



Detecção de anomalias hidráulicas em redes via separação cega de sinais

O PROBLEMA

Os grandes centros urbanos e a estruturação de grandes redes de distribuição de água contribuiriam para uma maior complexidade na operação desses sistemas de abastecimento. Com isso, surgiram novos desafios para a manejo de um sistema adequado.

Dentre esses desafios está a manutenção do rompimento e vazamentos. Sua detecção pode ser uma tarefa complicada, uma vez que a maioria dos tubos são subterrâneos, é comum redes possuírem quilômetros de tubulação e o volume total transportado pela rede é muito maior que as perdas em um vazamento.

Apesar de todas essas intempéries, é de suma importância que vazamentos sejam reparados, pois eles podem significar diversos malefícios (Rogers 2014). Em primeiro ponto, pode-se destacar danos estruturais que o vazamento de água pode causar no seu arredor, sendo um solo ou uma obra. Também é uma preocupação a intrusão de patógenos na rede através dos orifícios que surgem, potencializada pela proximidade de tubos de esgoto e de distribuição de água. Por fim, perdas de água tratada também significam a necessidade de captar, tratar e distribuir um maior volume desse recurso, o que acarreta maiores impactos nos mananciais de captação e desperdício de energia e produtos químicos.

Em 2018, segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), o Brasil apresentou um índice de perdas na distribuição de 38,45%. Portanto, de toda a água tratada, reservada e enviada às redes de distribuição no Brasil, apenas 61,55% é consumida.

Ademais, assim como vazamentos, outro problema que ameaça redes são ciberataques em redes de distribuição de água. Elementos de uma rede como tanques, válvulas e bombas são controlados por um sistema remoto. Ao mesmo tempo que esse sistema implica em eficiência e confiabilidade, também implica em vulnerabilidade de ataques virtuais (Nader et. al 2016). A interferência no controle lógico desses elementos causa uma instabilidade nas condições hidráulicas da rede e, conseqüentemente, alteração nos sinais medidos.

Frente a isso, o presente trabalho objetiva-se detectar vazamentos e ciberataques, ambos tratados por anomalias, a partir do tratamento de sinais hidráulicos adquiridos remotamente por um sistema de monitoramento de redes de distribuição de água.

O MÉTODO

O problema de detecção de anomalias hidráulicas em redes de distribuição de água possui uma gama de abordagens (Puust 2010). Diversas delas passam pelo uso de dados adquiridos em tempo real por um sistema de sensores distribuídos pela rede, sejam eles de vazão, de pressão, acústicos, de nível de água.

Entretanto, em razão dos desafios na detecção de anomalias citadas anteriormente, é necessário que os dados sejam explorados a fim de se extrair informações úteis para a resolução do problema. Se observada a distribuição dos sinais hidráulicos, as anomalias, em sua grande maioria, visualmente afetam pouco os sinais medidos. Aquelas que afetam de forma clara são eventos ímpares e mais facilmente detectados.

Portanto, são necessários métodos que isolem tais efeitos para, assim, serem detectados. O presente trabalho propõe o uso de um método de separações de sinais chamado *Blind Source Separation (BSS)*.

Tal método consiste na separação de fontes de sinais misturadas em sinais medidos sem conhecer as suas fontes e nem a forma com que elas se misturam. A aplicação mais comum para esse método é o *Cocktail Party Problem*, em que microfones registram sinais acústicos provenientes de mais de um emissor, ilustrado abaixo.



Detecção de anomalias hidráulicas em redes via separação cega de sinais

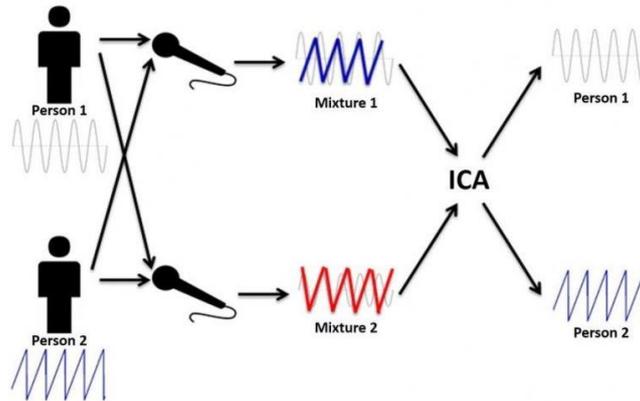


Figura 1: Representação esquemática do *Cocktail Party Problem*

Aplica-se, então, a resolução de BSS aos sinais acústicos medidos e são estimadas as fontes de som separadamente. A equação abaixo descreve uma leitura matemática do problema.

$$x(t) = A \cdot s(t) \quad (\text{Equação 1})$$

em que A é o operador (no caso a interação entre os sons), $x(t)$ é o vetor independente (no caso os sinais medidos) e $s(t)$ é o vetor de incógnitas (que seria as vozes de cada uma das pessoas). O BSS reorganiza essa equação para o modelo abaixo.

$$y(t) = B \cdot x(t) \quad (\text{Equação 2}),$$

De tal forma que $y(t)$ é uma aproximação plausível para $s(t)$ e B para A . Como não é possível resolver esse sistema algebricamente, o método utiliza informações prévias sobre o sistema misturador (matriz A) para realizar suposições e aproximações (Duarte 2006).

No presente trabalho, foi feita a suposição de que todos os elementos hidráulicos medidos (vazão, nível de reservatório, pressão, entre outros) sejam resultado de duas diferentes fontes: o consumo e os ruídos de uma rede. Os ruídos foram considerados quaisquer fontes que possuam influência sobre os padrões hidráulicos além da demanda padrão, como vazamentos e ciberataques.

Portanto, esperou-se que BSS fosse capaz de dividir tais sinais hidráulicos e isolasse uma fonte anomalias que pudesse evidenciar as mesmas quando ocorrerem.

Blind Source Separation é uma família de algoritmos que procuram pelo mesmo objetivo, de isolar fontes. Existem nessa família diferentes tipos de algoritmos, cada um de acordo com sua aplicação de interesse, com suas aproximações e suposições necessárias para estimar fontes (Duarte 2006).

Dentre esses tipos, um dos mais utilizados é a Análise de Componentes Independentes (ICA, do inglês *Independent Component Analysis*) que assume a independência estatística das fontes para seu funcionamento (Duarte 2006). Como premissa do presente trabalho de que as fontes em questão seriam demanda padrão e de ruídos e de que ambas são independentes, foi escolhido esse algoritmo.

ESTUDOS DE CASO E RESULTADOS

A fim de testar a eficiência do algoritmo *Independent Component Analysis*, foram selecionados dois estudos de caso. O primeiro analisa o método em relação a vazamentos e o segundo em relação a ciberataques.



Detecção de anomalias hidráulicas em redes via separação cega de sinais

ESTUDO DE CASO 1

O primeiro utilizou dados fornecidos pelo evento BattLeDIM 2020 (*Battle of the Leakage Detection and Isolation Methods*). Dois anos de medições em uma rede com 33 sensores de pressão e 3 sensores de vazão, todos com passo de tempo de 5 minutos, totalizando, portanto, 210240 aferições para cada sensor.

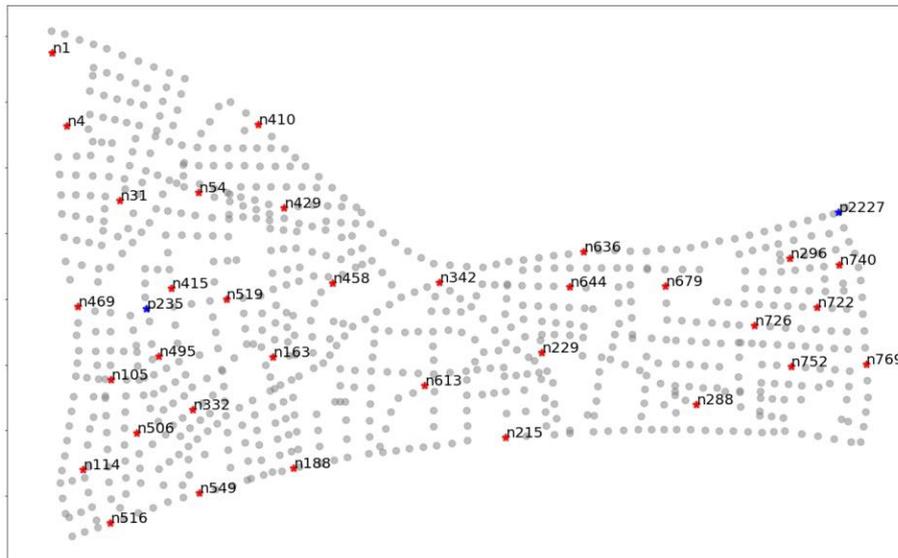


Figura 2: Rede utilizada no primeiro estudo de caso

Durante todo o período ocorreram vazamentos de diferentes magnitudes, duração e localização pela rede. Foram fornecidos tempos de início e reparo desses eventos.

A fim de otimizar a separação de sinais, foram criadas combinações de sensores que possuíssem alguma proximidade física ou estejam em um mesmo setor da rede. E, então, foi aplicado o algoritmo e os resultados obtidos são apresentados na figura 4. As marcações verticais mostram onde ocorreram inícios de vazamentos ou reparos.

Em uma análise visual dos resultados é possível perceber que a ocorrência de vazamentos realmente afeta as fontes estimadas e produz uma variação no padrão de distribuição dos resultados obtidos. A figura abaixo representa os resultados da combinação dos dois sensores de vazão da rede, em que diversas mudanças abruptas ocorrem nas marcações feitas. Sendo o gráfico vermelho considerado os ruídos e o gráfico azul a demanda padrão da rede.

Também é importante pontuar que, um detalhamento do gráfico em azul da figura 4, é possível perceber um padrão de distribuição, considerado o padrão de demanda suposto anteriormente. Um pequeno trecho é representado pela figura 3.

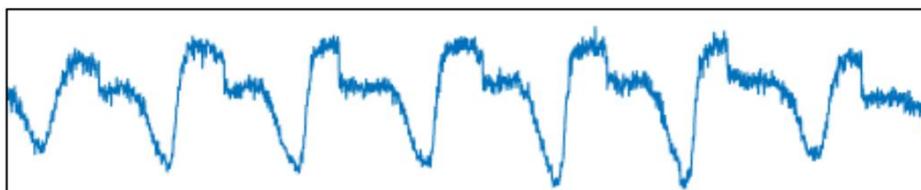


Figura 3: Padrão de demanda estimado pelo método



Detecção de anomalias hidráulicas em redes via separação cega de sinais

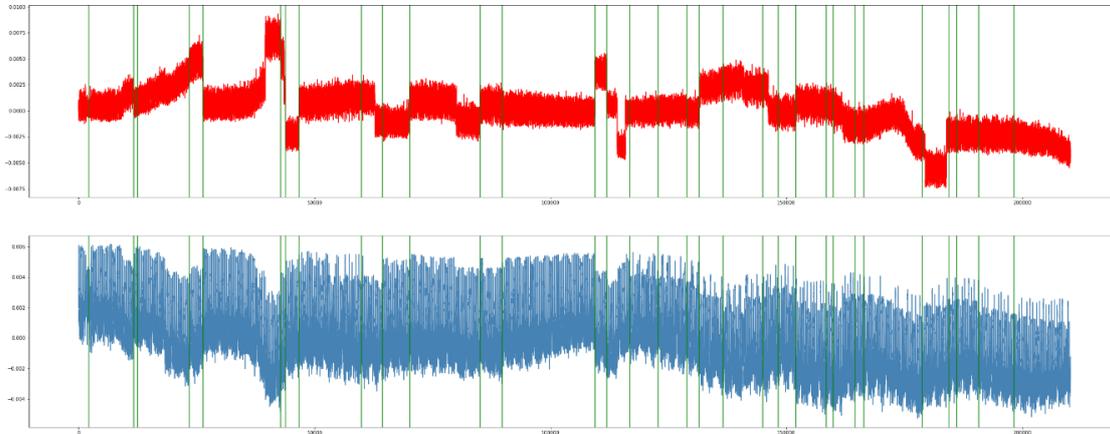


Figura 4: Exemplo de resultado obtido

Como não foram fornecidos os passos de fim de vazamentos da primeira metade do período de medição, foram comparadas apenas a presença das mudanças abruptas nas marcações feitas e a defasagem entre elas. É importante pontuar que a defasagem foi tanto de atraso como de antecipação dos eventos. As fontes estimadas possuíam mudanças abruptas em resposta aos vazamentos em 62,5% das vezes, possuindo uma defasagem média de 284 passos de tempo ou 208,5 minutos.

ESTUDO DE CASO 2

O segundo caso utilizou dados fornecidos pelo evento BATADAL (Battle of the Attack Detection Algorithms), ocorrido em 2017. Os dados são provenientes de uma rede com 7 tanques, 11 bombas, 1 válvula e 12 sensores de pressão. As medições de 9 meses, possuem passo de tempo de 60 minutos, totalizando 6266 aferições para cada sensor.

Nesse caso, durante todo o período, não são registrados vazamentos, mas sim ciberataques terroristas ao sistema de controle dos equipamentos da rede, como bombas, válvulas e medidores de nível de reservatórios. Apesar de não constituírem perdas, tais eventos também provocam anomalias hidráulicas e alteram os elementos medidos, portanto, foi considerado válido utilizar esse caso no trabalho.

Assim como no caso anterior, foram criadas combinações entre sensores e seus dados foram submetidos ao método ICA. Os resultados, então, foram plotados com tempos de início (rosa) e fim (amarelo). Como apresentado em um exemplo na figura 6. Sendo o gráfico vermelho a demanda padrão e o azul os ruídos da rede.

Como pode ser percebido, nesse caso também houve efeito do evento nas fontes estimadas. Enquanto uma manteve seu padrão (considerada a fonte de demanda) outra foi afetada e apresentou uma abrupta mudança de distribuição devido a um ataque próximo ou dentro do setor 3.

Sob uma análise visual, foram levantados os passos de tempo das mudanças abruptas, que significavam o início ou o fim de um ciberataque. Em comparação com os reais passos de tempo, foi observado uma pequena defasagem com os resultados. Tal defasagem ocorreu tanto por um atraso como por uma antecipação da ocorrência. Se feita uma matriz de confusão, é mostrado que 92,6245% do período os resultados estavam dentro do esperado, possuindo 0,2873% de falso positivo e 7,0881% de falso negativo, com boa parcela proveniente 6º ataque que não foi detectado.



Detecção de anomalias hidráulicas em redes via separação cega de sinais



Figura 5: Rede utilizada no segundo estudo de caso

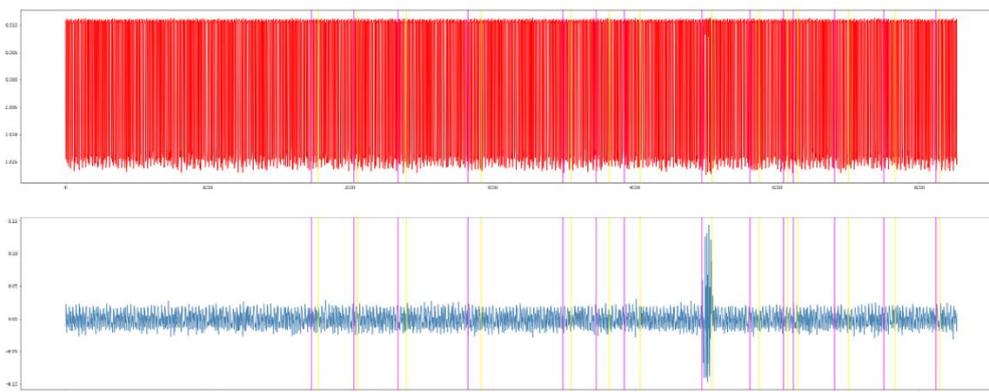


Figura 6: Resultados dos sensores de vazão, pressão e nível de reservatório no setor 3 da rede

CONCLUSÕES

Em primeiro plano, é possível concluir que a suposição de que os parâmetros hidráulicos medidos sejam sinais misturados de duas fontes diferentes, a demanda padrão e os ruídos da rede, e de que eles podem ser separados pelo método BSS foi parcialmente correta, pois realmente foi possível perceber seus efeitos nas fontes estimadas.

Ademais, conclui-se que os vazamentos (e outras anomalias hidráulicas como ciberataques) afetam o comportamento das fontes separadas e evidenciam a ocorrência desses eventos. Entretanto, em uma análise dos resultados constata-se que ainda haja eventos não detectados. Tal efeito foi atribuído a três hipóteses. A primeira é a falta de combinações entre sensores suficiente. A segunda seria um erro no processo de combinação incorreto, que tire sensibilidade dos resultados. Por fim, é possível que eventos com menor magnitude não sejam passíveis de detecção pelo método.

REFERÊNCIAS

- DUARTE, Leonardo Tomazeli et al. Um estudo sobre separação cega de fontes e contribuições ao caso de misturas não-lineares. 2006.
- NADER, Patric; HONEINE, Paul; BEAUSEROY, Pierre. Detection of cyberattacks in a water distribution system using machine learning techniques. In: 2016 Sixth International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC). IEEE, 2016. p. 25-30.
- R. Puust, Z. Kapelan, D. A. Savic, and T. Koppel, "A review of methods for leakage management in pipe networks," Urban Water Journal, vol. 7, no. 1, pp. 25–45, 2010.
- Rogers, D. "Leaking water networks: an economic and environmental disaster." Procedia Engineering 70 (2014): 1421-1429.