproximadamente 87 % em comparação ao cenário base, o que corresponde a quase 41 m<sup>3</sup>, enquanto o chuveiro e a máquina de lavar apresentam redução de aproximadamente 45 % e 72 %, respectivamente.

O abastecimento necessário para o presente cenário é igual a 70,06 ± 1,1 m<sup>3</sup> e gera um volume residual de esgoto sanitário igual a 64,76 ± 1,1 m<sup>3</sup>. Em comparação ao cenário base, há uma redução de 49 % do volume necessário para o abastecimento e 51 % do volume residual gerado. Os valores relativos a precipitação e esgoto pluvial permanecem inalterados, como pode ser visto na Figura 5.

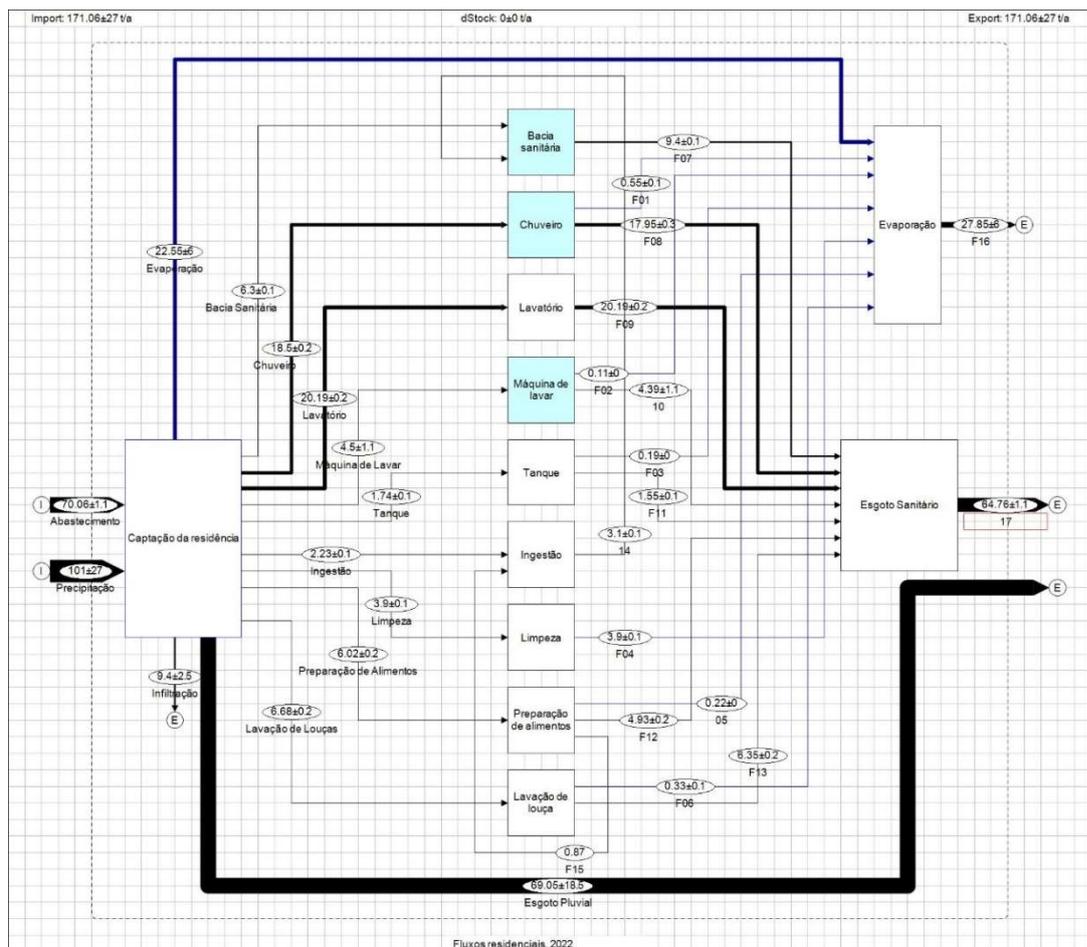


Figura 5: Sistema de AFM para o cenário 03 da residência.

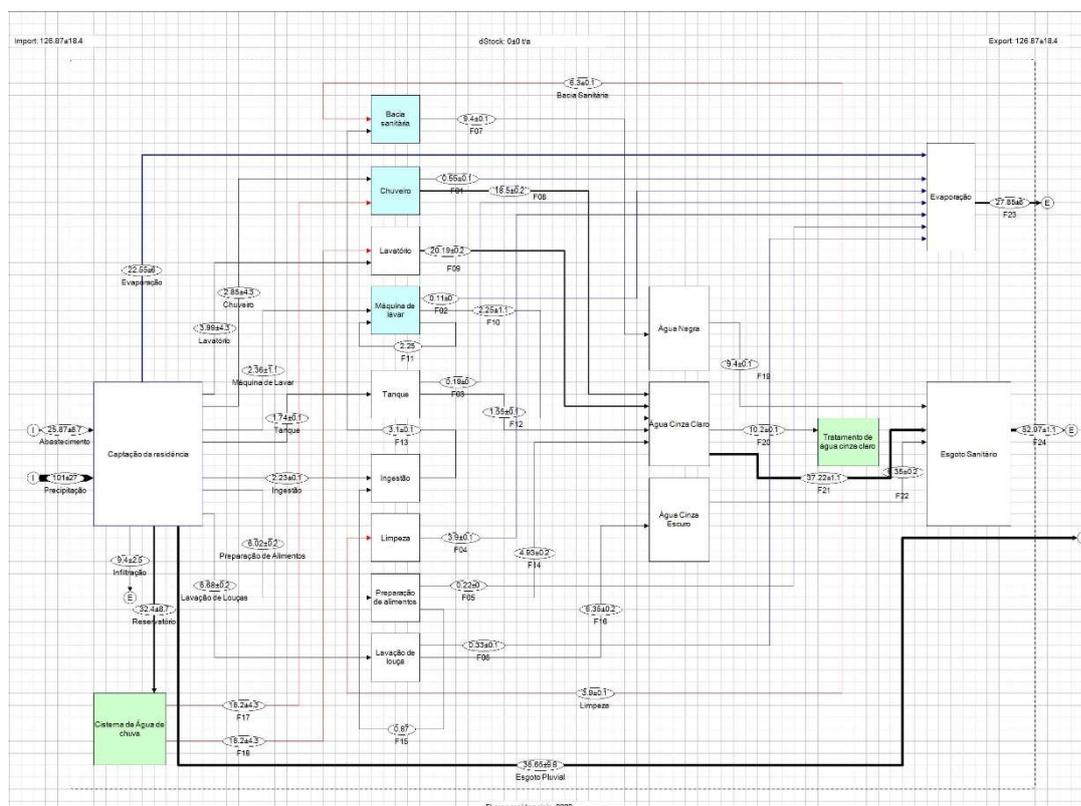
Na Tabela 7 são apresentados os fluxos existentes demandados por cada processo com a inclusão dos aparelhos hidro eficientes, após a conciliação de dados realizado pelo software de AFM.

**Tabela 7: Volumes dos fluxos após conciliação dos dados pelo Stan para o cenário 03**

CONSUMO RESIDENCIAL PARA DIFERENTES PROCESSOS DO CENÁRIO 03 EM M <sup>3</sup>							
	Bacia sanitária	Chuveiro	Lavatório	Máquina de lavar	Tanque	Ingestão	Limpeza
<b>Abastecimento público</b>	6,3 ± 0,1	18,5 ± 0,2	20,19 ± 0,2	4,5 ± 1,1	1,74 ± 0,1	2,23 ± 0,1	3,9 ± 0,1
<b>Fonte alternativa</b>	-	-	-	-	-	-	-

**CENÁRIO 04**

O Cenário 04 traz a junção da utilização de aparelhos hidro eficientes e sistemas descentralizados de abastecimento de água. Assim como no cenário 02, há a captação da água da chuva que é utilizada para o abastecimento do chuveiro e do lavatório. No presente cenário, o chuveiro hidro eficiente necessita de  $18,5 \pm 7,3$  m<sup>3</sup>, e é abastecido pelo reservatório com  $16,2 \pm 4,3$  m<sup>3</sup>, necessitando apenas de  $2,85 \pm 8,4$  m<sup>3</sup> do abastecimento centralizado, uma redução de 84 % quando a fonte alternativa é utilizada em conjunto com o aparelho eficiente, em comparação a aplicação apenas da fonte descentralizada. Devido essa captação, o escoamento superficial também diminui, da mesma forma que ocorre no cenário 02. Também há diminuição do abastecimento devido a máquina de lavar hidro eficiente, onde o aparelho comum, mesmo com reutilização da água de enxague, consumia  $8,26 \pm 3,2$  m<sup>3</sup> da concessionária e agora passa a ser  $2,36 \pm 0,9$  m<sup>3</sup> quando há a conciliação entre fonte alternativa e aparelho eficiente, correspondendo a uma economia de 72 % para esse aparelho, mostrado na Figura 6.



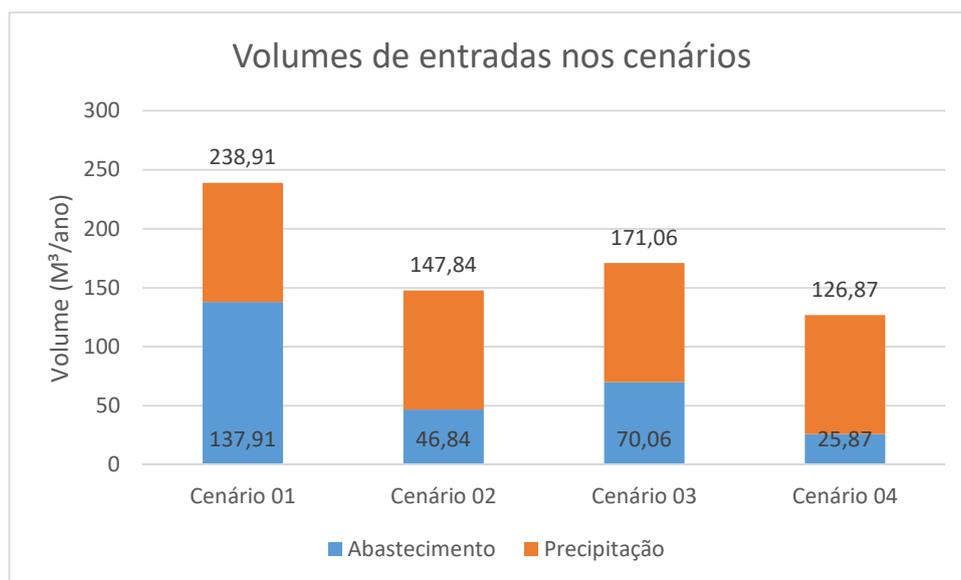
**Figura 6: Sistema de AFM para o cenário 04 da residência**

Após a conciliação de dados realizado pelo software de AFM do Cenário 04, tem-se os volumes demandados pela concessionária e abastecidos pelas fontes descentralizadas representados na Tabela 8.

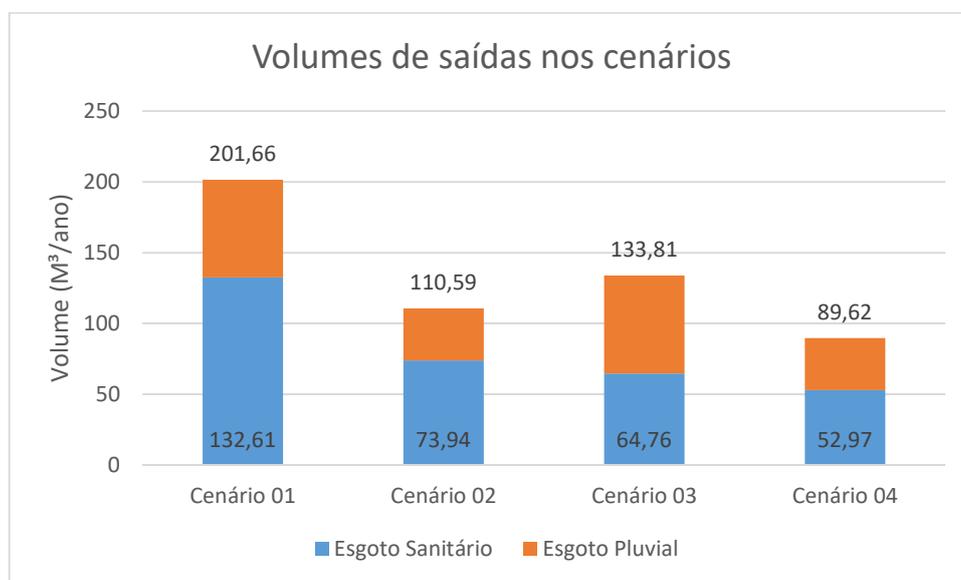
**Tabela 8: Volumes dos fluxos após conciliação dos dados pelo Stan para o cenário 04**

CONSUMO RESIDENCIAL PARA DIFERENTES PROCESSOS DO CENÁRIO 04 EM M <sup>3</sup>							
	Bacia sanitária	Chuveiro	Lavatório	Máquina de lavar	Tanque	Ingestão	Limpeza
<b>Abastecimento público</b>	-	2,85 ± 4,3	3,99 ± 4,3	2,36 ± 1,1	1,74 ± 0,1	2,23 ± 0,1	-
<b>Fonte alternativa</b>	6,3 ± 0,1	16,2 ± 4,3	16,2 ± 4,3	2,25	-	-	3,9 ± 0,1

O Cenário 02, que possui apenas fontes alternativas, é abastecido por  $46,84 \pm 8,7 \text{ m}^3$ , enquanto o cenário 04 é abastecido por  $25,87 \pm 8,7 \text{ m}^3$ , correspondendo a uma economia de  $20,97 \text{ m}^3$ , sendo  $5,9 \text{ m}^3$  devido a utilização da máquina de lavar hidro eficiente e  $15,07 \text{ m}^3$  por causa da utilização do chuveiro hidro eficiente abastecido pelo reservatório. A bacia hidro eficiente, em conjunto com o tratamento de água cinza não apresenta redução no volume necessário para abastecer a residência, pois o volume gerado nos demais processos produz água cinza suficiente para abastecer a bacia sanitária comum. A aplicação da bacia sanitária eficiente abastecida por água cinza tratada apenas reflete numa diminuição da utilização água cinza tratada (que no Cenário 02 era de  $47,28 \pm 0,4 \text{ m}^3$  para esse aparelho, e agora passa a ser  $6,3 \pm 0,1 \text{ m}^3$ ) e um desperdício maior dessa água cinza, que no Cenário 02 era  $17,21 \pm 1,3 \text{ m}^3$  e agora passa a ser  $37,22 \pm 1,1 \text{ m}^3$ . As figuras 7a e 7b apresentam, respectivamente, os volumes de abastecimento dos cenários e os volumes que são descartados posteriormente na forma de esgoto sanitário e pluvial.



**Figura 7a: Volumes de entradas e saídas nos cenários**



**Figura 7b: Volumes de entradas e saídas nos cenários**

## RESULTADO DOS INDICADORES

A tabela 9 apresenta os resultados dos indicadores, “Eficiência Hídrica Urbana”; “Internalização do Abastecimento de Água” e “Índice de Perturbação Hídrica”, respectivamente, propostos na metodologia e calculados para cada cenário avaliado.

**Tabela 9: Resultado dos indicadores para cada cenário**

Indicador	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
<b>EU</b>	46,0	15,6	23,4	8,6
<b>IA</b>	0,0	0,66	0,0	0,63
<b>IPH</b>	0,71	0,88	0,71	0,88

Como esperado, o indicador que mede a eficiência hídrica urbana por pessoa (EU), possui melhores resultados nos cenários que consomem menores volumes de água (cenário 02 e 04), uma vez que a população estudada permanece a mesma nos quatro cenários. Os menores valores mostram um menor volume de água que precisa ser retirado da natureza, por pessoa, para ser realizado o abastecimento.

Com relação ao indicador que mede a internalização do abastecimento de água (IA), temos que para os cenários 01 e 03, seu valor é 0, já que não há nenhum tipo de reutilização da água, e nos cenários 02 e 04 são, 0,66 e 0,63, respectivamente, indicando que no cenário 02, 66% do volume usado no sistema é derivado de fontes alternativas de uso da água de chuva ou reaproveitamento de água cinza, e no cenário 04, esse volume corresponde a 63%, sendo valores aceitáveis, já que a pior situação corresponde aos valores mais próximos de 0, sendo esse o percentual de água reaproveitada, como é o caso dos cenários 01 e 03.

Para o indicador Índice de Perturbação Hídrica (IPH), nota-se que nos cenários sem captação de água de chuva (cenários 01 e 03) esse valor é menor que nos cenários onde existe essa captação. Como esse indicador é resultado da relação entre os volumes existentes na região antes da urbanização, e depois, os valores mais próximos de 1 apresentam um melhor resultado, pois corresponde a um cenário menos afetado pela urbanização, e que a água segue seu fluxo de uma forma mais próxima da naturalidade.

## CONCLUSÕES

Todos os cenários apresentam valores de evaporação e infiltração iguais já que, independentemente do volume demandado para utilização de um aparelho, após seu uso a água retida que irá evaporar não é alterada. Nos cenários em que há a captação da água da chuva (Cenário 02 e 04), o escoamento superficial diminui e consequentemente o volume de esgoto pluvial também é reduzido. A situação base, correspondente ao Cenário 01, não possui qualquer fonte alternativa de uso e aplicação da água nem há utilização de aparelhos hidro eficientes, e por isso apresenta o maior volume demandado da fonte descentralizada. Se comparado ao Cenário 03, que também não apresenta fontes alternativas, apenas aplicação de bacia, chuveiro e máquina de lavar hidro eficiente, existe uma redução de aproximadamente 50 % do consumo para esse cenário, enquanto o esgoto sanitário corresponde a uma redução de 52 %. A nível de redução do volume demandado, a aplicação de aparelhos hidro eficientes é menos eficaz que a utilização de fontes alternativas quando se analisa apenas o quesito de volume necessário para abastecimento da residência, sem levar em consideração custos de aplicação e manutenção dessas fontes alternativas.

O Cenário 03, que utiliza apenas aparelhos hidro eficientes ainda consome mais água que o Cenário 02, que não utiliza aparelhos eficientes, mas possui fontes alternativas de abastecimento, como aplicação da água cinza tratada e um reservatório que abastece processos dentro da residência. Essas fontes alternativas suprem, completamente ou parcialmente, a necessidade dos aparelhos que mais consomem dentro da residência: a bacia sanitária é 100 % abastecida pela água cinza tratada, enquanto o chuveiro e o lavatório apresentam, juntos, uma redução de 60 % do volume demandado da concessionária.

O Cenário 04 apresenta a melhor situação para consumo e resíduos gerados. A utilização de aparelhos eficientes com fontes alternativas apresenta uma redução significativa, principalmente por causa do reservatório de água da chuva. O chuveiro hidro eficiente demanda apenas  $2,85 \pm 8,4$  m<sup>3</sup>/ano da concessionária, e a máquina de lavar eficiente  $2,36 \pm 0,9$  m<sup>3</sup>/ano, apresentando uma redução de 20,97 m<sup>3</sup>/ano em relação ao Cenário 02, que é a diferença total entre os volumes demandados entre esses cenários, o que leva a concluir que a bacia sanitária eficiente abastecida com água cinza tratada não reduz de fato o abastecimento, apenas diminui o volume de água cinza que é tratado, aumentando o volume descartado que para o Cenário 02 é 18,4 m<sup>3</sup>/ano e no cenário 04 é 38 m<sup>3</sup>/ano.

Nota-se que a utilização de aparelhos hidro eficientes e fontes alternativas podem ser uma solução para a diminuição do consumo demandado e do resíduo gerado. O cenário base apresenta um consumo 80 % maior que o do cenário melhor avaliado (Cenário 04), enquanto o volume de resíduos gerado é 60 % maior.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABOUT STAN, Technische Universitat wien, 2012. Disponível em: <https://www.stan2web.net/infos/about-stan>.
2. ALBUQUERQUE, T. M. A. 2004. Seleção Multicritério de Alternativas para o Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de Bairro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
3. ASSUNÇÃO, L. V.; ASSUNÇÃO, R. V.; BOLINA, C. C.; GOMES, M. I. L. G.; MOREIRA, S. J.; JUNIOR, A. B. M. Residencial pontal das brisas: estudo dos benefícios gerado pelo aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Brazilian Journal of Development. v. 5, n. 5, p. 3501-3509, may. 2019, Curitiba, Brazil.
4. AUMOND, Eugenia e ALOYSIO, Miguel. Metabolismo Urbano E Fluxos De Resíduos Em Pequenos Municípios: Avanços Metodológicos Na Análise De Fluxos De Materiais Urban Metabolism and Waste Flows in Small Municipalities: Methodological Advances in Material Flow Accounting. v. 1, n. May, p. 129-140, 2017.
5. BARBOSA, Thiago. MINIMIZAÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA NO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UMA RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE FEIRA DE SANTANA/BA. v. 15, n. 2, p. 1-23, 2018.
6. BARBOSA, Thiago de Jesus. ALOCAÇÃO EFICIENTE DE FONTES DE ÁGUA EM UMA RESIDÊNCIA. p. 9-25, 2018.
7. BROOKS, D. B. 2006. An Operational Definition of Water Demand Management, Water Resources, v. 22, n. 4, p. 521-528
8. BRUNNER, Paul H. e RECHBERGER, Helmut. Pratical Handbook of Material Flow Analysis. [S.l.: s.n.], [S.d.].
9. CIBELY, Lyanne e TARSO, Marques. Gestão da demanda de água no agreste pernambucano. 2017.

10. CUNHA, Ananda Helena Nunes; e colab. O REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL: A IMPORTÂNCIA DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA NO PAÍS. v. 7, n. July, p. 1225–1248, 2011.
11. FAROQUI, Tauheed A. e RENOUF, Marguerite A. e KENWAY, Steven J. A metabolism perspective on alternative urban water servicing options using water mass balance. *Water Research*, v. 106, p. 415–428, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.014>>.
12. KENNEDY, Christopher e CUDDIHY, John e ENGEL-YAN, Joshua. *The Changing Metabolism of Cities*. v. 11, n. 2, 2007.
13. KENWAY, Steven e GREGORY, Alan e MCMAHON, Joseph. Urban water mass balance analysis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 15, n. 5, p. 693–706, 2011.
14. PETERS, Madelon Revelo. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Dissertação, Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 109, 2006.
15. RENOUF, M. A. e colab. Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance – Bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management. *Water Research*, v. 122, p. 669–677, 2017.
16. SELBORNE, Lord. A Ética do Uso da Água Doce: Um Levantamento. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1314, 2001.
17. SIPERT, Samuel. FLUXO DE MACRONUTRIENTES NO BRASIL: P E K. *Sustainability (Switzerland)*, v. 4, n. 1, p. 1–9, 2020.
18. WOLMAN, Abel. The metabolism of cities. *Contemporary Psychology: A Journal of Reviews*. [S.l.: s.n.], 1965
19. WONG, T. H. F. An Overview of Water Sensitive Urban Design Practices in Australia. *Water Practice & Technology*. v. 1, n° 1. 2006.
20. ZHANG, Y. (2013) Urban metabolism: A review of research methodologies, *Environmental Pollution*, 178, 463~473