

## IX-930 - POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL (ESTUDO DE CASO)

**Matheus Silva de Azevêdo<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Rubens Francisco Dias, 205 – Condomínio Verde Ville, Papagaio – Feira de Santana - BA - CEP: 44059-370 - Brasil - Tel: (75) 98216-0115 - e-mail: [matheus.azevedo150@gmail.com](mailto:matheus.azevedo150@gmail.com)

### RESUMO

A utilização de sistemas de aproveitamento de água da chuva pode contribuir para a gestão do escoamento superficial das águas pluviais. Este trabalho busca avaliar qual o potencial de redução no escoamento superficial a partir da adoção de sistemas de captação de águas pluviais com base no valor de Curva-Número (CN) do terreno natural. Para análise, adotou-se o valor de CN do terreno natural correspondente a região de Feira de Santana – BA. Avaliando o efeito de diferentes demandas de água pluvial frente a ampliação do volume de armazenamento, mesmo para a menor fração de demanda, foi obtido uma redução na frequência de eventos de escoamento equivalente à 76%. Entretanto, demandas muito baixas, necessitaram de volumes de armazenamento muito elevados para atender a condição de pré-urbanização. A equação obtida a partir da curva de ajuste no gráfico da fração de armazenamento pela fração de demanda na condição de CN =76, mostrou que o modelo pode ser usado para encontrar o valor de fração de armazenamento a partir de uma demanda conhecida, com confiança de, aproximadamente, 84% ( $R^2 = 0,84$ ) nos resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Armazenamento de Água de Chuva, Escoamento Superficial, Drenagem Urbana, Curva Número, Fração de Demanda, Fração de Armazenamento.

### INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da malha urbana das cidades, aumentando a área de impermeabilização do solo com a pavimentação de ruas, telhados e pisos, resultou em um maior volume de escoamento superficial, levando a enchentes urbanas. De acordo com Tucci (2007), a água que antes escova lentamente, sendo retida parte pelas plantas e parte infiltradas, passa a escoar pelos condutos, resultando no aumentando do volume do escoamento, da vazão máxima, e na antecipação do pico de vazão, tendo como consequência a necessidade de maiores seções para os canais de drenagem.

Os desafios para conter os problemas das inundações nas cidades também está relacionado ao poder público não gerenciar de forma adequada o crescimento da malha urbana. Quando o poder público deixa de controlar a urbanização ou não amplia a capacidade de macrodrenagem, as enchentes ocorrerão, levando a perdas sociais e econômicas (TUCCI, 2007). Para Nguyen e Han (2018), isso ocorre devido ao pensamento tradicional de “Drain City” (Cidade Drenagem), cujo único propósito no gerenciamento de águas pluviais está em drena-la de modo a evitar inundações dentro da área da edificação ou loteamento, não levando em consideração que a água drenada a montante eventualmente causará danos a jusante, criando a necessidade de mais investimentos em infraestrutura hídrica a jusante.

O Sistema de captação de águas pluviais, captação de água da chuva, ou, como conhecido internacionalmente, o Rainwater harvesting (RWH), tem como objetivo o controle do escoamento superficial na fonte, reduzindo os picos de vazão afim de mitigar inundações. O escoamento é amortecido por meio de reservatórios com intuito de deter temporariamente ou reter o volume de água. A implantação desses reservatórios apresenta-se como recurso eficiente no que diz respeito a atenuação nos picos de vazão para eventos extremos (FRANCISCHET, 2021; VERGTZ, PEREIRA E SCHMIDT, 2019).

Esse trabalho busca avaliar quanto um sistema de armazenamento de água da chuva pode contribuir para a redução do escoamento superficial, verificando o efeito de diferentes volumes de armazenamento frente a diferentes demandas por água pluvial, visando por meio de modelagens matemáticas, encontrar uma relação

para prever o volume de reservatório capaz de reduzir o escoamento superficial ao equivalente do terreno antes da urbanização.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta pesquisa tem como foco o estudo do impacto da adoção de medidas de compensação estrutural por meio de simulações matemáticas, onde a estrutura passa a ser uma edificação fictícia com cobertura de 80 m<sup>2</sup>, localizada na área urbana da cidade de Feira de Santana – BA. Os dados de precipitação utilizados no trabalho foram obtidos a partir de uma estação meteorológica da região de Feira de Santana, abrangendo um período de 20 anos, partindo de 01/01/1998 à 31/12/2017 (INMET, 2019).

Um modelo computacional usando software Excel foi utilizado para obtenção de maneira simulada do balanço hídrico, considerando a demanda e a precipitação diária, sendo o método Soil Conservation Service – Curve Number (SCS-CN) aplicado para o cálculo da precipitação efetiva. A Fração de Demanda e a Fração de Armazenamento, foram dois parâmetros utilizados no modelo por serem parâmetros operacionais adimensionais que podem ser usados para comparação de desempenho entre diferentes sistemas de captação de água de chuva (FEWKES, 2021).

Na avaliação do modelo foram observados os valores de CN (Curva Número) da equação do método SCS (Equação 1), pois são parâmetros valiosos e simples para avaliar vários aspectos de desempenho em sistemas de captação de água de chuva (ARAÚJO et. al., 2020). O método dos mínimos quadrados foi utilizado para calcular a curva de melhor ajuste aos dados observados, minimizando a soma dos quadrados da diferença entre a curva e os dados, estimando o valor de CN equivalente (CASELLA, BERGER, 2021).

O coeficiente CN para o telhado foi considerado igual à 99 (SILVA, VELOSO, 2019) e para o terreno natural (pré-urbanização), da região urbana da cidade de Feira de Santana foi adotado como um valor de CN igual a 76 (LIMA, COHIM, 2012).

Um modelo que relaciona a fração de armazenamento em função da fração de demanda foi elaborado no Excel. O software Rcommander foi utilizado para as análises estatísticas dos resultados, com teste de normalidade e homocedasticidade dos resíduos em função do ajuste da curva. Por fim, com após a verificação do modelo, o cálculo do percentual de atendimento e do número de eventos de transbordamento é realizado, para aferir a eficiência e o impacto do volume no sistema.

## **RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS**

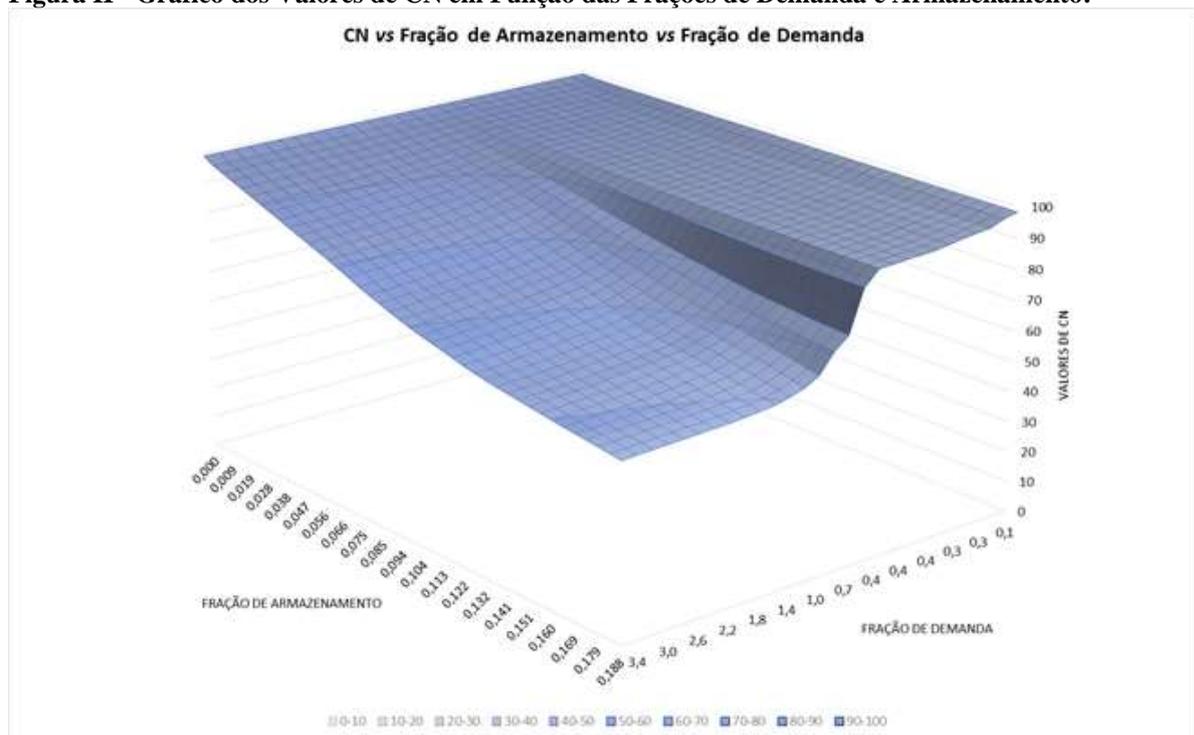
Com objetivo de verificar o efeito da ampliação do volume do reservatório frente a diferentes demandas por água pluvial no escoamento superficial de água de chuva, em Feira de Santana, foram modeladas várias combinações de demanda diária predial e capacidades de armazenamento. Para isso, valores de fração de demanda partindo de 0,1 à 3,6, foram combinando a frações de armazenamento que variaram de 0,005 (250 litros) à 0,188 (10000 litros), obtendo-se os valores de CN médios equivalentes para cada combinação (FIGURA I).

**Figura I - Valores de CN Médios em Função das Frações de Demanda e Armazenamento.**

D (L)	14,55	29,11	43,66	48,57	43,48	52,29	55,30	56,03	56,80	57,50	58,21	72,77	10,97	16,43	14,53	174,64	203,75	232,95	261,96	291,07	320,18	349,28	378,38	407,50	436,60	465,71	494,82	523,92
C (L) CAPACIDADE	0,1	0,2	0,3	0,32	0,34	0,36	0,38	0,395	0,39	0,395	0,4	0,5	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6
0	0,000	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
250	0,005	99	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
500	0,009	98	98	98	98	98	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
750	0,014	98	98	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96	96	96	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	94	94	94
1000	0,019	98	98	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96	95	95	95	95	94	94	94	94	94	94	94	93	93	93	93
1250	0,024	98	98	97	97	97	96	96	96	96	96	96	96	95	94	94	94	93	93	93	93	93	92	92	92	92	92	92
1500	0,029	98	97	97	96	96	96	96	96	96	96	96	95	94	94	93	93	92	92	92	92	92	91	91	91	91	91	90
1750	0,033	98	97	96	96	96	96	96	96	96	96	95	93	93	93	92	92	92	91	91	91	91	90	90	90	89	89	89
2000	0,038	98	97	96	96	96	95	95	95	95	95	94	93	92	92	91	90	90	89	89	89	89	89	89	88	88	88	88
2250	0,042	98	97	96	96	96	95	95	95	95	95	94	92	92	91	90	89	89	89	89	88	88	88	88	87	87	87	86
2500	0,047	98	97	96	96	96	95	95	95	95	95	94	92	91	90	89	88	88	87	87	87	86	86	86	85	85	85	85
2750	0,052	98	97	96	96	96	95	95	95	95	95	93	91	90	89	88	87	87	86	86	86	85	85	85	84	84	84	84
3000	0,056	98	97	96	96	95	95	95	95	94	94	94	93	91	90	88	87	86	86	85	85	84	84	84	83	83	83	82
3250	0,061	98	97	96	96	95	95	94	94	94	94	94	93	90	89	87	86	85	85	84	83	83	83	82	82	82	81	81
3500	0,066	98	97	96	96	95	95	94	94	94	94	94	92	89	88	86	85	84	83	83	82	82	81	81	81	80	80	79
3750	0,071	98	97	96	95	95	95	94	94	94	94	94	92	89	87	85	84	83	82	82	81	80	80	79	79	79	79	79
4000	0,075	98	97	96	95	95	95	94	94	94	94	94	92	88	86	84	83	82	81	80	80	79	78	78	78	77	77	76
4250	0,080	98	97	96	95	95	95	94	94	94	94	94	91	87	86	83	82	81	80	79	78	78	77	77	76	75	75	75
4500	0,085	98	97	96	95	95	94	94	94	94	94	93	91	86	85	82	81	79	78	78	77	76	75	75	75	74	74	74
4750	0,089	98	97	96	95	95	94	94	94	94	94	93	91	85	84	81	80	78	77	76	76	75	75	74	74	73	73	72
5000	0,094	98	97	96	95	95	94	94	94	94	94	93	91	85	83	80	78	77	76	75	75	74	74	73	73	72	71	71
5250	0,099	98	97	96	95	95	94	94	94	94	93	93	90	84	82	79	77	76	75	74	74	73	72	72	71	71	70	70
5500	0,104	98	97	96	95	95	94	94	94	94	93	93	90	83	81	78	76	75	74	73	73	72	71	71	70	70	69	69
5750	0,108	98	97	96	95	95	94	94	94	93	93	93	90	83	80	78	75	74	73	72	72	71	70	70	70	69	69	68
6000	0,113	98	97	96	95	95	94	94	94	93	93	93	90	82	79	77	75	73	72	71	70	70	69	69	69	68	67	67
6250	0,118	98	97	96	95	95	94	94	94	93	93	93	89	81	79	76	74	72	71	70	69	69	68	68	67	67	66	66
6500	0,122	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	89	80	78	75	73	71	70	69	68	68	67	67	66	66	65	65
6750	0,127	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	89	80	77	74	72	70	68	68	67	67	66	66	65	65	64	64
7000	0,132	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	89	79	76	73	71	69	67	67	67	66	66	65	65	64	64	63
7250	0,136	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	89	79	75	72	70	68	67	66	66	65	65	64	64	63	63	63
7500	0,141	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	89	78	75	72	69	67	66	65	65	64	64	64	63	63	62	62
7750	0,146	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	77	74	71	68	67	65	65	64	64	63	63	62	62	62	62
8000	0,150	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	77	73	70	68	66	65	64	64	63	63	62	62	62	61	61
8250	0,155	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	77	73	70	67	66	64	64	63	63	62	62	61	61	61	61
8500	0,160	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	76	73	69	67	65	64	63	63	62	62	61	61	61	60	60
8750	0,165	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	76	72	68	66	64	63	62	62	61	61	61	60	60	60	59
9000	0,169	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	75	72	67	65	64	62	62	61	61	60	60	59	59	59	59
9250	0,174	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	75	72	67	65	63	62	61	61	60	60	59	59	59	59	58
9500	0,179	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	75	71	68	64	62	61	60	60	59	59	59	59	58	58	58
9750	0,184	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	75	71	65	63	61	60	60	59	59	59	59	58	58	58	57
10000	0,188	98	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	88	74	71	64	62	61	59	59	58	58	58	58	57	57	57	57

Desse modo, com a tabela dos valores de CN obtidos da combinação de frações de demanda e armazenamento, realizaram-se ajustes no Excel determinando as curvas, para cada fração de demanda, de CN em função da fração de armazenamento (FIGURA II).

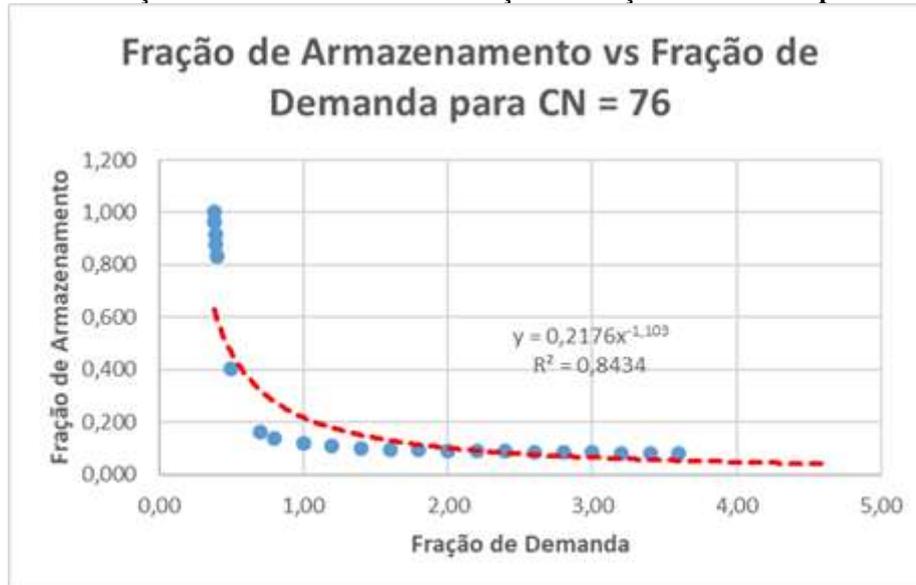
**Figura II - Gráfico dos Valores de CN em Função das Frações de Demanda e Armazenamento.**



A partir das equações das curvas de ajuste do Excel para CN em função da fração de armazenamento, buscou-se os respectivos valores de fração de armazenamento que produziriam o valor de CN equivalente ao do terreno natural (CN = 76). Então, obtendo essa envoltória de valores, determinou-se, em função da fração de demanda, qual seria o valor de fração de armazenamento para produzir um CN equivalente a 76. Por conseguinte, um gráfico de fração de armazenamento por fração de demanda foi montado.

Com o *Excel*, a curva de ajuste para o gráfico de fração de armazenamento por fração de demanda foi encontrada, determinando a equação da curva da fração de armazenamento em função da fração de demanda (FIGURA III). Após essa etapa, foram feitas análise estatísticas para os dados, com teste de normalidade e homocedasticidade dos resíduos em função do ajuste da curva. O intervalo de dados foi exportado no formato CSV para o *RStudio*, onde foram gerados os gráficos para análise dos resíduos do modelo.

**Figura III - Fração de Armazenamento em Função da Fração de Demanda para CN = 76.**



Os valores de frações de demanda e armazenamento no Excel, foram utilizados para o cálculo do percentual de demanda de água pluvial atendido. Além disso, foi feita a verificação do número de eventos de transbordamento, ou seja, quantidade de vezes que ocorreu contribuição de escoamento para o sistema público de drenagem (FIGURA IV).

**Figura IV - Percentual de Atendimento e Número de Eventos de Escoamento produzidos.**

ATENDIMENTO DA DEMANDA E NÚMERO DE EVENTOS DE ESCOAMENTO PRODUZIDOS				
Fra. Demanda	Fra. Armazen.	% Atend.	Vol. Aten. (m <sup>3</sup> /ano)	Nº de Escoamentos
0,380	1,000	100%	20,1	474
0,385	0,961	100%	20,4	473
0,390	0,917	100%	20,6	472
0,395	0,876	100%	20,9	472
0,400	0,836	100%	21,2	472
0,500	0,403	99%	26,4	328
0,700	0,163	87%	32,3	156
0,800	0,138	79%	33,4	116
1,000	0,117	64%	33,9	90
1,200	0,107	54%	34,4	73
1,400	0,100	46%	34,6	69
1,600	0,096	41%	34,7	66
1,800	0,093	36%	34,8	65
2,000	0,091	33%	35,0	64
2,200	0,089	30%	35,2	57
2,400	0,087	28%	35,3	54
2,600	0,086	26%	35,4	53
2,800	0,084	24%	35,5	49
3,000	0,083	22%	35,6	48
3,200	0,082	21%	35,7	48
3,400	0,081	20%	35,7	45
3,600	0,080	19%	35,8	45

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

O aumento nos valores de fração de demanda e armazenamento implicam na redução dos valores de CN, sendo essa relação mais sensível a variação da demanda, o que já havia sido constatado por Araújo et. al. (2020). Com frações de demanda mais elevadas (acima de 0,7), foi possível obter valores de CN médios iguais ou menores que o do terreno natural dentro do intervalo de volumes analisados (FIGURA I). Porém, após o valor de fração de demanda de 2,4, observou-se que o aumento da demanda não tinha impacto significativo na redução dos valores de CN médio. Logo, conclui-se que o crescimento da demanda por água pluvial é significativo na redução do escoamento, em detrimento do volume armazenado, para valores de fração de demanda menores ou iguais à 2,4.

Para valores de frações de demanda muito baixos, no intervalo de 0,1 a 0,37, não foi possível determinar os valores de frações de armazenamento que resultariam no valor de CN igual a 76, logo, o intervalo de dados foi limitado em valores de 0,38 a 3,6. O gráfico de fração de armazenamento por fração de demanda para envoltória de CN médios equivalentes ao do terreno natural (FIGURA III), possibilitou observar que valores de frações de demanda mais próximos de 0,38, levam a um crescimento rápido dos valores de fração de armazenamento, chegando no limite de 1,0. Porém, o aumento dos valores da fração de demanda, fazem os valores de fração de armazenamento terem variações cada vez menores, ou seja, tendendo a um valor constante. Esse aspecto segue o padrão observado na tabela com os valores de CN em função das frações de demanda e armazenamento.

O conjunto de análises feitas para os resíduos no RStudio mostrou que há homogeneidade de variância dos resíduos (homocedasticidade), tendo uma distribuição que se aproxima da normal ( $P > 0,05$ ), sem pontos de influência de valor discrepante interferindo no modelo. Assim, considerou-se que dentro do intervalo estudado, o modelo desenvolvido atende a situação simulada.

O percentual de atendimento mostrou-se inversamente proporcional ao aumento da demanda, já que o volume de reservatório necessário para se obter o  $CN = 76$  também é reduzido. A frequência de eventos de escoamentos que geram contribuição para o sistema público de drenagem diminui à medida que cresce a fração de demanda.

## CONCLUSÕES

O sistema de aproveitamento de água da chuva pode contribuir para redução do escoamento superficial. Verificou-se que o efeito de diferentes demandas de água pluvial frente a ampliação do volume de armazenamento, mesmo para a menor fração de demanda, tem impacto significativo, obtendo-se uma redução na frequência de eventos de escoamento equivalente à 76%. Todavia, demandas muito baixas, necessitam de volumes de armazenamento muito elevados para atender a condição de pré-urbanização.

A análise da equação obtida a partir da curva de ajuste no gráfico da fração de armazenamento pela fração de demanda na condição de  $CN = 76$ , mostrou que o modelo pode ser usado para encontrar o valor de fração de armazenamento a partir de uma demanda conhecida, com confiança de, aproximadamente, 84% ( $R^2 = 0,84$ ) nos resultados.

O percentual de atendimento é inversamente proporcional ao crescimento da demanda, porém, o volume consumido de água de chuva aumenta, reduzindo o consumo de água potável. Dessa forma, a adoção de um sistema de aproveitamento de água de chuva pode, não somente, contribuir para redução do escoamento superficial, como também, gerar uma economia de água potável, que é um benefício gerados pela utilização de água de chuva.

Pesquisas posteriores podem analisar esse comportamento para outros regimes pluviométricos. Outro ponto pode ser a melhora no modelo equacional que descreve o comportamento da fração de armazenamento em função da fração de demanda, por meio da adição de uma amostra maior de dados ou aplicação de outros métodos de ajuste.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, Monique Cerqueira et al. The role of rainwater harvesting in urban stormwater runoff in the semiarid region of Brazil. *Urban Water Journal*, v. 18, n. 4, p. 248-256, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/1573062X.2021.1877743>>. Acesso em: 10 de setembro de 2022.
2. CASELLA, George; BERGER, Roger L. *Statistical inference*. Cengage Learning, 2021. Disponível em: <[encurtador.com.br/AEWX3](http://encurtador.com.br/AEWX3)>. Acesso em: 10 de dezembro de 2022.
3. FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. *Urban water*, v. 1, n. 4, p. 323-333, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00026-1)>. Acesso em: 01 de janeiro de 2023.
4. FRANCISCHET, Marcelo Martinelli et al. Análise da influência dos reservatórios de detenção domiciliares no escoamento superficial urbano. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14168>>. Acesso em: 29 de setembro de 2022.
5. SILVA, Eduardo Henrique Borges Cohim; VELOSO, Vinícius Velanes Borges Giffoni. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO RACIONAL E SCS-CN DIANTE DO PROCESSO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM TELHADOS CERÂMICOS DE SISTEMAS DE COLETA DE ÁGUA DE CHUVA NA CIDADE DE FEIRA DE SANTANA-BA. 2019. Disponível em: <[https://scholar.google.com.br/scholar?cluster=3502028630836147995&hl=pt-BR&as\\_sdt=0,5](https://scholar.google.com.br/scholar?cluster=3502028630836147995&hl=pt-BR&as_sdt=0,5)>. Acesso em: 20 setembro de 2022.
6. INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Dados Pluviométricos da Cidade de Feira de Santana Dentre os Anos De Janeiro De 1998 Até Dezembro de 2017. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.
7. LIMA, Jean de Oliveira Pinheiro; COHIM, Eduardo. IX-030-Volume de detenção de micro-reservatórios em Feira de Santana-BA. Encontro Nacional de Águas Urbanas, v. 9, p. 0-761, 2012. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/148/041.pdf>>. Acesso em: 05 de outubro de 2022.
8. TUCCI, Carlos EM. Inundações urbanas. Porto Alegre: ABRH/Rhama, v. 11, 2007. Disponível em: <[encurtador.com.br/hmtFQ](http://encurtador.com.br/hmtFQ)>. Acesso em: 17 de setembro de 2022.
9. VERGUTZ, Laila Atyna Alves; PEREIRA, Carlos Eugênio; SCHMIDT, Marcio Augusto Reolon. Análise da implantação de reservatórios de detenção de forma que sejam minimizados os impactos causados por inundações. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, p. 1267-1277, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019175242>>. Acesso em: 29 de setembro de 2022