

## MODELAGEM MATEMÁTICA ESTOCÁSTICA PARA DIMENSIONAMENTO DE TANQUES DE ÁGUAS CINZAS

José Eduardo Santos Araújo  
Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
[eduaraujocivil@hotmail.com](mailto:eduaraujocivil@hotmail.com)

Alcigeimes B. Celeste  
Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
[geimes@yahoo.com](mailto:geimes@yahoo.com)

### Resumo

Este trabalho estuda o dimensionamento de reservatórios de águas cinzas considerando as incertezas nos dados de entrada. A capacidade é encontrada por um processo de otimização que leva em consideração a confiabilidade do sistema e o risco de subdimensionar o mesmo. O resultado de capacidade para a maior confiabilidade e menor risco foi de apenas 64,27 litros para o estudo de caso. Para confirmar a aplicabilidade desse reúso de águas cinzas, foi realizada a simulação do consumo de água em um prédio com a utilização do sistema e comparado com o uso totalmente convencional. O modelo proposto forneceu um consumo bem inferior de água para descarga sanitária com o uso de reservatórios relativamente pequenos em cada apartamento.

**Palavras-chave:** Reservatório, Águas cinzas, Dimensionamento.

### Abstract

This work studies the sizing of greywater reservoirs considering the uncertainties in the input data. Capacity is found by an optimization process that takes into account the reliability of the system and the risk of undersizing it. The capacity results for maximum reliability e minimum risk was just of 64.27 liters for the case study. To confirm the applicability of this greywater reuse, a simulation of water consumption in a building was conducted using the system and compared with fully conventional use. The model provided a significantly lower water consumption for sanitary flushing by using relatively small reservoirs in each apartment.

**Keywords:** Reservoir, Greywater, Sizing.

# 1 Introdução

Os esgotos domésticos são constituídos principalmente por águas provenientes de banhos, urina, fezes, papel, resíduos alimentares, sabão, detergentes e águas de limpeza. Eles são gerados principalmente em residências, edifícios comerciais, instituições ou qualquer construção que possua banheiros, lavanderias, cozinhas ou outros equipamentos que utilizem água para atividades domésticas [6]. No que diz respeito à gestão da demanda, a reutilização de águas residuais sem contribuição fecal aparece como uma opção viável para atender a necessidades que não exigem água potável. Essas águas, denominadas águas cinzas, vêm do uso de pias, chuveiros, banheiras, máquinas de lavar roupas e tanques [7], e podem ser utilizadas na descarga de vasos sanitários.

Segundo [1] a reutilização de água de qualidade inferior para fins não potáveis é crucial para a sustentabilidade hídrica, pois reduz a demanda sobre os reservatórios. No entanto, o reúso de água exige medidas eficazes de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, que devem ser viáveis tanto técnica quanto economicamente. Assim, a principal vantagem do uso da água de reúso é a preservação da água potável, reservando-a exclusivamente para necessidades que requeiram sua potabilidade para o consumo humano. A substituição de água de boa qualidade por outra de qualidade inferior, adequada para seu destino específico, contribui para a redução da demanda sobre os mananciais de água pura [5].

O uso de águas servidas em fins não potáveis é uma iniciativa ecologicamente correta e muito incentivada em diversos países. No Brasil não é diferente, pois existe uma tendência em estudar mecanismos para a utilização dessas águas em atividades que não necessitem potabilidade [5]. Exemplo disso é a reutilização de águas cinzas provenientes do uso do lavatório do banheiro e do chuveiro para realizar a descarga do vaso sanitário. Nesses casos, o dimensionamento do tanque onde é armazenada a água cinza é tradicionalmente realizado de forma determinística, ou seja, sem considerar as incertezas da entrada (afluência) e demanda para o reservatório. Além disso, a concepção do projeto envolve a existência de um reservatório no pavimento térreo e o uso de motobombas para a elevação da água cinza para uma tubulação de alimentação dos vasos sanitários dos apartamentos [4].

Neste trabalho, o dimensionamento é realizado de forma estocástica, ao considerar as incertezas da afluência e da demanda do reservatório de água cinza. É considerado o comportamento horário das entradas e saídas de água do reservatório, ao invés de realizar o dimensionamento somente com a consideração do valor diário. O trabalho objetiva idealizar um modelo de utilização predial de águas cinzas para o consumo em descargas sanitárias sem que seja necessária a instalação de bombas elevatórias e gasto de energia.

## 2 Material e Métodos

Métodos tradicionais de dimensionamento de reservatórios como a curva de massa e a simulação utilizam séries históricas para calcular o volume ideal de armazenamento, garantindo uma regularização firme da demanda [9]. A curva de massa, introduzida por [11], considera as flutuações anuais e períodos críticos para determinar a capacidade mínima necessária. A simulação, através do balanço hídrico, permite maior flexibilidade ao considerar a possibilidade de falhas no atendimento à demanda [10]. Métodos de otimização, como programação linear, não linear e dinâmica, buscam minimizar a capacidade necessária para regularizar a demanda [3].

O modelo estocástico empregado para o dimensionamento dos tanques de água cinza foi o ARCOSOP, que originalmente foi apresentado por [8] para reservatório de barragens, mas que foi adaptado neste trabalho por conta de ambos serem problemas de abastecimento e obedecerem aos mesmos princípios físicos de entrada e saída de água, podendo ser modelados pela equação de balanço hídrico (Equação 2.2). Os autores do ARCOSOP aprimoraram o modelo desenvolvido por [3], denominado de ARCO (*active reservoir capacity optimizer*), ao incorporar a política de operação padrão (SOP: *standard operating policy*). O ARCOSOP é implementado no ambiente de programação GNU Octave (<https://www.gnu.org/software/octave/>) e resolvido por meio do pacote numérico GNU Linear Programming Kit (GLPK) (<https://www.gnu.org/software/glpk/>), ambos softwares de código livre. O ARCOSOP utiliza programação linear inteira mista e, neste trabalho, foi adaptado para encontrar a capacidade mínima de armazenamento  $K_a$  para atender uma dada demanda  $D_t$  perante uma série horária de entradas  $I_t$  ( $t = 1, \dots, N$ ) sujeito a um valor de confiabilidade mínima  $R_T^{\min}$  previamente assumido. A confiabilidade é o complemento da probabilidade de falhas, ou seja, uma confiabilidade igual a 100% significaria que no horizonte de planejamento não houve nenhuma falha. Com base em [8], a formulação final utilizada é mostrada a seguir:

$$\text{minimizar } K_a \tag{2.1}$$

sujeito a

$$S_t = S_{t-1} + I_t - R_t - Sp_t \quad \forall t, S_0 = S_N \quad (2.2)$$

$$K_a = S_{t-1} + I_t - D_t - Sp_t + Z_t \quad \forall t, S_0 = S_N \quad (2.3)$$

$$(1 - \beta_t) D_t \leq R_t \leq D_t \quad \forall t \quad (2.4)$$

$$\sum_{t=1}^N \beta_t \leq f_{\max} \quad (2.5)$$

$$Z_t - \mathcal{M} \cdot B_t \leq 0 \quad \forall t \quad (2.6)$$

$$Sp_t + \mathcal{M} \cdot B_t \leq \mathcal{M} \quad \forall t \quad (2.7)$$

$$R_t + v_t = S_{t-1} + I_t \quad \forall t, S_0 = S_N \quad (2.8)$$

$$R_t + u_t = D_t \quad \forall t \quad (2.9)$$

$$u_t - \mathcal{M} \cdot b_t \leq 0 \quad \forall t \quad (2.10)$$

$$v_t + \mathcal{M} \cdot b_t \leq \mathcal{M} \quad \forall t \quad (2.11)$$

$$0 \leq S_t \leq K_a \quad \forall t \quad (2.12)$$

$$K_a, Sp_t, Z_t, u_t, v_t \geq 0 \quad \forall t \quad (2.13)$$

$$\beta_t, B_t, b_t = 0 \text{ ou } 1 \quad \forall t \quad (2.14)$$

em que  $S_t$  é o armazenamento do reservatório no final do período;  $R_t$  é a alocação;  $Sp_t$  é o extravasamento;  $Z_t$  é o deplecionamento de volume do reservatório;  $f_{\max} = (1 - R_T^{\min}) N$  é o número máximo permitido de falhas de suprimento; e  $\beta_t$  é uma variável binária indicando falha ou sucesso no atendimento à demanda, da forma:

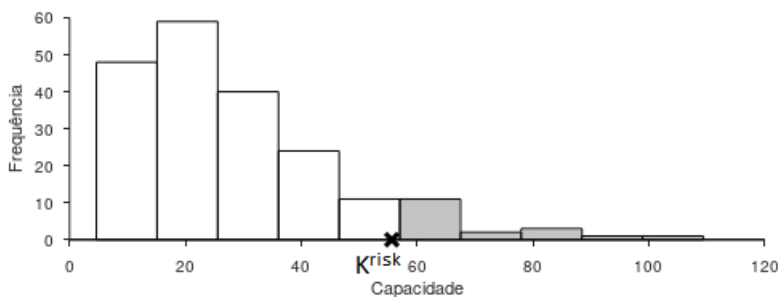
- $\beta_t = 1$  (falha): a restrição 2.4 torna-se  $0 \leq R_t \leq D_t$  e, portanto, a alocação pode ser menor do que a demanda;
- $\beta_t = 0$  (sem falha): a restrição 2.4 torna-se  $D_t \leq R_t \leq D_t \Rightarrow R_t = D_t$  e, portanto, a alocação atende à demanda.

As variáveis auxiliares  $\mathcal{M}$ ,  $u_t$ ,  $v_t$ ,  $B_t$  e  $b_t$  servem para forçar a utilização da política operacional padrão (que tenta sempre suprir a demanda o máximo possível) e para linearizar restrições originalmente não lineares. A restrição 2.5 garante que o número total de falhas não exceda  $f_{\max}$ , a fim de cumprir o requisito de confiabilidade mínima. Mais detalhes da formulação são descritos em [8].

A estocasticidade é incorporada por um procedimento de Monte Carlo, onde são aplicados dois estágios: dimensionamento e validação, cujos passos são listados abaixo (seguindo o indicado por [8]). A estocasticidade é incorporada justamente na criação de cenários de entradas para realizar o dimensionamento do reservatório, ou seja, não é utilizada série histórica determinística para o dimensionamento.

No estágio de dimensionamento, inicialmente, são gerados  $n_d$  cenários de entradas, cada um com comprimento  $N$ , utilizando um modelo estatístico baseado na série original de influxos. Em seguida, o ARCOSOP é empregado para determinar a capacidade ótima para cada cenário gerado. Com os dados obtidos, constrói-se a função de frequência (histograma) da capacidade, a partir da qual se determina (FFC: *frequency function of capacity*). A partir da FFC (ver Figura 1), determina-se a capacidade final do reservatório, assumindo um risco equivalente à probabilidade de subdimensionar a capacidade. A capacidade útil final, denominada  $K_a^{\text{risk}}$ , é calculada de forma que a probabilidade  $\mathbb{P}(K_a > K_a^{\text{risk}})$  seja igual ao risco RISK assumido, ou seja, a capacidade escolhida é aquela em que a probabilidade de serem necessárias capacidades maiores do que ela corresponde ao risco de subdimensionar. Esse procedimento trata do dimensionamento da capacidade final perante risco e confiabilidade predeterminados. Aqui, foram utilizados  $n_d = 200$  cenários de dimensionamento, cada um com comprimento  $N = 24$ , correspondente as horas do dia.

Figura 1: Representação do histograma de frequências da capacidade indicando que  $K_a^{\text{risk}}$  é escolhida de forma que  $\mathbb{P}(K_a > K_a^{\text{risk}}) = \text{RISK}$ , que corresponde a área sombreada.

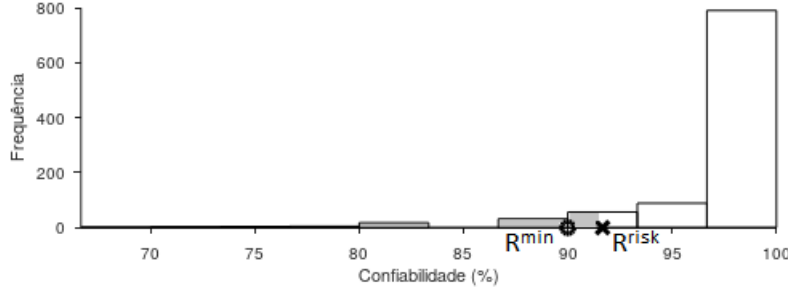


Fonte: Elaborada durante a pesquisa.

No estágio de validação, geram-se  $n_v$  cenários de entradas, diferentes dos cenários de dimensionamento, cada um com comprimento  $N$ , usando um modelo estatístico baseado na série original de influxos. O reservatório é operado assumindo  $K_a^{\text{risk}}$  como capacidade em cada cenário, calculando-se a confiabilidade  $R_T$  para cada operação. A função de frequência da confiabilidade é então determinada a partir desses resultados e utilizada para estimar a confiabilidade  $R_T^{\text{risk}}$  de modo que  $\mathbb{P}(R_T \leq R_T^{\text{risk}}) = \text{RISK}$  (ver Figura 2). Em seguida, estima-se o risco real de violar a  $R_T^{\text{min}}$ , denominado REALR, de modo que  $\mathbb{P}(R_T < R_T^{\text{min}}) = \text{REALR}$ . A capacidade  $K_a^{\text{risk}}$  é validada se  $R_T^{\text{min}} \leq R_T^{\text{risk}}$  ou se  $\text{REALR} \leq \text{RISK}$ . Esse procedimento tem como objetivo confirmar que a capacidade escolhida não violará a confiabilidade sob o risco assumido quando o reservatório for

operado para diversos cenários futuros de afluências. Nessa pesquisa, foram utilizados  $n_v = 1000$  cenários de validação, cada um com comprimento  $N = 24$ , correspondente as horas do dia.

Figura 2: Representação do histograma de frequência da confiabilidade indicando que  $R_T^{\text{risk}}$  é escolhida de forma que  $\mathbb{P}(R_T \leq R_T^{\text{risk}}) = \text{RISK}$ , que corresponde a área sombreada da figura. Se  $R_T^{\text{min}} \leq R_T^{\text{risk}}$ , então  $\mathbb{P}(R_T < R_T^{\text{min}})$  é menor do que o risco assumido, validando a capacidade escolhida do reservatório.



Fonte: Elaborada durante a pesquisa.

O procedimento realiza a criação de cenários que mantêm as características da série histórica original, média e desvio padrão, e que seguem a distribuição normal. O número de cenários não obedece regra específica, porém, como é feita uma análise de frequência, o ideal é ter cenários de dimensionamento suficientes para que a simulação seja validada corretamente.

Para o dimensionamento do reservatório foram analisados os dados horários de produção de águas cinzas pelo chuveiro e lavatório e de consumo pelo vaso sanitário. Esses dados foram extraídos de [2] e trazem o desvio padrão diário ( $\sigma_d$ ), porém, para este trabalho, foi necessário o desvio padrão horário ( $\sigma$ ). Em cada hora do dia  $t$  ( $t = 1, \dots, 24$ ), tem-se

$$x_t = \mu_t + \sigma \cdot \epsilon_t, \quad (2.15)$$

assumindo-se aqui um desvio padrão  $\sigma$  constante em cada hora. A variável aleatória em estudo (influxo ou demanda) é  $x_t$ ,  $\mu_t$  é a média na hora  $t$  e  $\epsilon_t$  é uma variável aleatória de média zero e variância unitária. Logo, foi assumido que  $x_t$  segue uma distribuição gaussiana.

O total diário  $x_d$  de  $x$  é, portanto,

$$x_d = \sum_{t=1}^{24} x_t = \sum_{t=1}^{24} (\mu_t + \sigma \cdot \epsilon_t) = \sum_{t=1}^{24} \mu_t + \sigma \sum_{t=1}^{24} \epsilon_t. \quad (2.16)$$

Assim, a média  $\mu_d$  do valor diário calculada para um total de  $n_c$  cenários é igual a soma da variável  $x_d^k$  em cada cenário  $k = 1, \dots, n_c$  dividida pelo número de cenários:

$$\mu_d = \frac{1}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} x_d^k = \frac{1}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} \left( \sum_{t=1}^{24} \mu_t + \sigma \sum_{t=1}^{24} \epsilon_t \right). \quad (2.17)$$

Similarmente, a variância  $\sigma_d^2$  do valor diário calculado para um total de  $n_c$  cenários vale

$$\sigma_d^2 = \frac{1}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} (x_d^k - \mu_d)^2, \quad (2.18)$$

que, substituindo-se as expressões anteriores, torna-se

$$\sigma_d^2 = \frac{\sigma^2}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} \left( \sum_{t=1}^{24} \epsilon_t^k - \frac{1}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} \sum_{t=1}^{24} \epsilon_t^k \right)^2. \quad (2.19)$$

Definindo-se o somatório  $S_\epsilon^k = \sum_{t=1}^{24} \epsilon_t^k$ , a variância  $\sigma_d^2$  pode ser escrita da forma

$$\sigma_d^2 = \frac{\sigma^2}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} (S_\epsilon^k - \mu_{S_\epsilon})^2, \quad (2.20)$$

em que  $\mu_{S_\epsilon} = \frac{1}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} S_\epsilon^k$  é a média da variável  $S_\epsilon$  para o total de  $n_c$  cenários. Uma vez que a variância de  $S_\epsilon$  vale  $\sigma_{S_\epsilon}^2 = \frac{1}{n_c} \sum_{k=1}^{n_c} (S_\epsilon^k - \mu_{S_\epsilon})^2$ , a Equação 2.20 é simplificada por

$$\sigma_d^2 = \sigma^2 \cdot \sigma_{S_\epsilon}^2. \quad (2.21)$$

Visto que  $S_\epsilon^k = \sum_{t=1}^{24} \epsilon_t^k$  e sendo as variáveis  $\epsilon_t$  ( $t = 1, \dots, 24$ ) independentes, a variância de  $S_\epsilon$  pode ser calculada pela soma das variâncias de  $\epsilon_t$ :

$$\sigma_{S_\epsilon}^2 = \sum_{t=1}^{24} \sigma_{\epsilon_t}^2 = 1 + \dots + 1 = 24, \quad (2.22)$$

já que cada  $\epsilon_t$  tem variância unitária. Isso e a Equação 2.21 dão condições para se estimar, portanto, o desvio padrão horário  $\sigma$  a partir do desvio diário  $\sigma_d$  e do desvio de  $S_\epsilon$ :

$$\sigma = \frac{\sigma_d}{\sigma_{S_\epsilon}} = \frac{\sigma_d}{\sqrt{24}}. \quad (2.23)$$

Os desvios padrões extraídos de [2] são per capita, ou seja, não consideram o que ocorre em uma residência, por exemplo, em que a geração horária de todos os contribuintes são somadas. Algebricamente, multiplicar um conjunto de dados  $x_t$  por um

número de pessoas  $NP$  gera uma alteração no desvio padrão proporcionalmente, como segue.

Seja a variável  $z$  definida por  $z_t = NP \cdot x_t$ . A sua média para um total de  $n$  valores será

$$\mu_z = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n z_t = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (NP \cdot x_t) = NP \cdot \mu, \quad (2.24)$$

onde  $\mu$  é a média de  $x$ . Adicionalmente, a variância  $\sigma_z^2$  de  $z$  será

$$\begin{aligned} \sigma_z^2 &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (z_t - \mu_z)^2 \\ &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (NP \cdot x_t - NP \cdot \mu)^2 \\ &= NP^2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \mu)^2 \\ &= NP^2 \cdot \sigma^2. \end{aligned} \quad (2.25)$$

que permite calcular o desvio padrão de  $z$  a partir do correspondente desvio de  $x$ :

$$\sigma_z = NP \cdot \sigma. \quad (2.26)$$

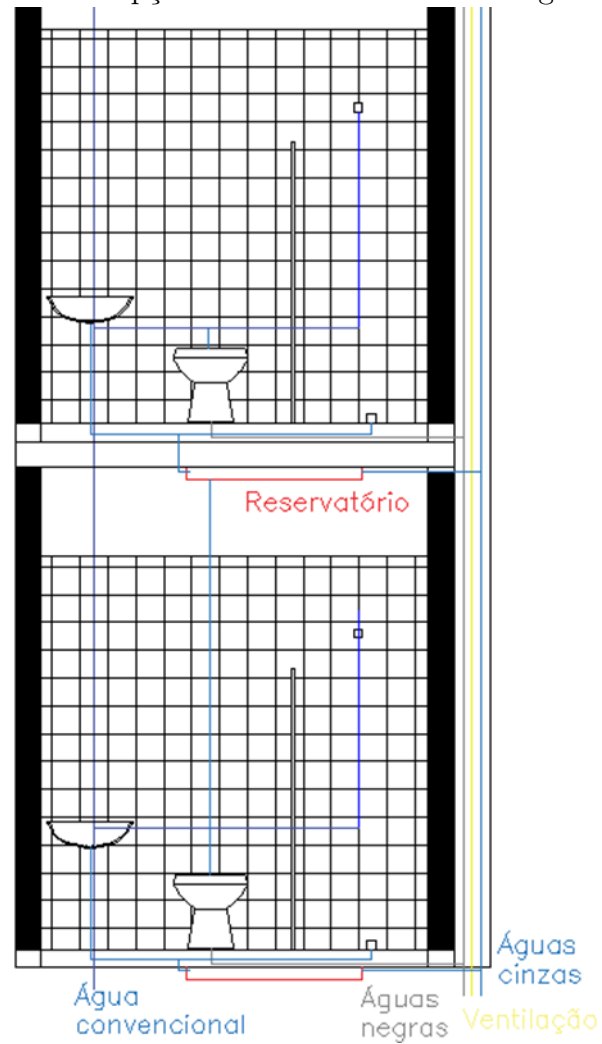
### 3 Resultados e Discussão

O sistema proposto nesse trabalho utiliza as águas servidas para dimensionar e abastecer um reservatório de águas cinzas que servirá para prover água suficiente para as demandas do vaso sanitário do pavimento abaixo. Para realizar essa utilização, faz-se necessário separar as tubulações de esgoto secundário (lavatório e chuveiro) das tubulações de esgoto primário (vaso sanitário). Além disso, a configuração inclui o direcionamento das águas cinzas para o reservatório localizado no teto do banheiro do pavimento inferior e o eventual extravasamento seria direcionado para tubos de queda específicos de águas cinzas localizado em shafts verticais que poderão abastecer o reservatório localizado no térreo do prédio e desse modo atender a outros usos. A Figura 3 traz a concepção do sistema para o último pavimento do prédio e o correspondente pavimento inferior. O sistema não utilizará bombeamento, ou seja, sempre irá trabalhar a favor da gravidade e sem custo energético.

Para realizar o dimensionamento do reservatório de águas cinzas a fim de abastecer a demanda do vaso sanitário foram utilizados dados de estudo de caso em residência



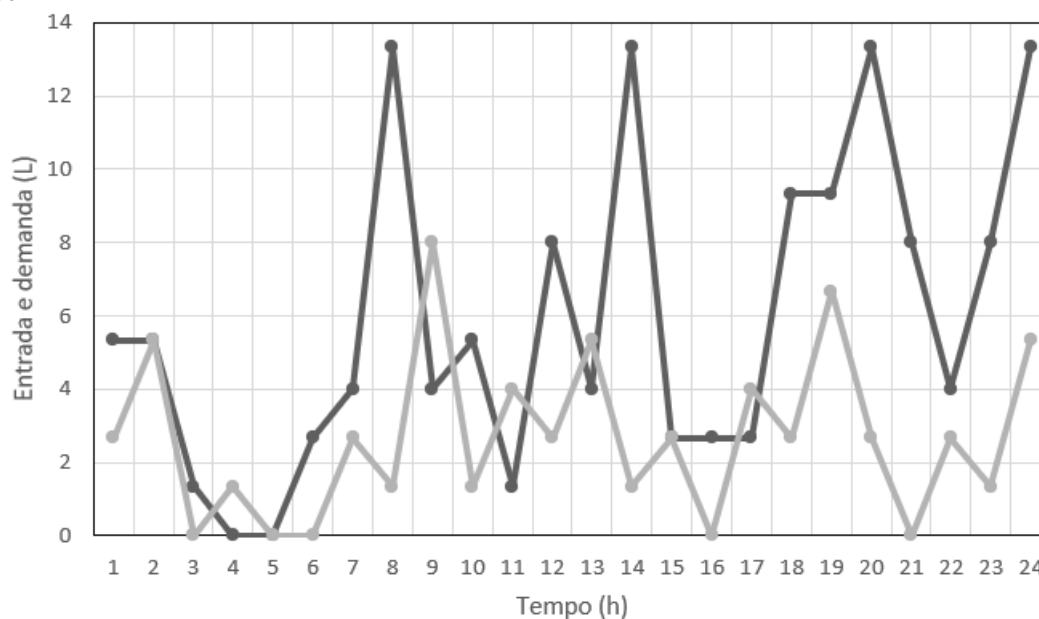
Figura 3: Concepção do sistema de reúso de águas cinzas.



Fonte: Elaborada durante a pesquisa.

brasileira apresentados em [2], onde foi assumida uma residência com três moradores. No entanto, a presente investigação considerou uma residência padrão que recebe uma contribuição de quatro pessoas e, sendo assim, foi realizada uma adaptação nesses dados. A referida pesquisa demonstrou uma significativa contribuição de águas cinzas provenientes do chuveiro da residência. Logo, não seria necessária a contribuição do lavatório do banheiro para operar a demanda do vaso sanitário. Os dados, somente com a utilização do chuveiro e com a modificação expressa anteriormente, estão presentes na Figura 4 que demonstra a variação horária das séries de entrada e demanda do reservatório.

Figura 4: Série de entradas (preto) e demandas (cinza) utilizadas para o dimensionamento.



Fonte: Figura elaborada com base nos dados disponibilizados em [2].

Simulações foram conduzidas para um total de 25 configurações de valores de confiabilidade e risco e os resultados são mostrados na Tabela 1, sendo que o volume foi de 64,27 litros para a confiabilidade de 100% e risco de 1%.

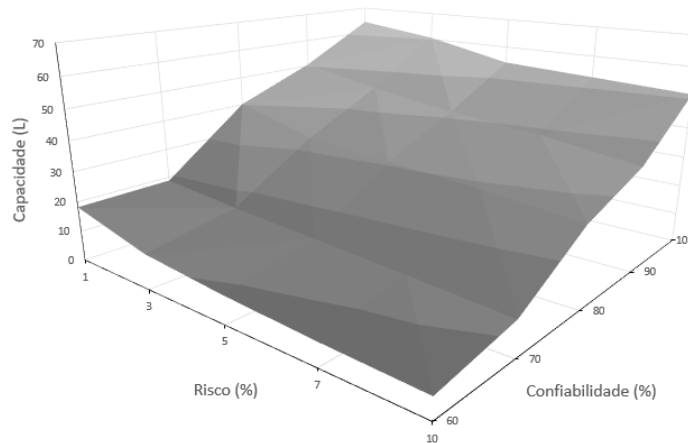
Tabela 1: Capacidades (em litros) encontradas para as entradas propostas.

$R_T^{\min}(\%)$	RISK(%)				
	1	3	5	7	10
60	18,25	11,49	9,01	7,43	6,42
70	18,77	16,49	14,85	13,12	11,15
80	40,17	32,99	30,68	28,99	26,11
90	50,57	45,47	41,38	38,79	34,54
100	64,27	60,53	54,24	52,68	51,10

Fonte: Elaborada durante a pesquisa.

Foi criado o gráfico tridimensional mostrado na Figura 5 que relaciona as três variáveis a partir dos dados da tabela anterior.

Figura 5: Capacidade vs. confiabilidade e risco.



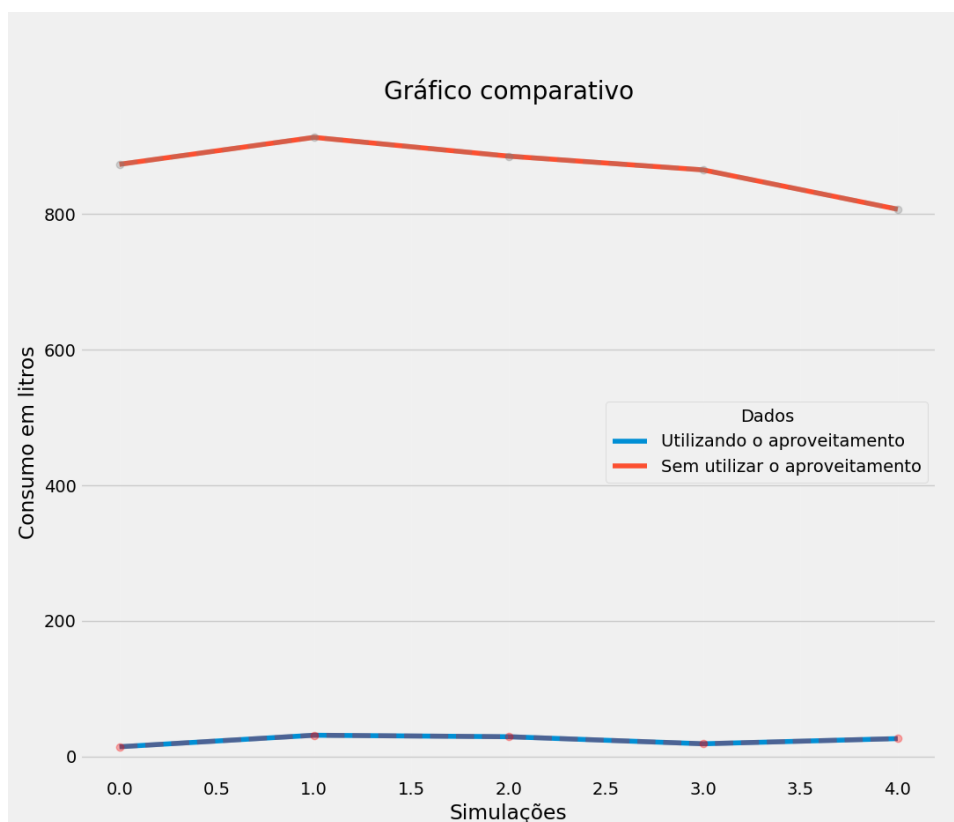
Fonte: Elaborada durante a pesquisa.

Nota-se que a capacidade é diretamente proporcional a confiabilidade desejada e inversamente proporcional ao risco, ou seja, quanto menor o risco assumido maior será a capacidade requerida.

Adicionalmente, foi produzido um programa com interface gráfica na linguagem Python para realizar simulações do uso com reaproveitamento de águas cinzas e efetuar a comparação com a quantidade de água consumida pelos vasos sanitários de forma convencional em um prédio residencial. Para a entrada dos dados do programa de simulação é necessária a indicação da quantidade de pavimentos, quantidade de apartamentos por pavimento, número de dias para uma simulação e quantidade de simulações. A simulação é feita considerando o reservatório com volume dimensionado

utilizando dados da pesquisa de [2]. A Figura 6 apresenta o gráfico com os resultados comparativos para o cenário de entrada de 04 pavimentos com 02 apartamentos cada. Nota-se que é apresentado o consumo em litros de água potável para a realização de descarga sanitária para o prédio, ou seja, é realizado o somatório das contribuições de todos os apartamentos para o período de dois dias. Infere-se que o consumo de água convencional realizado pelo sistema proposto por esse trabalho é significativamente menor do que o uso totalmente convencional e acontece apenas nos momentos em que os reservatórios estão vazios e na alimentação do último pavimento do prédio (cobertura), nesse último caso por conta do sistema depender exclusivamente da gravidade, sendo necessária a existência de um pavimento superior para fornecer águas cinzas.

Figura 6: Gráfico comparativo de consumo do vaso sanitário com e sem reaproveitamento.



Fonte: Elaborada durante a pesquisa.

## 4 Conclusão

Esta pesquisa propôs o dimensionamento de forma estocástica de um reservatório de água cinza para suprir a demanda do vaso sanitário. Foi considerada a vazão horária dos aparelhos hidrossanitários e foram feitas modificações para encontrar o desvio padrão horário a partir do desvio padrão diário.

No dimensionamento, foram consideradas as incertezas da afluência e da demanda e a validação foi realizada por meio do procedimento de Monte Carlo com a análise de distribuições de frequência das variáveis envolvidas. No caso da confiabilidade máxima e do menor risco, foi encontrado o volume de 64,27 litros para o reservatório, volume que representaria um reservatório de dimensões relativamente pequenas e com alta aplicabilidade.

Para confirmar a aplicabilidade do sistema, foi realizada a simulação do consumo de água convencional para a descarga sanitária em um prédio com o uso das águas cinzas e foi efetuada a comparação com o uso totalmente convencional. Notou-se que o sistema proposto utilizou uma quantidade bem inferior de água potável para o funcionamento dos vasos sanitários no prédio.

## Referências

- [1] Anderson, J. Prospects for international guidelines for water recycling. *Water*, v. 21, p. 16–21, 2001.
- [2] Barreto, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. *Ambiente Construído*, v. 8, n. 2, p. 23–40, 2008.
- [3] Celeste, A. B. Reservoir design optimization incorporating performance indices. *Water Resources Management*, v. 29, n. 12, p. 4305–4318, 2015.
- [4] Ferreira, D. F. *Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis-SC*. São Paulo, 2005. 152 f, Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- [5] Fiori, S.; Fernandes, V. M. C.; Pizzo, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. *Ambiente Construído*, v. 6, n. 1, p. 19–30, 2006.
- [6] Funasa. *Manual de Saneamento*. Brasília: Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 2006.

- [7] Jefferson, B. et al. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*, v. 1, n. 4, p. 285–292, 2000.
- [8] Lima, A. C. C; Celeste, A. B; Cai, X. A mixed-integer linear optimization model for reservoir sizing incorporating performance measures: Deterministic and stochastic frameworks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 148, n. 7, 2022.
- [9] McMahon, T. A.; Adeloje, A. J. *Water Resources Yield*. Highlands Ranch, CO: Water Resources Publication, 2005.
- [10] Pretto, P. B., Chiew, F. H.; McMahon, T. A.; Vogel, R. M.; Stedinger, J. R. The (mis)behavior of behavior analysis storage estimates. *Water Resources Research*. vol. 33, n. 4, p. 703–709, 1997.
- [11] Rippl, W. The capacity of storage-reservoirs for water-supply. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. v. 71, p.270–278, 1883.

**Recebido em 27 de Novembro de 2023.**

**Revisado em 21 de Junho 2024.**

**Revisado em 08 de Agosto 2024.**

**Aceito em 10 Agosto 2024.**