

# APLICAÇÕES DA INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL NO DOMÍNIO DAS INFRAESTRUTURAS DE SANEAMENTO BÁSICO

JOÃO DE QUINHONES LEVY  
Engenheiro Civil Sanitarista, MSc, PhD



Filho de engenheiro civil, um dos primeiros a especializar-se em Engenharia Sanitária no Imperial College, tive o prazer e a sorte de ter tido como professores na licenciatura o Prof. António Lobato Faria, na disciplina de Saneamento Básico, e o Prof. Luís Valadares Tavares, na Investigação Operacional (IO). A força e paixão que colocaram no seu ensino levaram-me a trabalhar com o primeiro, na sua empresa no domínio da Engenharia Sanitária, e com o segundo, na Universidade. Face à pressão que qualquer um deles colocou na importância daquelas áreas, só tive uma solução possível: aplicar as técnicas e metodologias da IO aos estudos e projetos da Engenharia Sanitária.

## REDES DE DRENAGEM

O presente artigo é não só um testemunho da importância que aqueles docentes tiveram no desenvolvimento destas áreas em Portugal como, também, pretende ser um incentivo à utilização das técnicas da IO na Engenharia Sanitária.

Já nos primeiros estudos de dimensionamento do caudal efetivo e se, para além da velocidade, se observasse a força tangencial de arrastamento para impedir a deposição de sólidos. Também uma economia se obteria se, ao calcular-se cada troço, se comparasse o custo entre uma maior escavação e um diâmetro superior. Foi neste contexto que se desenvolveu o modelo de dimensionamento das redes de drenagem que otimizava o custo de construção e utilizava para o cálculo informático a linguagem PL 1 (1). De significativo, o programa calculava a altura da lâmina líquida no coletor para o caudal afluente em cada troço, a partir de uma rotina que determinava o ângulo formado entre o centro e os limites da secção transversal molhada. Conhecendo este ângulo, era possível calcular a altura da lâmina líquida, a força tangencial de arrastamento e a velocidade. Caso algum destes parâmetros não observasse o desejado, o programa aumentava o diâmetro mantendo a inclinação, ou vice-versa, para determinar a solução mais económica. Este programa foi desde essa época sucessivamente atualizado, estando hoje escrito em Visual BASIC e interligado ao Auto CAD para desenho automático dos perfis longitudinais.

## ARMAZENAMENTO DE ÁGUA

Pouco depois surgiu um novo desafio que foi o de dimensionar o volume de um reservatório elevado e os grupos eletrobomba que bombeavam a água para este. O usual

era (e é) dimensionar estes órgãos segundo o dia de maior consumo, acrescido de reserva de incêndio, sem ter em conta a curva real de consumo ao longo do dia. Decidiu-se que seria interessante, em alternativa a critérios empíricos do tipo volume elevado igual a uma percentagem do dia máximo, dimensionar eletrobombas e o reservatório através de um modelo de simulação que considerasse a distribuição da procura horária, segundo uma lei gaussiana truncada no ponto zero, com uma média e uma variância correspondentes aos consumos efetivos (2). A aplicação da simulação mostrou-se de grande interesse e a sua associação a um programa informático que mostre o volume de água existente em cada momento permite melhor compreender as variações de nível num reservatório e optar por uma entre as muitas soluções possíveis de dimensionamento.

## TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS

Também no campo do tratamento das águas residuais domésticas, as técnicas da IO têm aplicação, quer no posicionamento das ETAR face à população a servir e à qualidade da água, quer no dimensionamento da própria estação. No primeiro caso há que optar entre sistemas locais de tratamento e sistemas regionais com um número reduzido de estações. A comparação entre as diversas alternativas, que têm como limites uma só

ETAR ou n ETAR, baseia-se no custo de construção e de exploração dos sistemas que integram estações elevatórias e de tratamento, e condutas. Entre as várias técnicas de otimização, a programação não linear é uma delas (3). Já para o dimensionamento das ETAR e escolha do processo de tratamento, a programação dinâmica inversa a que recorreu o autor (4), é uma ferramenta muito interessante. Veja-se que na escolha do processo são definidas as fronteiras, a inicial que é o caudal afluente e as suas concentrações, e a final que são as concentrações definidas na licença de descarga. Com a programação dinâmica inversa começa-se por jusante, nas concentrações da licença, e recua-se um estágio escolhendo aquele a que corresponde o custo global inferior (construção mais exploração), sucessivamente vai-se recuando de estágio, escolhendo sempre o ramo de custo mais baixo, conforme esquema da Figura 1.

Um outro problema associado às ETAR é o da escolha do nível de eficácia de tratamento e da forma como se pretendem distribuir os custos de instalação e de operação. Sinteticamente, em termos de custo, verifica-se normalmente que os processos com maior custo de construção são os que têm menor custo de exploração e o contrário. É o caso dos processos de tratamento por lamas ativadas convencionais (LAc) com decantação primária e estabilização de lamas, e a alternativa de lamas ativadas em arejamento prolongado (LAp) sem aqueles órgãos mas com maior consumo energético. Quanto à eficácia, os sistemas de lagunagem são os menos fiáveis mas, em contrapartida, são os que têm um custo mais baixo. A escolha do processo de tratamento baseada nestes e noutros critérios traduz-se num problema de multicritério que pode ser resolvido por um de diversos métodos, como o "TRIDENT" (5).

## RESÍDUOS SÓLIDOS

Também nos resíduos sólidos as técnicas da IO muito poderão ajudar o planeamento dos serviços. Uma das aplicações consiste na escolha dos locais das estações de tratamento e de transferência, com vista à minimização do custo de transporte. A solução pode ser encontrada através do mé-

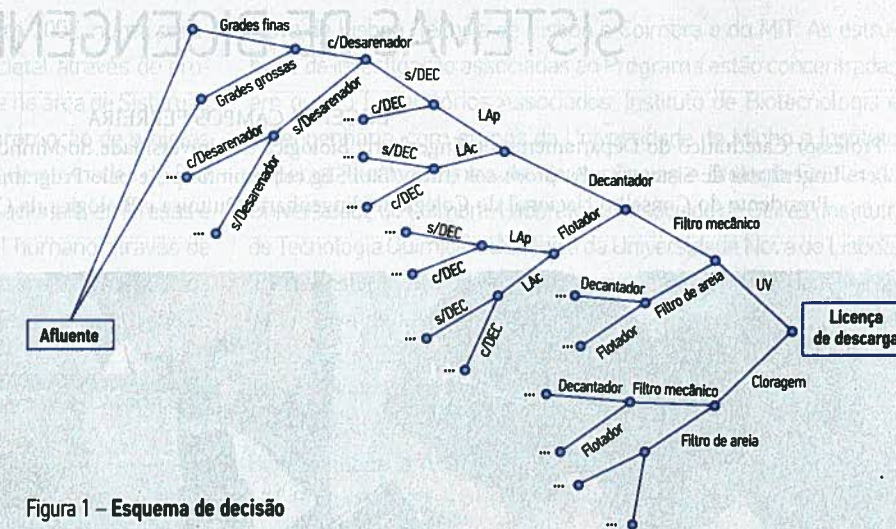


Figura 1 - Esquema de decisão

todo dos transportes, da programação linear, que procura a alternativa com menor custo, tendo em atenção as capacidades de produção, os caminhos existentes e os limites de receção. Associada àquela aplicação está a definição dos circuitos de remoção com vista à sua otimização. Esta tem grande relevância na definição da tarifa do serviço pois que uma economia diária, mesmo que

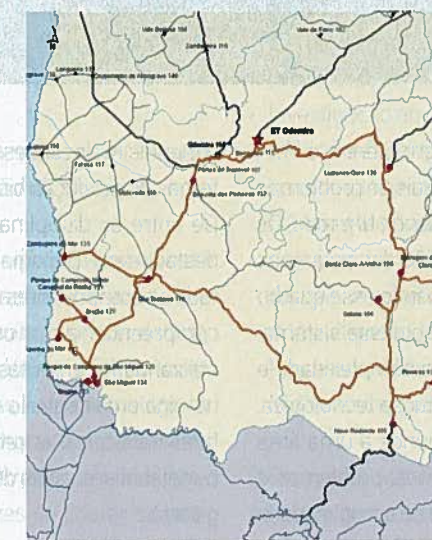


Figura 2 - Circuitos de remoção

pequena, se repete muitas vezes ao ano. Trata-se do típico problema de estabelecimento de rotas com múltiplos depósitos em que as soluções iniciais são melhoradas recorrendo a uma meta heurística conhecida por colónias de formigas (6).

## RESPONSABILIDADE AMBIENTAL

Mais recentemente, prova de que as técnicas da IO são de utilização generalizada na re-

solução de problemas da Engenharia, está o cálculo das garantias financeiras a constituir no âmbito da responsabilidade ambiental de operadores (7). Para o estabelecimento destas há que avaliar o risco de ocorrência do evento que implica a determinação da sua probabilidade e do dano associado. Na gestão de uma operação são muitos os eventos que podem ter repercussões negativas no ambiente em graus diversos e com diferentes probabilidades, pelo que a determinação da garantia implica a análise dos muitos cenários possíveis. A sua determinação através de um modelo de simulação baseado na metodologia ERIC - Environmental, Risk Insurance, Calculation, mostrou-se eficaz pelo que é uma das técnicas que se recomenda (8).

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Levy, J.; Santos, J. (1978): "Dimensionamento das redes de drenagem de águas residuais com recurso ao cálculo automático", Congresso da Ordem dos Engenheiros, Porto.
- (2) Tavares, L.; Silva, J.; Levy, J. (1980): "Dimensionamento de reservatórios para abastecimento de água à povoação", APDIO.
- (3) Teyeca, D.; Smeers, Y. (1981): "New linear programming design of wastewater treatment plant", JEED, ASCE, p.107.
- (4) Levy, J. (1985): "Dimensionamento e controlo da ETAR - modelo iterativo", tese de Doutoramento, IST/UTL.
- (5) Tavares, L. (1984): "The TRIDENT approach to rank alternative tenders for large engineering projects", Foundation of Council Engineering, 9.
- (6) Levy, J.; Pinela, A.; Oliveira, R. (2007): "Otimização dos circuitos de remoção de resíduos", II Colóquio "Pensar Ambiente", C. M. Odemira.
- (7) Sá, S. (2013): "Pedido de intervenção no âmbito do Regime Jurídico da Responsabilidade Ambiental", RIDB - Revista do Instituto do Direito Brasileiro, ano 2, n.º 4, Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa, ISSN: 2182-7567, pp.2182-7567.
- (8) Levy, J. (2011): "A responsabilidade ambiental de municípios e unidades industriais", Curso FUNDEC, IST, Lisboa.