



## Auxílio a tomada de decisão multicritério para detecção de anomalia em qualidade de água

Victor Henrique Alves  
Ribeiro e Gilberto  
Reynoso-Meza

**A** principal tarefa para companhias de distribuição de água é a provisão de água limpa e segura para a população. Porém, a água está sempre sujeita a contaminação, seja por fatores naturais, como impurezas nas fontes de água, seja por fatores humanos, como a poluição por lixo e esgoto. Desta forma, é essencial o monitoramento contínuo da qualidade da água, o que geralmente ocorre de

forma manual. Todavia, a rápida detecção de anomalias se torna cada vez mais importante face as grandes mudanças urbanas e eventos climáticos.

Para proteger a qualidade da água ofertada à população, o desenvolvimento de siste-

**Para proteger a qualidade da água ofertada à população, o desenvolvimento de sistemas automáticos de detecção de anomalias tem se tornado cada vez mais importante**

mas automáticos de detecção de anomalias tem se tornado cada vez mais importante. Tais sistemas devem ser robustos o suficiente para

ter uma boa relação entre o número de falsas detecções, os chamados falso positivos, pois agregam custos desnecessários de operação, e o número de falsos negativos, que quando ocorridos pode causar sérios problemas a saúde.

Para encontrar uma boa

solução para tal problema, pesquisadores da Univer-

sidade Técnica de Colônia, na Alemanha, propuseram uma competição internacional para o desenvolvimento de um sistema robusto. Vamos

falar um pouco sobre trabalho vencedor desta competição, que foi apresentado na Conferência de Computação Genética e Evolucionária (GECCO) de 2019 em Praga, na República Checa.

### A solução vencedora

A solução vencedora é composta de técnicas de inteligência artificial em conjunto com ferramentas de tomada

de decisão multicritério. Enquanto as técnicas de inteligência artificial foram utilizadas para detectar padrões nos sinais de qualidade da água, as ferramentas de tomada de decisão multicritério foram aplicadas para encontrar a solução final, buscando identificar a melhor relação entre o número de falsos positivos e falsos negativos.

Primeiro, foi realizado o tratamento de sinais originais de diversos sensores. Dados faltantes, que podem ocorrer devido a falhas de comunicação no sistema, foram tratados com filtragem de sinal. Além disso, foi realizada dessazonalização para remover tendência dos sinais, facilitando a tarefa de algoritmos de inteligência artificial. Em seguida, os sinais foram processados para adquirir suas características estatísticas, como média, desvio padrão, valores máximos e mínimos. Tais características também auxiliam as ferramentas de in-

te para a tarefa, piorando o resultado do modelo final. Desta forma, um algoritmo de otimização evolucionário multi-objetivo (MOEA/D) foi empregado para encontrar o conjunto de modelos simples que minimiza tanto o número de falsos positivos quanto falsos negativos no modelo final.

Como resultado do processo de otimização multi-objetivo, obteve-se um conjunto

## Enquanto as técnicas de inteligência artificial foram utilizadas para detectar padrões nos sinais de qualidade da água, as ferramentas de tomada de decisão multicritério foram aplicadas para encontrar a solução final, buscando identificar a melhor relação entre o número de falsos positivos e falsos negativos

de decisão multicritério. Enquanto as técnicas de inteligência artificial foram utilizadas para detectar padrões nos sinais de qualidade da água, as ferramentas de tomada de decisão multicritério foram aplicadas para encontrar a solução final, buscando identificar a melhor relação entre o número de falsos positivos e falsos negativos.

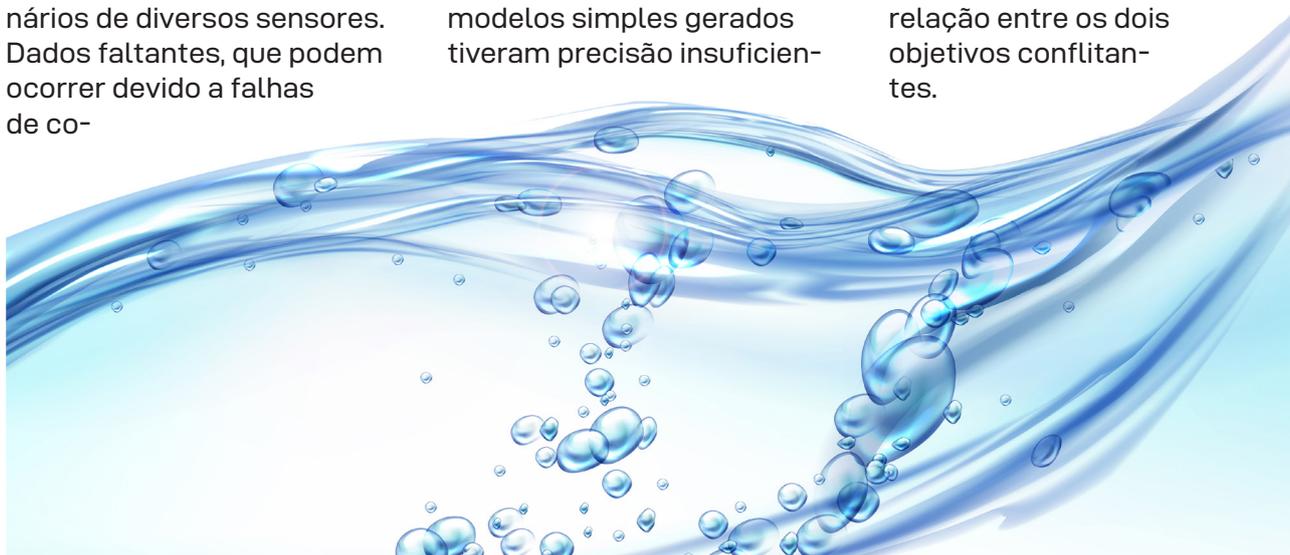
Primeiro, foi realizado o tratamento de sinais originais de diversos sensores. Dados faltantes, que podem ocorrer devido a falhas de co-

teligência artificial. Com isto, foi realizado o treinamento de ferramentas de inteligência artificial, tendo para esse fim, sido testadas duas técnicas: RUSBoost e SMOTEBoost. Ambas são algoritmos de aprendizagem de máquinas que criam diversos modelos simples de classificação e, então, os combinam para criar um modelo final mais poderoso.

Apesar disso, alguns dos modelos simples gerados tiveram precisão insuficien-

te para a tarefa, piorando o resultado do modelo final. Desta forma, um algoritmo de otimização evolucionário multi-objetivo (MOEA/D) foi empregado para encontrar o conjunto de modelos simples que minimiza tanto o número de falsos positivos quanto falsos negativos no modelo final. Como resultado do processo de otimização multi-objetivo, obteve-se um conjunto

com diversas soluções ótimas. Devido ao conflito entre os dois objetivos minimizados, falsos positivos e falsos negativos, uma solução pode apresentar um número de falsos positivos melhor, enquanto outra, apresentar um número de falsos negativos melhor. Com isto, foi aplicada uma técnica de apoio a tomada de decisão multicritério, de forma a encontrar a solução que apresenta a melhor relação entre os dois objetivos conflitantes.





Crédito: Freepik

Para isto, a solução fez uso da técnica de programação física (*physical programming*), que realiza a agregação dos múltiplos objetivos em um único valor final, levando em consideração as preferências definidas por um tomador de decisão. Foram definidos níveis de preferência para cada um dos objetivos: a redução nos valores de falsos positivos e negativos acima de 75% são considerados altamente desejáveis e acima de 50% são considerados desejáveis, já os aumentos nos valores de falsos positivos e negativos de até 50% são considerados indesejáveis e aumentos acima de 50% são considerados altamente indesejáveis.

A solução implementada é composta por um framework desenvolvido na linguagem de programação R, que simula a detecção de anomalias em

tempo real. O resultado alcançado no sistema de submissão alcançou um escore F1 de 0,72, de um máximo de 1,00. O escore F1 é uma métrica de acurácia em classificação que indica a média harmônica entre a precisão e a sensibilidade do sistema.

### Resultado

A solução proposta recebeu o prêmio de primeiro lugar por ter alcançado o maior escore nos dados de teste. A premiação ocorreu na cidade de Praga, na República Checa, durante a Conferência de Computação Genética e Evolucionária, em Julho de 2019. De acordo com os organizadores, a solução vencedora será implementada em um sistema real na companhia de distribuição de água Thüringer Fernwasserversorgung, locali-

zada no estado de Turíngia, na Alemanha. Com isto, engenheiros da empresa terão acesso a uma detecção mais rápida e precisa para monitorar a qualidade da água.



**Victor Henrique  
Alves Ribeiro**

### Os Pesquisadores

#### **Victor Henrique Alves Ribeiro**

Recebeu o título de Mestre (2017) em Engenharia de Produção e Sistemas e o título de Bacharel (2015) em Engenharia da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Recebeu também o título de Tecnólogo (2013) em Mecatrônica Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atualmente, é doutorando em Engenharia de Produção e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Sua linha de pesquisa está relacionada ao desenvolvimento de técnicas de inteligência artificial, aprendizagem de máquina, otimização multiobjetivo, algoritmos evolutivos e tomada de decisão multicritérios para desenvolvimento de sistemas de detecção de falha e sensores virtuais na indústria.

#### **Gilberto Reynoso-Meza**

Recebeu o título de Doutor (2014) em Automação pela Universidade Politécnica de Valência (Espanha), o título de Mestre (2005) em Automação e Controle e o título de Bacharel (2001) em Engenharia Mecânica pelo Instituto Tecnológico e de Estudos Superiores de Monterrey (México). Atualmente, ele está ligado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como Professor Associado. É Bolsa de Pro-



**Gilberto  
Reynoso-Meza**

atividade do CNPq. Sua linha de pesquisa está relacionada a inteligência computacional aplicada a métodos de engenharia de controle, aprendizagem de máquina, otimização multiobjetivo, tomada de decisão multicritérios e algoritmos evolutivos.

#### **Contato**

victor.henrique@pucpr.edu.br

#### **Referência**

Ribeiro, V. H. A., Reynoso-Meza, G. "Monitoring of drinking-water quality by means of a multi-objective ensemble learning approach." Proceedings of GECCO'19 Genetic and Evolutionary Computation Conference. Prague Czech Republic, July, 2019 <https://doi.org/10.1145/3319619.3326745>

