

# Sistema de Recomendação de Hidrômetro e Análise Preditiva de Perdas em Redes de Telemetria

*Hydrometer Recommendation System and Predictive Analysis of Losses in Telemetry Networks*

Mário Guerra<sup>1</sup>

 [orcid.org/0009-0006-4158-7057](https://orcid.org/0009-0006-4158-7057)

Gabriel Albuquerque<sup>1</sup>

 [orcid.org/0009-0006-0142-3568](https://orcid.org/0009-0006-0142-3568)

Victor Lundgren<sup>1</sup>

 [orcid.org/0000-0001-5567-4414](https://orcid.org/0000-0001-5567-4414)

Bruno Fernandes<sup>1</sup>

 [orcid.org/0000-0002-6001-3925](https://orcid.org/0000-0002-6001-3925)

Alexandre M. A. Maciel<sup>1</sup>

 [orcid.org/0000-0003-4348-9291](https://orcid.org/0000-0003-4348-9291)

Carmelo Bastos-Filho<sup>1</sup>

 [orcid.org/0000-0002-0924-5341](https://orcid.org/0000-0002-0924-5341)

<sup>1</sup>Escola Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil. E-mail: [msg4@poli.br](mailto:msg4@poli.br), [gca@ecomp.poli.br](mailto:gca@ecomp.poli.br)

**DOI: 10.25286/rep.v9i1.2784**

Esta obra apresenta Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

Como citar este artigo pela NBR 6023/2018: Mário Guerra; Gabriel Albuquerque; Victor Lundgren; Bruno Fernandes; Alexandre M. A. Maciel; Carmelo Bastos-Filho. Sistema de Recomendação de Hidrômetro e Análise Preditiva de Perdas em Redes de Telemetria. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v.9, n. 1, p. 86-96, 2024. DOI: 10.25286/rep.v9i1.2784

## RESUMO

*Os sistemas de recomendação são importantes ferramentas que ajudam na avaliação de dados telemétricos a partir da identificação de padrões e tendências. Neste trabalho, os autores apresentam a análise realizada nos dados da rede hídrica de um município da região sul brasileira para a detecção de padrões e criação de um sistema de recomendação de hidrômetros, baseado no perfil do usuário. Para tanto, houve de ser estruturado um estudo correlacional entre características de consumo e propriedades dos aparelhos de medição, de modo a traçar quais atributos de maior influência no gasto de água. Após a exploração descritiva dos dados foi verificado que tanto o tipo, quanto o modelo do hidrômetro e idade do aparelho poderiam interferir nos resultados de medição do usuário e comportamento do consumo. Dessa forma, foi possível utilizar os resultados da análise para a criação de um sistema capaz de identificar e gerar comprovações visuais dos cruzamentos entre as características desejadas.*

**PALAVRAS-CHAVE:** Consumo de água; Hidrômetro; Ciência de dados; Telemetria.

## ABSTRACT

Recommendation systems are essential tools that can assist in evaluating telemetric data by identifying patterns and trends within the telemetry data. In this study, we present an analysis conducted on the water network data of a municipality in the southern region of Brazil to detect patterns and develop a hydrometer recommendation system based on user profiles. We performed a correlational study between consumption characteristics and properties of measurement devices, aiming to identify the attributes with the most significant influence on water usage. From the descriptive exploration of the data, we observed that both the type and model of the hydrometer and the age of the device could impact user measurement results and consumption behavior. Consequently, the analysis results were utilized to create a system capable of identifying and visually confirming the intersections between the desired characteristics.

**KEY-WORDS:** Water consumption; Hydrometer; Data science; Telemetry.



## 1 INTRODUÇÃO

Um sistema hídrico é uma infraestrutura que abrange todos os elementos relacionados à gestão, transporte e distribuição de água em uma determinada área. Ele engloba fontes, reservatórios, estações de tratamento, tubulações e outros componentes que garantem o fornecimento à comunidade. Dentro deste contexto, a eficácia e precisão na medição do consumo de água nesse sistema são asseguradas pelo uso de hidrômetros. Os hidrômetros são aparelhos de medição instalados nos imóveis e na rede de distribuição. Estes dispositivos também podem ser utilizados para auxiliar na detecção de perdas na distribuição de água. Entretanto, um dos grandes desafios é que o comportamento desses aparelhos pode variar de acordo com suas características físicas e temporais, podendo ter sua capacidade de medição afetada com o envelhecimento do dispositivo.

As características físicas, como o tipo e o modelo do dispositivo, influenciam no seu desempenho já que há especificidades de cada fabricante. Por outro lado, a passagem do tempo afeta a precisão do aparelho devido ao desgaste do mesmo. Assim, em consequência da influência dessas variáveis nas aferições, uma rede de telemetria faz-se necessária para realizar o monitoramento do desempenho do sistema hídrico [1].

Uma rede de telemetria é um sistema de comunicação e monitoramento remoto, que entre diversas funções, pode ser utilizado para coletar dados relacionados ao fornecimento e distribuição de água. Através da utilização de sensores estrategicamente posicionados, informações são transmitidas continuamente para um centro de controle, onde os dados são processados e analisados. Com base nessas análises, a telemetria possibilita a detecção precoce de problemas, a automação de ações corretivas e fornece informações valiosas para a tomada de decisões, contribuindo para a gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos [2].

Desta forma, a análise correta da rede de telemetria, aliada à instalação planejada dos aparelhos de medição, pode implicar em uma economia financeira significativa para a companhia de distribuição, e evita o desperdício desnecessário de recursos hídricos por parte dos usuários. Este tipo de processo pode ser implementado via dados capturados do sistema hídrico e pela utilização de algoritmos modernos para comparação das características citadas dos aparelhos e a otimização

da sua capacidade de consumo por análise do perfil de usuário no momento da instalação.

## 2 DESCRIÇÃO E PROCESSAMENTO DA BASE DE DADOS

A empresa parceira disponibilizou duas bases de dados para este projeto: Base de Dados de Hidrômetros e Base de Dados de Telemetria. Ambas possibilitaram a análise descritiva e preditiva de vários cenários. As seções seguintes apresentam o modo como foram tratadas e utilizadas nos estudos realizados.

### 2.1 BASE DE DADOS DE HIDRÔMETROS

Os dados desta base foram recebidos como planilhas .CSV, contendo informações mensais sobre leituras de hidrômetros. Cada planilha possui 75 colunas, com informações diversas sobre um dado imóvel. Os dados apresentam informações de janeiro de 2018 a abril de 2022, incluindo localização e informações sobre o cliente, e informações da leitura de água e valores acrescidos ou subtraídos da conta mensal.

### 2.2 BASE DE DADOS DE TELEMETRIA

Planilhas com os dados de telemetria mensal para todos os consumidores foram recebidas, com dados de janeiro de 2022 a abril de 2023. Cada linha apresenta um identificador da leitura, diversos dados sobre a leitura em si, e qual consumidor e dispositivo se relaciona com a leitura. As leituras não possuem temporalidade padronizada, mas possuem granularidade de segundos.

A principal tática adotada, considerando a necessidade de referenciamento cruzados dos dados presentes nas planilhas de leitura de telemetria de cada mês com os dados presentes nas planilhas de consumidores e dispositivos, foi a de unir os dados de telemetria em uma única planilha contendo as séries temporais completas. Os dados de consumidor e dispositivo foram mantidos separados, necessitando referenciar esses dados externamente quando necessário. Ela resultou em uma planilha de 2GB que possui 8.546.576 leituras de telemetria, com a necessidade de programar funções de cruzamento com dados de consumidor e dispositivo em tempo real.

### 3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS HIDRÔMETROS

A partir do processamento da base de dados de consumo hídrico, é possível analisar diferentes métricas - tais como consumo médio, valor de água, tipo, capacidade e modelo do hidrômetro - e avaliar a importância destas variáveis. A partir desta análise, torna-se possível desenvolver ferramentas capazes de avaliar de forma geral os resultados e criar mecanismos de análises, a partir de gráficos de comparações entre os atributos. Este tipo de ferramenta pode contribuir com a compreensão do comportamento por perfil de usuário.

Para tanto, foi necessário partir do princípio de que existe uma relação entre o consumo de água e o tipo de aparelho utilizado. De acordo com sua estrutura, um hidrômetro pode ser dividido em quatro tipos: Monojato, Multijato, Ultrassônico e Volumétrico. Além disso, cada tipo possui um código de capacidade distinto que se refere à classe metrológica do equipamento, indicando a precisão com a qual o hidrômetro mede o consumo de água. No caso dos dados utilizados, cada código indica uma descrição que engloba Diâmetro Nominal (DN), Vazão Permanente (Q3), Vazão Nominal (QN) e Vazão Máxima (Q4). Dessa forma, os aparelhos da base são divididos pelos seguintes códigos de capacidade: A (DN 20, Q3=2,5m<sup>3</sup>/h, QN=1,5m<sup>3</sup>/h), B (DN 20, Q3=4,0m<sup>3</sup>/h, QN=2,5m<sup>3</sup>/h) e Y (DN 20, Q3=1,0m<sup>3</sup>/h, QN=0,7).

É importante ressaltar que o uso de mais de um tipo de aparelho no mesmo imóvel em determinado período representa um cenário onde se pode comparar de maneira objetiva os impactos do uso dos medidores considerando um perfil de uso homogêneo. Por isso, a análise da troca de tipos foi a base inicial do processo de detecção do perfil de usuário.

Na base utilizada, existem duas variáveis que traçam o comportamento de consumo: "Consumo Médio de Água" e "Valor de Água". A primeira define o consumo em metros cúbicos de determinado imóvel e a seguinte expressa o valor em reais do consumo obtido. Os dados são utilizados para medir os tipos de aparelho com o maior consumo no período observado.

#### 3.1 METODOLOGIA DE ESTUDO

Após o pré-processamento dos dados, deu-se início às análises descritivas e preditivas. Primeiramente, foi estudado o impacto das trocas

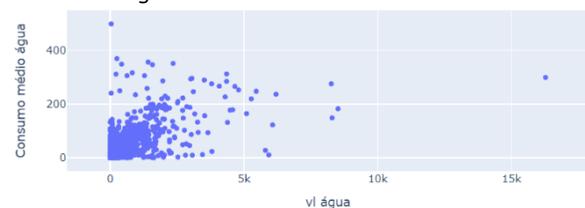
de hidrômetros no consumo de água e no valor monetário arrecadado em cada imóvel. Utilizando os valores aferidos pelos aparelhos envolvidos nas mudanças, foi possível perceber o impacto causado pelas características físicas de cada um deles, tais como tipo, capacidade e idade do dispositivo.

O estudo dos tipos e das capacidades dos hidrômetros permitiu deduzir qual modelo de aparelho era mais adequado para cada consumidor. Por outro lado, a análise da influência da idade do aparelho possibilitou prever a vida útil dele, o momento certo para trocá-lo e de que maneira sua precisão é afetada de acordo com seu tempo de uso. Para suprir a necessidade de exibição gráfica dos dados encontrados, montou-se um dashboard utilizando a biblioteca Dash do Python.

#### 3.2 COMPARAÇÃO: TIPO DE HIDRÔMETRO X CONSUMO DE ÁGUA

Inicialmente, foi necessário verificar a existência de uma relação clara entre o Consumo Médio de Água e o Valor de Água, já que um padrão de crescimento proporcional entre as duas variáveis indica que há uma correteza entre o consumido e o valor pago pelo usuário. A Figura 1 mostra o gráfico de dispersão considerando o Consumo Médio de Água e o Valor de Água para os usuários envolvidos no estudo.

**Figura 1** – Gráfico de Dispersão: Consumo Médio de Água x Valor de Água.



**Fonte:** Os Autores.

Ao analisar a Figura 1, nota-se que há um conjunto significativo de exemplos que pode expressar um padrão de crescimento diagonal, o que indica que o valor da água está ligado ao consumo e cresce linearmente com ele. Entretanto, é importante ressaltar que muitos exemplos de dados aparecem como pontos dispersos. Dessa forma, pode ser feita uma análise direta entre o tipo do aparelho e as métricas de consumo para obter a eficácia de cada tipo. Esse estudo é imprescindível na busca pelo aparelho de maior consumo, deduzindo que o tipo está intrinsecamente ligado à

essa medida. A Figura 2 mostra as dispersões de consumo em função do tipo de hidrômetro.

**Figura 2** – Gráfico de Dispersão: Consumo Médio de Água x Tipo do Hidrômetro.



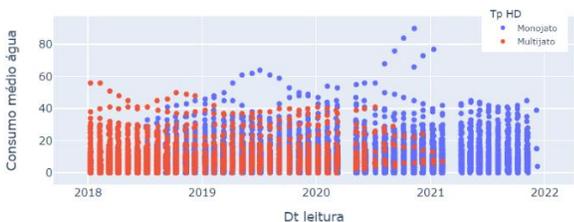
Fonte: Os Autores.

No estudo da Figura 2, percebe-se que os menores consumos são medidos pelo tipo Volumétrico, o que está vinculado ao fato de ele aparecer em menor quantidade na base de dados. Além disso, os tipos Multijato e Monojato possuem faixas de consumo parecidas, com o Monojato obtendo uma leve vantagem no consumo.

### 3.3 TROCA: MONOJATO X MULTIJATO

A partir da vantagem observada na Seção 3.2, é feita uma análise Monojato x Multijato, sendo isolados os dados da base que possuem apenas os tipos referidos. Após isso, esses dados foram separados por imóvel (a partir do código que cada um possui na base de dados) para analisar os locais que possuíam apenas um dos tipos e aqueles em que uma troca foi realizada. Ao isolar apenas os imóveis em que ocorreu a troca (422 imóveis) de multijato para monojato ou de multijato para monojato, pode-se perceber a forte relação do tipo com o consumo médio e o valor da água. A Figura 3 mostra as medições de consumo médio de acordo com os hidrômetros utilizados para os casos de troca de multijato para monojato.

**Figura 3** – Série Temporal: Consumo Médio de água x Tipo de Hidrômetro.



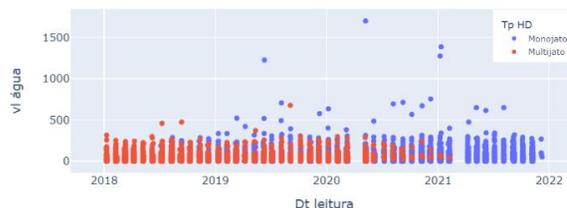
Fonte: Os Autores.

Ao observar a Figura 3, percebe-se que há uma tendência diagonal de queda de consumo do tipo Multijato, em que a troca pode ser explicitada com o padrão linear de aumento dos imóveis em que há

o Monojato e a sua conseqüente estabilização, com praticamente nenhum modelo de Multijato a partir de abril de 2021.

A Figura 4 mostra os valores relativos à água de acordo com os hidrômetros utilizados para os casos de troca de multijato para monojato.

**Figura 4** – Série Temporal: Valor de Água x Tipo de Hidrômetro.



Fonte: Os Autores.

Na comparação entre as Figuras 3 e 4, pode-se perceber que a tendência de crescimento com a troca para Monojato continua a partir da presença de picos de valor após a mudança, os quais não existem no tipo Multijato. Além disso, a partir do ano de 2021, os valores do Multijato começam a cair consideravelmente até que a troca completa seja realizada, com o ano de 2022 possuindo apenas o tipo Monojato nestes imóveis observados. Assim, a troca progressiva para o tipo Monojato indica a descoberta de sua maior eficácia, como comprovado pelas observações das figuras 3 e 4.

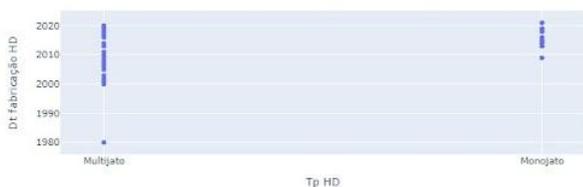
De modo a corroborar os resultados, também foi realizado um estudo exploratório para checar se a idade do equipamento pode interferir nas trocas realizadas, já que um tipo mais eficaz aliado à um aparelho novo pode ser impactante no consumo.

#### 3.3.1 Idade na Troca Monojato x Multijato

Após o estudo do impacto do tipo de hidrômetro nas trocas Monojato x Multijato, tornou-se necessário aprofundar o mesmo quanto a outras variáveis que poderiam influenciar nas mudanças de aparelho. Com isso, partiu-se para a análise das datas de fabricação e da diferença de idade dos hidrômetros de tipo Monojato e Multijato envolvidos na troca, fatores considerados importantes para o desempenho de qualquer aparelho.

A Figura 5 mostra a dispersão da idade de acordo com o tipo de hidrômetro. Verificando-se as faixas das datas de fabricação dos tipos Monojato e Multijato no gráfico da Figura 5, é perceptível que o tipo Multijato tende a apresentar aparelhos mais antigos.

**Figura 5** – Gráfico: Tipo de Hidrômetro x Data de Fabricação.

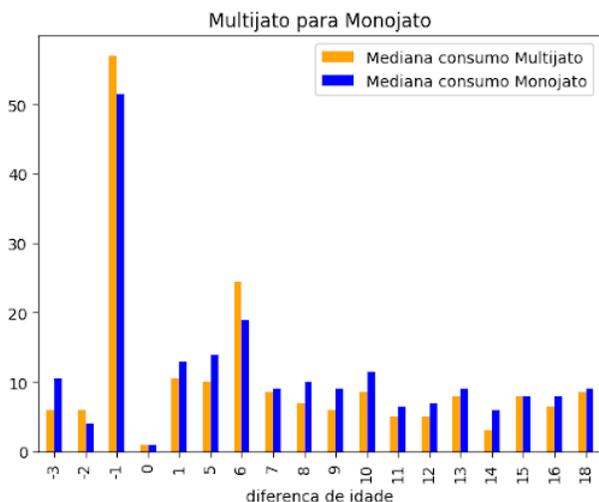


Fonte: Os Autores.

Logo, levantou-se a hipótese de estes aparelhos mais antigos estarem diretamente relacionados ao melhor desempenho do Monojato nas trocas. Ao mudar de um mais velho para um mais novo, a tendência poderia ser de aumento no registro de consumo e conseqüentemente no valor da água, visto que, como concluído anteriormente, estas duas taxas estão fortemente relacionadas.

Assim, estudando as trocas sob a ótica da diferença de idade entre os aparelhos, chegou-se aos resultados da Figura 6, que mostra a mediana de consumo em função da idade do hidrômetro.

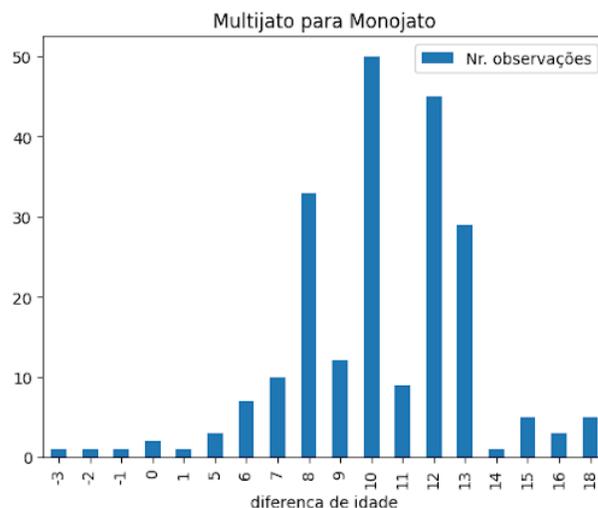
**Figura 6** – Gráfico: Diferença de Idade x Mediana de Consumo.



Fonte: Os Autores.

A Figura 7 mostra o número de observações em função da diferença de idade entre os hidrômetros. Pode-se constatar que o número de amostras é escasso para análise do impacto da diferença de idade nas trocas de Multijato para Monojato. É válido observar as faixas de 8, 10, 12 e 13 anos de diferença, as quais possuem quantidade mais significativa de casos (todas elas apresentam medianas de consumo médio maiores para o tipo Monojato, vide Figura 6), porém o panorama geral não permite uma conclusão satisfatória e precisa.

**Figura 7** – Gráfico: Diferença de Idade x Número de Observações.



Fonte: Os Autores.

### 3.4 TROCA: MONOJATO X ULTRASSÔNICO

A análise realizada na seção anterior (Monojato x Multijato) comprovou que há uma relação entre valor da água, consumo médio e o tipo de equipamento que está instalado na residência. Desse modo, surgiu a necessidade de comparar os tipos de hidrômetro para verificar os mais indicados em cada caso. A descoberta encontrada foi de que o Monojato costuma medir uma faixa melhor de consumo (o que impacta no valor da água) do que o Multijato.

Entretanto, ao analisar os dados foi observada uma tendência de todos os valores ao longo do tempo convergirem ao tipo Ultrassônico, o que indica uma troca gradativa de equipamentos para esse tipo. Partindo desse princípio, busca-se analisar as trocas do tipo mais efetivo encontrado anteriormente (Monojato) com o tipo Ultrassônico, para checar se a tendência de troca realmente foi efetiva em relação ao custo-benefício.

Inicialmente, foram separados da base os imóveis que possuíam os tipos referidos, tornando possível a análise das trocas realizadas a partir do “Consumo Médio de Água” e “Valor de Água”. É importante ressaltar que o tipo Ultrassônico é composto por aparelhos mais novos (vide Figura 8), o que pode impactar na sua qualidade em relação ao Monojato.

Ao analisar a Figura 8, percebe-se a tendência de trocas dos valores para o tipo Ultrassônico a partir de abril de 2021, troca que foi sendo estabilizada até janeiro de 2022. Além disso, há um padrão de queda de consumo do Monojato nesse período com

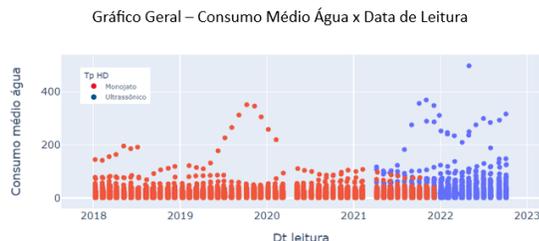
a faixa vertical sendo menor em comparação a do outro tipo em todos os meses. Por fim, também pode-se notar na Figura 9 que nos valores dispersos do gráfico (acima da faixa de 200 m<sup>3</sup>) também há um aumento considerável após a troca.

**Figura 8** – Gráfico: Tipo do Hidrômetro x Data de Fabricação.



**Fonte:** Os Autores.

**Figura 9** – Série Temporal: Consumo Médio de Água x Tipo do Hidrômetro.



**Fonte:** Os Autores.

Na busca de corroborar os resultados visuais obtidos foram isolados da base os 1474 imóveis de que utilizam Monojato, Ultrassônico ou já utilizaram os dois. Desses: 14 possuem apenas Monojato, 503 possuem apenas Ultrassônico e 957 trocaram de equipamento (Monojato para Ultrassônico). Por fim, foi verificado nos 957 imóveis em que houve troca de equipamento se o valor de água e o consumo aumentaram após o serviço, chegando aos seguintes resultados: o consumo aumentou em 558 dos 957 imóveis e o valor de água aumentou em 780 dos 957 imóveis. Para corroborar os resultados, foi construído um estado relacional das trocas aliadas à diferença de idade, assim como foi realizado para a troca Monojato x Multijato.

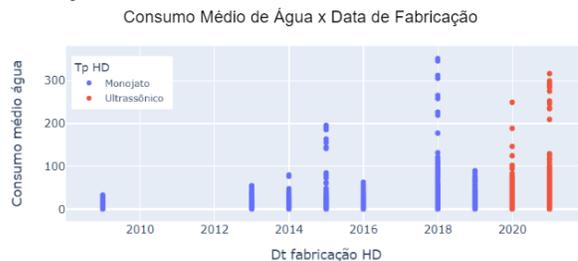
### 3.4.1 Idade na Troca Monojato x Ultrassônico

Novos estudos foram realizados para levar em consideração as idades dos aparelhos envolvidos na troca e o modo como esse fator pode influenciar nos aumentos de consumo médio da água e valor da água.

Na observação da Figura 10, percebe-se que os Ultrassônicos realmente são aparelhos mais novos com fabricação nos anos de 2020 e 2021. Enquanto isso, os Monojatos possuem uma faixa de idade mais distribuída com valores que partem do ano de 2009. Isso sugere que em algumas trocas pode haver uma diferença significativa na idade dos aparelhos. Essa relação de diferença nas idades pode significar um aumento elevado no percentual de valor e consumo.

Partindo desse princípio, o estudo segue considerando a relação entre o ano de fabricação dos aparelhos e os valores de medição. Desse modo, pode-se verificar se os aparelhos mais antigos (do ano 2009 e tipo Monojato) possuem uma faixa menor de medição ao se comparar com os valores do tipo Ultrassônico.

**Figura 10** – Gráfico: Consumo Médio de Água x Data de Fabricação.



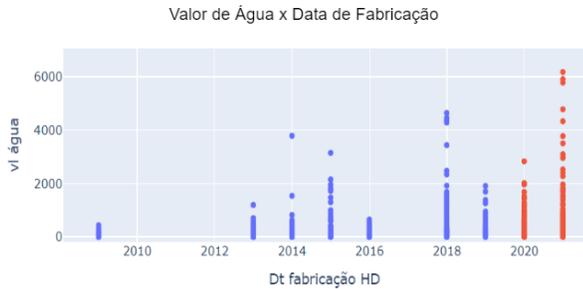
**Fonte:** Os Autores.

Como tinha sido hipotetizado, a faixa de consumo mais à esquerda do gráfico da Figura 10, que representa o Monojato mais antigo, realmente possui uma altura menor quando comparada às do Ultrassônico. Desse modo, pode-se inferir que esses valores de aparelhos mais antigos estão atrelados a consumos menores ou simplesmente, os aparelhos antigos são instalados em locais que não têm tanto consumo. Com isso, até o ano de 2016 os aparelhos do tipo Monojato possuem faixas verticais menores do que os aparelhos mais novos dos anos de 2020 e 2021 do tipo Ultrassônico. Como consumo e valor da água são correlatos, essa tendência deve se manter no gráfico de dispersão relacionado ao valor.

Assim como foi proposto, o gráfico da Figura 11 para o valor segue a mesma tendência do consumo na Figura 10 em que os valores para os Monojatos de fabricação 2009-2016 costumam ser menores em relação aos valores de Ultrassônico de fabricação 2020-2021. Logo, nas trocas em que a diferença de idade ocorre entre os aparelhos desse período, o aumento percentual deve ser maior do

que nas trocas entre aparelhos com o Monojato sendo de fabricação a partir de 2018. A única exceção a essas análises é dos Monojatos fabricados no ano de 2015 que parecem seguir outra tendência que pode estar relacionada a fatores externos. Com o estudo realizado, as trocas de Monojato para Ultrassônico foram isoladas da base e classificadas de acordo com a diferença de idade entre os aparelhos.

**Figura 11** – Gráfico: Valor de Água x Data de Fabricação.

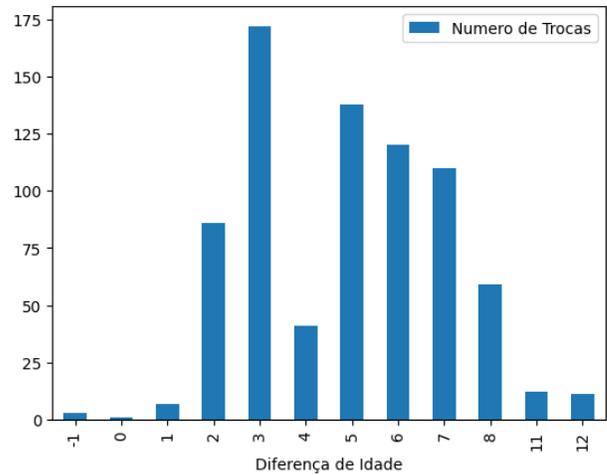


Fonte: Os Autores.

O gráfico da Figura 12 apresenta o número de trocas observadas por diferença de idade e justifica o uso do intervalo aceitável entre  $x = 2$  e  $x = 8$ , já que nesse intervalo há um número considerável de trocas que possibilita a observação.

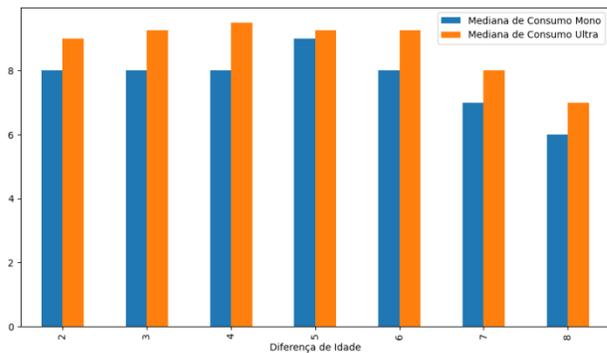
O gráfico da Figura 13 mostra que em todos os casos a mediana de consumo do Ultrassônico (aparelho mais novo) permanece superior, com o intervalo de diferença entre elas menor quando  $x = 5$  e significativo para os outros valores. A única análise possível é que o aparelho mais novo e de maior eficácia irá possuir as melhores taxas de consumo, independente do seu tipo. Para tornar essa análise mais clara, foi plotado um gráfico que apresenta o aumento percentual do consumo por cada diferença de idade. A Figura 14 mostra a relação do aumento percentual de consumo com a diferença de idade.

**Figura 12** – Gráfico: Consumo Médio de Água x Data de Fabricação.



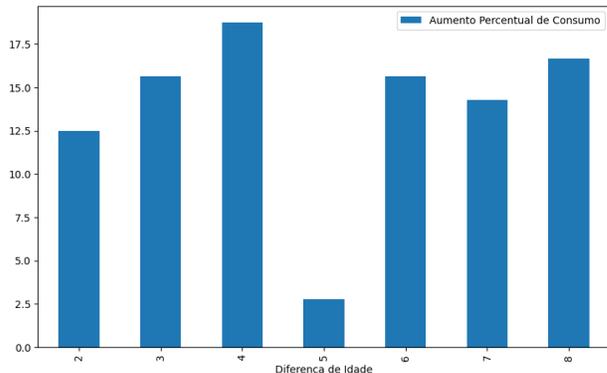
Fonte: Os Autores.

**Figura 13** – Gráfico: Diferença de Idade x Mediana de Consumo.



Fonte: Os Autores.

**Figura 14** – Gráfico: Diferença de Idade x Aumento Percentual de Consumo.



Fonte: Os Autores.

Pode-se concluir que, realmente, a data de fabricação possui uma influência significativa nas variações de valor da água e consumo. Entretanto, a relação entre essas fabricações e o tipo de aparelho não aparece de forma tão clara, já que nos gráficos há apenas alguns intervalos com uma tendência linear de aumento na diferença entre as

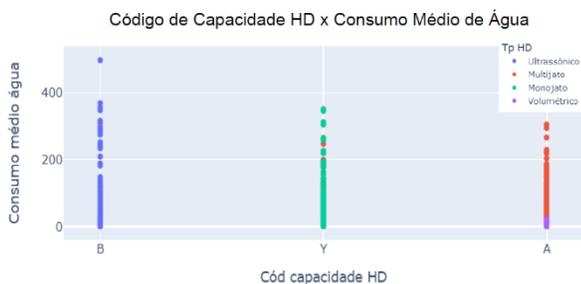
medianas. Por fim, a troca por um aparelho mais novo certamente acarretará um aumento de desempenho e de acordo com análises do relatório complementar a esse, esse aumento será mais significativo se o aparelho final for o ultrassônico.

### 3.5 IMPACTO DA CAPACIDADE DO HIDRÔMETRO NAS TROCAS

Partindo do princípio da existência de uma correlação direta entre consumo médio e o valor da água, como explorado anteriormente, surgiu a necessidade de analisar as características de cada hidrômetro em conjunto com este fator. Ao contrário das seções anteriores que exploravam apenas o tipo do aparelho, esta possui o enfoque no impacto do código de capacidade dos hidrômetros. Cada código representa uma capacidade diferente de vazão, e na base de dados foram encontrados três tipos, que serão discutidos: A, B e Y.

Para analisar a relação entre a capacidade dos equipamentos e a correlação consumo médio de água x valor da água, utilizou-se um método que parte dos valores gerais para descobrir o código com faixas de medição mais distribuídas e posteriormente analisar os casos de trocas isoladas entre capacidades. Para tanto, iniciou-se com uma análise das médias gerais de consumo e valor por tipo para descobrir aqueles com melhor faixa de medição e posteriormente, os tipos com melhor faixas foram analisados separadamente em busca dos valores que o fazem ter maior eficácia. Essas análises foram construídas a partir de gráficos de dispersão e serão melhor apresentadas abaixo.

**Figura 15** – Gráfico: Código de Capacidade do Hidrômetro x Consumo Médio de Água.



Fonte: Os Autores.

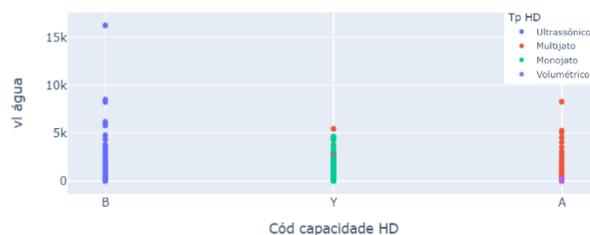
Três códigos de capacidade foram encontrados na base de dados: A, B e Y.

Analisando a Figura 15, percebe-se que o código B possui a melhor faixa de consumo, chegando a valores mais elevados e se equiparando com o

código Y. Em contrapartida, o código A possui uma faixa menor de valores, mesmo que mais bem distribuída. Assim, sugere-se que as médias por consumo de B e A estão bem próximas, enquanto a média de consumo entre B e Y é mais dispersa. Ressalta-se também que a faixa de valores para B é do tipo Ultrassônico, o qual possui consumos médios mais elevados quando comparado com o Monojato de capacidade Y. Esses cálculos foram realizados para comprovar a hipótese apresentada: Média de Consumo:  $A=12,73m^3$ ;  $B=12,38m^3$ ;  $Y=10,85m^3$ .

Logo, comprova-se pelo cálculo das médias que os valores se equiparam entre A e B, além de se manterem distantes entre B e Y. Portanto, o comportamento no caso do valor da água deve se manter parecido com uma vantagem considerável de valor médio de B em relação a Y, já que consumo e valor são medidas correlatas.

**Figura 16** – Código de Capacidade do Hidrômetro x Valor da Água.



Fonte: Os Autores.

Como suposto, a análise permanece semelhante com a realizada para o consumo, em que B possui uma faixa vertical mais acentuada, medindo maiores consumos de água e valores. Além disso, a média de valor dá um salto em relação ao consumo e B surge com médias maiores, enquanto Y está num platô mais abaixo dos outros códigos. Média de Valor da Água:  $A = R\$ 82,31$ ;  $B = R\$ 98,67$ ;  $Y = R\$ 65,42$ .

Portanto, as análises permitem comprovar que há uma relação entre capacidade do equipamento e as medidas (consumo e valor). Neste caso, o código B apresenta-se como o mais eficaz, com uma faixa de medidas maiores, além de médias que se equiparam ou superam os outros códigos. Assim, conclui-se que a capacidade do equipamento interfere nas medidas de consumo e valor de água e, ao isolar as capacidades por código, percebe-se que o código B (do tipo Ultrassônico e de modelos mais novos) possui uma faixa melhor de medição em relação aos códigos A e Y (de equipamentos mais antigos e de outros tipos).

### 3.6 ESTUDO DO MODELO DOS HIDRÔMETROS

Além da tabela com os dados legados de consumo, também foi analisada uma base de dados que continha um estudo de auditoria dos aparelhos, realizado pela companhia, para identificar modelos em submedição ou que poderiam estar com defeito. A interseção desses novos dados com a base anterior propiciou verificar se as relações analisadas nas seções anteriores condizem com a má situação de determinados equipamentos.

A priori, os estudos foram realizados na base de auditoria para apresentar os pareceres por modelo e verificar o comportamento de cada um no que tange aos índices utilizados na auditoria (a filtragem e análise por hidrômetro é inconclusiva, visto que em Morro Reuter praticamente não estão presentes os aparelhos do demonstrativo de aferição). Após a construção da tabela de pareceres por modelo, foi realizada uma filtragem nos dados para determinar quais são os modelos que aparecem na aferição e que também estão instalados na cidade. A partir disso, a amostragem caiu de 28 para 16 modelos, os quais constam nas duas bases e que não são, necessariamente, os mesmos aparelhos. Dessa forma, foi possível checar como se comportam os aparelhos com altos índices negativos na aferição.

**Tabela 1** – Pareceres por Modelo (Filtrado).

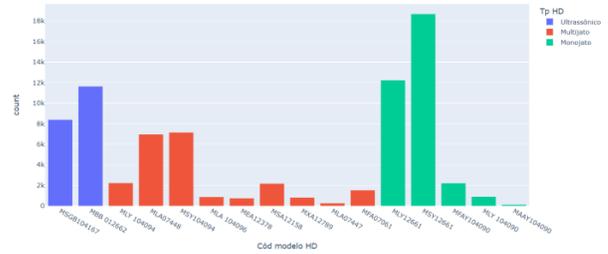
Modelo	Nº aprovados	Nº curva anormal	Nº não aprovado na inspeção	Nº sob medição	Nº submedição	total
MAAY104090	258	0	4	4	24	290
MBB 012662	4	0	0	0	0	4
MEA12378	3	1	1	1	9	15
MFA07061	1	0	0	1	11	13
MFAY104090	99	4	13	4	42	162
MLA 104096	923	2	0	4	20	956
MLA07447	24	0	7	0	0	24
MLA07448	713	4	21	17	91	846
MLY 104090	1	0	0	0	6	7
MLY 104094	265	4	18	5	112	404
MLY12661	8	1	16	2	142	169
MSA12158	8	1	1	1	5	16
MSGB104167	4	0	0	0	0	4
MSY104094	21	2	4	3	31	61
MSY12661	209	10	183	22	125	549
MXA12789	2	0	3	0	8	13

**Fonte:** Os Autores.

Na análise da Tabela 1 (já filtrada), alguns modelos merecem destaque por possuir altos índices de Não Aprovação e Submedição. Os modelos "MSY12661" e "MLY12661", por exemplo, aparecem com uma quantidade baixa de aprovação em relação aos outros parâmetros. Com isso, podemos analisar na outra base a quantidade de

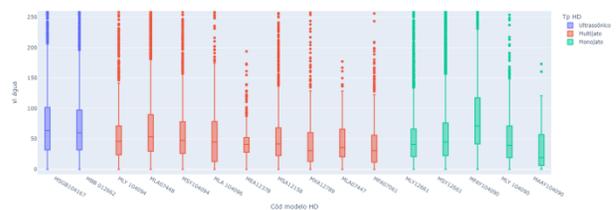
leituras que esses modelos possuem, para então construir um gráfico com suas respectivas faixas de valor de água.

**Figura 17** – Gráfico: Código de Modelo do Hidrômetro x Contagem.



**Fonte:** Os Autores.

**Figura 18** – Boxplot dos Códigos de Modelo do Hidrômetro x Valor de Água.



**Fonte:** Os Autores.

Os gráficos das Figuras 17 e 18 são importantes para observar o comportamento dos modelos utilizados na auditoria. Pela Figura 17, percebe-se que alguns modelos possuem uma quantidade de leituras muito abaixo do padrão, o que, certamente, interfere na precisão dos valores e atrapalha uma análise mais clara. Entretanto, os modelos destacados na Figura 18 possuem uma amostragem considerável e podem ser utilizados nos estudos. Suas medianas realmente aparecem abaixo dos modelos do tipo Ultrasônico e capacidade B ("MSGB104167" e "MBB 012662"), que são tidos como mais eficazes. O modelo "MFAY104090", que aparece com uma mediana alta, é do tipo Monojato, esteve presente em 212 imóveis e apresenta um número de medições considerável (mais de 2000 medições). Por fim, os dados das bases passaram por outra filtragem para manter somente os modelos que possuem mais de 1500 leituras, sendo essa de suma importância para manter a precisão e clareza nos valores de quartis e medianas, trazendo para o estudo uma maior confiabilidade.

Após a filtragem, a amostragem que era de 16 modelos caiu para 10. Esses 10 modelos estão distribuídos nos tipos Ultrasônico, Monojato e Multijato. Cada modelo possui a capacidade referente embutida na própria sigla ("MSY12661", por exemplo, é de capacidade Y). Dessa forma, as análises apresentadas na próxima seção, após a

filtragem, abordam modelo, tipo, capacidade e consulta por parecer na base de auditoria.

Com filtragem da base para considerar apenas os modelos com número de leitura superior a 1500, restaram 10 modelos que foram utilizados para refazer a Tabela 1 e o gráfico de Boxplot da Figura 18.

**Tabela 2** – Pareceres por Modelo, apenas modelos com mais de 1500 leituras.

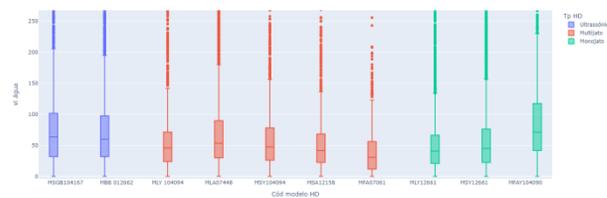
Modelo	Nº aprovados	Nº curva anormal	Nº não aprovado na inspeção	Nº sob medição	Nº submedição	total
MBB 012662	4	0	0	0	0	4
MFA07061	1	0	0	1	11	13
MFAY104090	99	4	13	4	42	162
MLA07448	713	4	21	17	91	846
MLY 104094	265	4	18	5	112	404
MLY12661	8	1	16	2	142	169
MSA12158	8	1	1	1	5	16
MSGB104167	4	0	0	0	0	4
MSY104094	21	2	4	3	31	61
MSY12661	209	10	183	22	125	549

Fonte: Os Autores.

É importante destacar que existem alguns motivos que podem levar um aparelho a estar em submedição, como por exemplo: condições de instalação inadequadas, condição de operação baixa ou elevada, dimensionamento incorreto, falta de manutenção, erro de leitura (fator humano), condições do abastecimento e vida útil esgotada. Certamente, alguns desses parâmetros foram levados em consideração para obter os pareceres técnicos. Portanto, é seguro afirmar que os modelos destacados anteriormente podem apresentar falhas parecidas de forma geral. Com isso, a análise segue destacando os modelos, como feito anteriormente, e observando se os valores obtidos no gráfico condizem com a Tabela 2, em que os modelos com indicativos negativos elevados apresentam medianas mais baixas. Esses modelos foram destacados na Tabela 2, para facilitar a observação. A Figura 19 mostra os boxplots modificados.

Percebe-se ao observar o gráfico da Figura 18, que os modelos destacados na Tabela 2 realmente aparecem com medianas inferiores aos outros modelos, sendo eles os modelos com menor mediana no gráfico.

**Figura 19** – Boxplot: Código de Modelo do Hidrômetro x Valor de Água (Filtrado).



Fonte: Os Autores.

Além disso, os dois modelos do tipo Ultrassônico e capacidade B (“MSGB104167” e “MBB 012662”) são os que apresentam maior mediana, o que condiz com as análises enviadas em relatórios anteriores acerca de sua eficácia (hidrômetros ultrassônicos registram maiores valores de água e consumo nas trocas). Por fim, a relação dos modelos destacados com a base de aferição se mostra evidente, o que pode afirmar uma tendência desses modelos de apresentar falhas de medição em situações futuras, logo o seu uso em locais de maior consumo não deveria ser recomendado.

O cruzamento com a auditoria de aferição foi essencial e permitiu destacar quais modelos aparecem com índices inferiores e o impacto desses índices nos seus coeficientes de medição. Com isso, os modelos “MSG12661”, “MLY12661” e “MFA07061” merecem destaque por possuir uma quantidade significativa de aparelhos não aprovados e em submedição. Esses mesmos modelos, aparecem com medianas inferiores na base de Morro Reuter, além de dois deles serem de capacidade Y, que já aparentavam menor eficácia nos relatórios anteriores.

Ademais, a eficácia dos modelos de capacidade B e tipo Ultrassônico foi comprovada mais uma vez, com uma boa quantidade de aparelhos aprovados na aferição e apresentando as melhores faixas de consumo e valor da água nos gráficos. Por fim, o estudo desses modelos destacados, certamente, deve ser levado em consideração na instalação dos aparelhos futuramente. Imóveis com taxas elevadas de consumo devem possuir os modelos “MSGB104167” e “MBB 012662”, enquanto aqueles com valores menos elevados historicamente podem obter os outros modelos destacados, de menor capacidade e com uma certa tendência a submedição, que não deve interferir tanto nesses locais.

Para estes casos de menores taxas consumo, o modelo “MFAY104090” pode ser uma boa alternativa, visto que é um Monojato de capacidade Y que apresenta medições de consumo e valores de água bons e tem em seus pareceres uma grande quantidade de aparelhos aprovados (embora parte considerável dos aparelhos deste modelo presentes

na tabela de demonstrativo de aferição sejam categorizados em submedição).

### 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, os autores buscaram sugerir uma nova estruturação para o problema do planejamento de instalação de equipamentos de medição nas redes hídricas urbanas. Para tanto, foi desenvolvido um estudo detalhado dos tipos de aparelho utilizados em relação à dados de consumo. Como existe uma correlação direta entre consumo medido ( $M^3$ ) e valor de água (R\$), um sistema de recomendação de hidrômetros é imprescindível para otimizar ganhos e minimizar perdas hídricas.

Dessa forma, foi constatado que o tipo, capacidade e modelo do dispositivo podem impactar no consumo medido, a partir de diversas características. O resultado foi esboçado a partir da comparação de diferentes aparelhos em relação a determinados perfis de usuário, sendo possível identificar qual equipamento melhor se adequa a cada tipo de imóvel.

Ao fim do estudo, foi destacado que os aparelhos do tipo Ultrassônico, modelo "MSGB104167" ou "MBB 012662" e capacidade "B" são equipamentos mais novos se comportam melhor em faixas maiores de consumo, compensando o seu custo elevado. Enquanto isso, equipamentos do tipo Monojato, modelo "MFAY104090" e capacidade "Y" aferem de maneira satisfatória faixas medianas de consumo, o que funciona para locais em que não há tanto gasto hídrico, já que pelo custo-benefício sua instalação seria mais proveitosa do que o Ultrassônico citado anteriormente.

Por conseguinte, as conclusões obtidas podem ser indicar as condições iniciais para um sistema de recomendação que gere automaticamente as análises realizadas em qualquer base de dados, indicando o aparelho correto de acordo com o perfil de usuário.

### REFERÊNCIAS

- [1] PASSOS, Ivan dos; QUADROS, Murilo Augusto Castagnoli de; AVEIRO, Tiago Gregio de. Sistema de telemetria de hidrômetro residencial. 2015. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- [2] SILVA JUNIOR, João Ferreira da. Detecção de perdas em sistemas de distribuição de água através de rede de sensores sem fio. 2017.

Trabalho de Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Eletétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, [Local da Universidade], 2017.

- [3] McKinney, W. (2010). Data Structures for Statistical Computing in Python. In Proceedings of the 9th Python in Science Conference (pp. 51–56).