



# ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DA MICROMEDIÇÃO, DO CONSUMO E DAS PERDAS DE ÁGUA, E DA PRODUÇÃO DE ESGOTO PER CAPITA, COM BASE NOS MUNICÍPIOS MINEIROS COM PORCENTAGENS DE 0% E 100% DE HIDROMETRAÇÃO

Gabriela Nery Souza<sup>1</sup>

Priscila Carolaine Barros<sup>2</sup>

Kaique Melotto Freitas Scalco<sup>3</sup>

Juliane Caputo<sup>4</sup>

## Políticas Públicas, Legislação e Meio Ambiente

### Resumo

Water is a primordial natural resource for all living beings, from as a resource for economic development, to maintaining the balance of ecosystems. Thus, it is extremely important to have adequate control over the amount of water consumed to serve the population, and to avoid wasting it. This work aimed to analyze the relationship between micrometering, per capita water consumption, water loss rates and per capita sewage production, based on data from municipalities in the state of Minas Gerais that contain 0% and 100% hydrometering. Data selection was carried out using the 2020 National Sanitation Information System, with 36 municipalities selected with 0% of micro-measurement and with a population served greater than or equal to 74.37% with sewage service. And 36 municipalities with 100% coverage of micrometering and sewage service. Through statistical analyses, it was found that municipalities with greater coverage of micrometering have less water wastage than those that do not have hydrometering. The loss indices help in verifying the places that may be more vulnerable to water loss. Finally, the statistical models proved to be valid for the analyzes carried out.

**Palavras-chave:** Saneamento, análise estatística, *boxplot*.

---

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia Ambiental – PPGEAMB, Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. [gabriela.souza13@estudante.ufla.br](mailto:gabriela.souza13@estudante.ufla.br)

<sup>2</sup>Mestrando em Engenharia Ambiental – PPGEAMB, Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. [priscila.barros1@estudante.ufla.br](mailto:priscila.barros1@estudante.ufla.br)

<sup>3</sup>Mestranda em Engenharia Ambiental – PPGEAMB, Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. [kaiquemfscalco@gmail.com](mailto:kaiquemfscalco@gmail.com)

<sup>4</sup>Mestranda em Engenharia Ambiental – PPGEAMB, Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. [julianecaputo@hotmail.com](mailto:julianecaputo@hotmail.com)



## INTRODUÇÃO

A água se apresenta como recurso natural fundamental para a manutenção da vida na Terra, estando presente na composição do corpo humano, de animais e de vegetais. O ser humano, por exemplo, necessita de aproximadamente 4 litros de água por dia para que as suas atividades internas possam ocorrer de maneira correta. Além de sua importância para o funcionamento do organismo de humanos, animais, e vegetais, a água se faz presente em praticamente todas as atividades industriais, seja tal presença de forma direta, ou indireta. Ela está presente nas indústrias em processos de aquecimento e resfriamento, como insumo no processo de produção, e até mesmo para fins sanitários (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2013).

Alguns fatores influenciam o consumo de água, entre eles fatores climáticos da região, como umidade, temperatura e precipitação; fatores socioeconômicos, como valor da tarifa de consumo de água cobrada, as características das instalações e dos equipamentos hidráulicos instalados no local, a época do ano, entre outros (DALMÔNICA, 2014). Santos e Pereira, no ano de 2009, perceberam que em temperaturas amenas, o consumo de água era inferior ao consumo médio, e que após eventos de chuva, tal média se elevava (PEREIRA, 2017). Estudos demonstram que a precariedade de equipamentos e instalações elevam os índices de perdas de água na região. Estima-se que no município mineiro de Ouro Preto, o índice de perda na distribuição é de cerca de 50%, devido à ausência de equipamentos de micromedição (VALENTE, 2018).

O consumo de água pela população é realizado após a captação dela em mananciais e o seu tratamento em estações de tratamento de água, comumente conhecidas como ETA's. Em 2019, um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil constatou que para cada 100 litros de água captada e tratada, cerca de 38% de seu volume é perdido na fase de distribuição (TRATA BRASIL, 2019). Dessa forma, a minimização das perdas decorrentes da distribuição de água por companhias de saneamento é fator relevante para a disponibilidade do recurso. Tais perdas ocorrem durante todo o processo de captação, tratamento e distribuição, mas seus maiores índices são observados na fase de distribuição (CHEUNG et al., 2009).

Realização



Uma vez que o consumidor final é o próprio usuário, tais perdas, além de significarem perdas ambientais, também significam perdas econômicas, uma vez que são repassadas para o consumidor final. Grande parte das perdas em sistemas de distribuição estão relacionadas com a má operação do sistema, e principalmente, com a inadequada manutenção do sistema.

Neste contexto, a implementação de ideias que buscam a identificação de áreas com maiores índices de perdas é considerada como alternativa para a minimização dos danos, tanto ambientais quanto econômicos. Inúmeras estratégias vêm sendo propostas para tal identificação, como a implementação de check-lists com as seguintes indagações: onde, por que e como (CHEUNG et al., 2009), e a análise de subáreas dentro da rede de distribuição, através do conceito de micromedições.

## METODOLOGIA

A área de estudo, compreende o estado de Minas Gerais, sendo analisado 852 municípios. Os dados obtidos através da plataforma do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), são referentes ao saneamento de água e esgoto para o ano de 2020.

Estes dados foram utilizados como base para o cálculo do volume consumido *per capita* de água, do volume *per capita* de produção de esgoto, das porcentagens de cobertura dos sistemas responsáveis pelas micromedições, da porcentagem da população atendida com os serviços de água e esgoto, e dos índices de perdas no faturamento e na distribuição, e dos índices de perdas lineares e por ligação.

Para a realização dos cálculos dos índices de perdas, foram utilizadas as equações de perdas do SNIS, que correlacionam algumas variáveis e as transformam em índices para o melhor entendimento da população e da própria companhia de saneamento.

Foram calculados os dados referentes ao volume de água consumida *per capita* por dia e ao volume de esgoto produzido *per capita* por dia nas cidades selecionadas.

A organização da amostra se deu com base nos dados coletados no SNIS, em que foram selecionados dois conjuntos de dados. O primeiro referente aos municípios que

Realização



compõem a amostra que apresentam 100% de micromedição e uma população atendida igual a 100% com serviços de esgoto. Já o segundo é referente aos municípios que compõem a amostra que apresentam 0% de micromedição e uma população atendida maior ou igual a 74,37% com serviços de esgoto.

Assim, foram calculados os índices IN013, IN050, IN051, IN049. A separação de dados dos municípios com 100% de micromedição e os com 0% de micromedição visou identificar, através dos parâmetros monitorados pelo SNIS, potenciais variáveis explicativas que correlacionam a micromedição, o consumo e as perdas de água e a produção de esgoto nos municípios.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados de saneamento das cidades de Minas Gerais obtidos no SNIS, foram calculados os índices IN013, IN050, IN051, IN049. Logo após, separou-se os dados em dois grupos, sendo eles os municípios com 100% de micromedição e 0% de micromedição, essa separação foi realizada para que as amostras tivessem a mesma quantidade de dados. Assim, foram analisados 36 municípios com 100% e 0% de micromedição, respectivamente.

Os dados avaliados não possuíam distribuição Gaussiana (ou distribuição normal), sendo assim utilizou-se o teste de hipótese de Wilcoxon. O teste de Wilcoxon avaliou a relação entre os dados estudados de saneamento das regiões considerando as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : não há diferenças entre os grupos amostrais (100% e 0% de micromedição);
- $H_1$ : há diferenças entre os grupos amostrais (100% e 0% de micromedição);

Os resultados obtidos foram  $W = 396.5$  e  $p\text{-value} = 0.004697$ . De acordo, com o resultado do teste, rejeita-se  $H_0$ , pois  $p < 0,05$ , e aceita-se que existe diferença entre os grupos. Assim, é possível aferir que existe diferença entre os dados estudados, o que já era esperado, considerando que de acordo com a literatura e com as análises estatísticas já realizadas, há diferenças significativas entre os dados analisados, para as regiões que apresentam ou não micromedição.

Realização



A Tabela 1, apresenta os resultados encontrados para os municípios com 100% de micromedição. Podemos observar que para os dados das cidades mineiras com 100% de micromedição, obteve-se médias de volume consumido per capita de água de 155 l/hab/dia, IN013 de 27,74%, IN050 de 12,66 m<sup>3</sup>/(km/dia), IN051 de 147,65 l/ligações/dia e IN049 de 28,83%, sendo que a média de esgoto produzido per capita foi de 164,67 l/hab/dia.

Tabela 1. Dados estatísticos encontrados para o volume de água consumido per capita, índices IN013, IN051, IN049 e volume de esgoto produzido per capita, para os municípios com 100% de micromedição.

<b>Estatística</b>	<b>V<sub>cons.</sub> per capita (l/hab/dia)</b>	<b>IN013 (%)</b>	<b>IN050 (m<sup>3</sup>/km/dia)</b>	<b>IN051 (l/lig./dia)</b>	<b>IN049 (%)</b>	<b>V<sub>esg.prod.</sub> per capita (l/hab/dia)</b>
Mínimo	103,00	2,46	0,71	8,81	2,46	41,00
Máximo	292,00	47,05	30,35	423,84	47,06	454,00
Mediana	147,00	25,79	11,84	117,13	26,89	125,00
Média	155,00	27,74	12,66	147,65	28,83	164,67
Desvio Padrão	39,25	8,79	7,17	89,55	9,75	105,76
Coef. Var (adimensional)	0,25	0,32	0,57	0,61	0,34	0,64

Já a Tabela 2 apresenta os resultados encontrados para os municípios com 0% de micromedição. É possível observar que para esses dados obteve-se médias de volume consumido per capita de água de 238 l/hab/dia, IN013 de 47,36%, IN050 de 14 m<sup>3</sup>/(km/dia), IN051 de 178,40 l/ligações/dia e IN049 de 20,82%, sendo que a média de esgoto produzido per capita foi de 203 l/hab/dia.

Tabela 2. Dados estatísticos encontrados para o volume de água consumido per capita, índices IN013, IN051, IN049 e volume de esgoto produzido per capita para os municípios com 0% de micromedição.

<b>Estatística</b>	<b>V<sub>cons.</sub> per capita (l/hab/dia)</b>	<b>IN013 (%)</b>	<b>IN050 (m<sup>3</sup>/km/dia)</b>	<b>IN051 (l/lig./dia)</b>	<b>IN049 (%)</b>	<b>V<sub>esg.prod.</sub> per capita (l/hab/dia)</b>
Mínimo	42,00	8,61	0,00	0,00	0,21	39,00
Máximo	582,00	100,00	134,22	1011,20	74,94	498,00
Mediana	197,50	32,00	4,28	78,76	14,29	167,50
Média	238,36	47,36	14,16	178,38	20,82	202,64
Desv. Padrão	137,01	43,71	24,88	262,53	19,66	122,78
Coef. Var (adimensional)	0,57	0,92	1,76	1,47	0,94	0,60

Realização



Os resultados demonstram que as localidades com 0% de micromedição possuem valores médios de cerca de 53,55% maior de volume de água consumido per capita em relação as localidades que possuem 100% de micromedição. O índice IN013 apresenta também um alto teor de discrepância de cerca de 70,97% para as localidades sem micromedição em comparação às com 100%. Possui variações significantes também para os índices IN050 e IN051, sendo essas variações de 10,24% e 20,87%, respectivamente. E para o volume de esgoto produzido per capita uma variação de 23,03%. Apenas o índice IN049 apresentou teor menor em 27,71% para localidades que não possuem micromedição quando comparado com os locais com 100% de micromedição.

Os resultados obtidos demonstram que a ausência de micromedição é um indutor para perdas aparentes, ou seja, o consumo de água nas áreas com ligações não medidas é bem maior do que em locais com medição. Esses resultados vão de encontro com os encontrados na literatura para análises da eficiência da micromedição ou a ausência desta, como estudos feitos pela SABESP, SANEPAR, SANASA, entre outros (SABESP,1997; SANASA, 1997 MARCKA, 2004).

Para as cidades mineiras com 100% de micromedição, realizou-se avaliações por gráficos *boxplot*, disposto na Figura 1, para os índices de perdas IN013 e IN049 (Figura 1a), IN050 (Figura 1b) e IN051(Figura 1c).

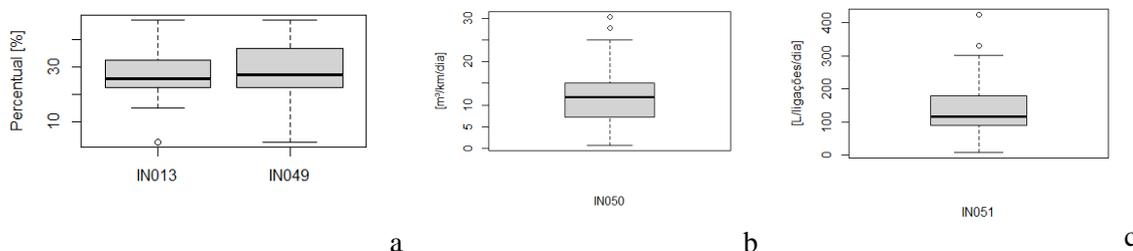


Figura 1. Gráfico *boxplot* dos índices de perdas, sendo a) IN013 e IN049; b) IN050; e c) IN051 em condição de 100% de micromedição.

O IN013 e IN049 (Figura 1a) apresenta menor variação dos dados, ou seja, o intervalo interquartil apresenta menor variação e mediana mais próxima do primeiro quartil. A distribuição dos dados para esses índices é assimétrica positiva, apresentando pouca quantidade de *outliers*, ou seja, poucos dados discrepantes na série de dados. Para o índice



IN050 (Figura 1b), é possível observar que para índice bruto de perdas lineares os dados possuem maior dispersão e com maior número de dados discrepantes. A mediana está mais próxima do terceiro quartil, mostrando uma tendência de assimetria negativa. Já o índice IN051 (Figura 1c), o índice de perdas por ligação apresenta dados com menor dispersão, porém, possuem dados discrepantes. A mediana dos dados encontra-se mais próxima do primeiro quartil, demonstrando uma tendência assimétrica positiva dos dados.

Na Figura 2, está disposto os resultados obtidos para as cidades mineiras com 0% de micromedição, os seguintes gráficos *boxplot* são referentes aos índices de perdas IN013 e IN049 (Figura 2a), IN050 (Figura 2b) e IN051 (Figura 2c).

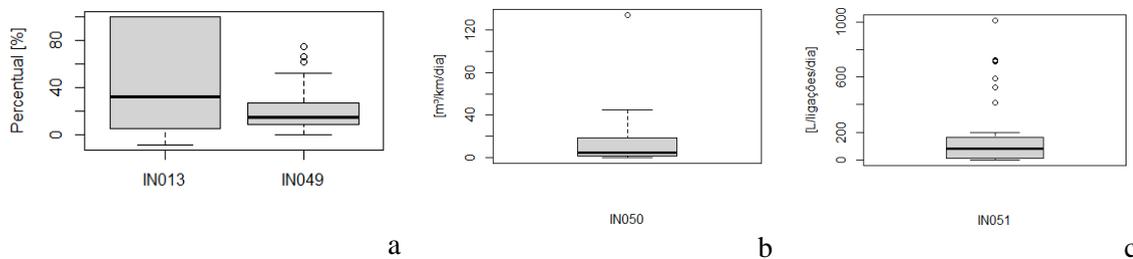


Figura 2. Gráfico *boxplot* dos índices de perdas, sendo a) IN013, IN049; b) IN050; e c) IN051 em condição de 0% de micromedição.

Os índices IN013 e IN049, permite visualizar de melhor forma a variação dos dados para cada índice. O IN013 (Figura 2a) apresenta grande variação dos dados, ou seja, o intervalo interquartil apresenta maior variação. A mediana está mais próxima do primeiro quartil. Observa-se que a distribuição dos dados se dá de forma assimétrica positiva, sem valores discrepantes nos dados. Para o índice IN049 (Figura 2a), existe uma menor variação dos dados como é possível observar pelo intervalo interquartil do *boxplot*, apresentando também, mediana mais próxima do primeiro quartil. Os dados possuem tendência assimétrica positiva, e possuem maior quantidade de dados discrepantes.

Já para o índice IN050 (Figura 2b), é possível observar que os dados apresentam pouca dispersão, porém possuem dados discrepantes, como mediana mostrando uma tendência de assimetria positiva. Por último, tem-se o *boxplot* do índice IN051 (Figura 2c), os dados possuem menor dispersão, porém, possuem maior quantidade de dados



discrepantes. A mediana dos dados encontra-se mais no centro, ou seja, demonstrando uma tendência mais simétrica dos dados.

De acordo com o previsto na literatura, pode-se dizer que para os municípios que possui micromedição teremos menores índices de perdas e menor variação entre os dados. Segundo a Engevix (1998), em estudos realizados no sistema de abastecimento de Joinville, em um panorama entre o índice de perdas e índice de hidrometação, entre os anos de 1994 a 1996, concluíram que o índice de perdas aumenta quando o índice de hidrometação diminui e vice-versa.

Portanto, os dados encontrados refletem a importância da micromedição para a eficiência do sistema de saneamento, já que como observado, as regiões sem micromedição apresentam índices de perdas muito maiores. Como também, existe uma significativa discrepância nos dados, devido ao fato desses dados serem obtidos através de estimativas o que aumenta o erro referente a esses dados.

Foi também realizado nesta pesquisa, uma análise de regressão linear múltipla (RLM) para os dados significativos, ou seja, os dados que possuem significância de acordo com a análise feita no *software RStudio*. A Tabela 3, apresenta os resultados obtidos para a análise de RLM. Considerou-se as seguintes hipóteses para avaliar os dados analisados:

- $H_0$ : às variáveis analisadas não possuem relação entre si;
- $H_1$ : às variáveis possuem relação entre si;

Para as regiões que apresentam 100% de micromedição os dados significativos utilizados na análise foram, o volume de água consumido per capita, IN051 e IN049.

Tabela 3. Regressão múltipla linear.

Grupo	Erro residual	Teste F	valor -p	$\beta$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$	$R^2_{aj}$
100%	32,65	8,78	8,72E-04	204,12	0,44	-3,97		0,3475	0,308
0%	81,44	19,4	5,26E-07	142	0,38	-5,77	0,68	0,6752	0,6404

Os resultados demonstram os dados dos municípios com 100% de micromedição, foi encontrado valor-p de 0,000872. Considerando nível de significância de 5%, o valor-p encontrado é menor que 0,05, portanto, rejeita-se  $H_0$ , ou seja, aceitamos que existe relação entre as variáveis estudadas. Ainda, pode-se analisar o coeficiente de determinação  $R^2$ , com valor de 0,3475, ou seja, é possível dizer que existe 34,75% dos dados dos municípios com



100% de micromedição que estão correlacionados com volume de água consumido per capita, e com os índices IN051 e IN049. Sendo a equação de ajuste  $y = 204,12 + 0,43x_1 - 3,99x_2 + 32,6$ .

Em relação as regiões que apresentam 0% de micromedição os dados significativos utilizados na análise foram, os índices IN051 e IN049 e o volume de esgoto produzido per capita. Encontrou-se o valor-p de 0,00000526, portanto, o valor-p é menor que 0,05. Assim, rejeita-se  $H_0$ , e aceita-se que existe relação entre as variáveis. Para o coeficiente de determinação  $R^2$ , com valor de 0,6404, ou seja, é possível aferir que existe 64,04% dos dados dos municípios com 0 % de micromedição que estão correlacionados com os índices IN051 e IN049 e com o volume de esgoto produzido per capita. Onde encontrou-se a equação de ajuste  $y = 142 + 0,38x_1 - 5,77x_2 + 0,68x_3 + 81,44$ .

Assim, verificou-se que os modelos propostos para análise da correlação entre os municípios que possuem ou não micromedição, apresentam resultados satisfatórios, para os dois casos. Para os municípios sem micromedição podemos observar que existe maior correlação entre os dados do modelo, quando comparamos com os municípios que possuem micromedição.

Portanto, pode-se aferir que tanto o índice de perdas por ligação IN051, quanto o índice de perda na distribuição IN049, são relevantes para analisar a eficiência do sistema de saneamento. Esses índices estão relacionados com a lei de oferta e demanda, e o monitoramento da rede de saneamento, sendo que o monitoramento permite avaliar pontos que necessitam de melhorias, portanto, é possível diminuir as perdas de água.

Através da análise do coeficiente de retorno, as seguintes observações foram obtidas: para os municípios com 100% de micromedição, apenas 1 município obteve um coeficiente de retorno igual a 0,80; cerca de 22 municípios apresentaram um coeficiente de retorno superior a 0,80; e cerca de 13 municípios apresentaram um coeficiente de retorno inferior a 0,80; com uma média de 1,09 em relação ao coeficiente de retorno. Para os municípios com 0% de micromedição, apenas 3 municípios apresentaram um coeficiente de retorno de 0,80; cerca de 22 municípios apresentaram um coeficiente de retorno superior a 0,80; e cerca de 11 municípios apresentaram um coeficiente de retorno inferior a 0,80; com uma média de 0,91 em relação ao coeficiente de retorno.

Realização



Tabela 4. Coeficientes de retorno para os grupos analisados.

	Coeficiente de retorno			Média	Mediana
	Inferior a 0,80	Igual a 0,80	Superior a 0,80		
100% de micromedição	13	1	22	1,09	0,86
0% de micromedição	11	3	22	0,91	0,84

Através da análise da mediana para ambos os grupos, pode-se observar que o valor obtido para o conjunto de dados referentes a municípios com 100% de micromedição se difere em 7,5% do valor sugerido na literatura, enquanto o valor obtido para o conjunto de dados referentes a municípios com 0% de micromedição se difere em 5% do valor sugerido na literatura.

## CONCLUSÕES

A análise gráfica, por meio de *boxplot* demonstra a inconsistência dos dados obtidos para municípios com 0% de micromedição, devido a maior presença de *outliers* em comparação às regiões que apresentam 100% de micromedição.

Os resultados demonstram que um maior percentual de micromedição garante um menor desperdício de água, uma vez que os valores obtidos para perdas máximas registradas, média e mediana, em sua maioria são inferiores aos municípios que não apresentam micromedição. Os índices de perdas, por sua vez, auxiliam no processo de determinação dos locais em que um maior volume de água tratada é desperdiçado, entretanto, tal informação só pode ser obtida em locais com toda a área coberta pelo sistema de micromedições.

A análise estatística, por sua vez, demonstra que apesar do método escolhido se apresentar como um modelo válido, existem outras variáveis que precisam ser consideradas a fim de se obter um resultado ainda mais satisfatório, conforme descrito pelas equações presentes na Tabela 3 deste artigo.

## AGRADECIMENTOS

À Fapesq/CNPq, edital 01/2023, PPGEAMB.

Realização



## REFERÊNCIAS

CHEUNG, P. B.; KIPERSTOK, A.; COHIM, E.; ALVES, W. C.; PHILIPPI, L. S.; ZANELLA, L.; ABE, N.; GOMES, H. P.; SILVA, B. C. Da; PERTEL, M.; GONÇALVES, R. F. **Consumo de água.** In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 36-98.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Uso da água no setor industrial Brasileiro: matriz de coeficientes técnicos.** – Brasília: CNI, 2013. 31 p.: il. ISBN 978-85-7957-083-4.

DALMÔNICA, A. H. **Análise de fatores influenciadores do consumo de água em Uberlândia:** O caso do Setor Sul. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

TRATA BRASIL. **Metade das perdas de água potável diárias no Brasil ocorre na Região Sudeste.** 2021. Acessado em [https://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Perdas%C3%A1gua/Release\\_Regi%C3%A3o\\_Sudeste\\_-\\_Perdas\\_de\\_agua\\_2021.pdf](https://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Perdas%C3%A1gua/Release_Regi%C3%A3o_Sudeste_-_Perdas_de_agua_2021.pdf).

MARCKA, Estanislau. **Panorama dos Sistemas Públicos de Abastecimento no País - DTA C2.** Brasília: Programa de Combate Ao Desperdício de Água - Pncda, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 2004.

PEREIRA, Mariana Antônio de Souza; et al. **Influência do clima e o consumo de água:** uma abordagem estatística. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2017, Campo Grande.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Programa Interno de Redução de Perdas da RMSP - Ações Complementares - Síntese.** São Paulo: Superintendência de Planejamento e Apoio da Distribuição da Vice-Presidência de Distribuição da SABESP, 1997.

SANASA - Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas. **Programa de Controle de Perdas SANASA.** Campinas: Departamento de Controle de Perdas da Diretoria Técnica, 1997.

VALENTE, Liselle Moura; et al. **Condições do Saneamento Básico na Cidade Histórica de Ouro Preto.** Encontro Técnico AESABESP. 29º Congresso Nacional de Saneamento de Saneamento e Meio Ambiente. 2018.

### Realização

