

II-568 - APLICAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO DINÂMICO AO SISTEMA DE COLETA E TRANSPORTE DE EFLUENTES DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO

Cora Coralina Cavalcante Castro Gonzalez⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Robson Wilson Silva Pessoa⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestrado em Engenharia Industrial (UFBA)

Asher Kiperstok⁽¹⁾

Engenheiro Civil pelo TECHNION - Instituto Tecnológico de Israel, Mestrado e Doutorado em Engenharia Química/Tecnologias Ambientais pela Universidade de Manchester, Reino Unido, Coordenador do TECLIM - Rede de Tecnologias Limpas, Programa de Engenharia Industrial, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Luciano Matos Queiroz⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Bahia, Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, São Paulo.

Maira Puridade⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Endereço⁽¹⁾: Rua Aristides Novis, 2, 4º andar, Departamento de Engenharia Ambiental, Sala 4 - Federação - Salvador - Bahia - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: +55 (71) 3283-9897 - e-mail: coraccg@yahoo.com.br.

RESUMO

O presente trabalho propôs o desenvolvimento de um modelo hidrológico dinâmico para simular o funcionamento do sistema de coleta e transporte dos efluentes industriais gerados em uma refinaria de petróleo. O modelo foi desenvolvido a partir do estudo de caso de uma refinaria existente e seu uso é adequado para verificação da eficiência do sistema e flexível permitindo ajustes operacionais que previnam possíveis falhas e consequentes danos ambientais ao corpo receptor. A modelagem do sistema utiliza alguns parâmetros fixos de projeto e algumas variáveis que podem ser alteradas para avaliar o comportamento do sistema diante de eventos pluviométricos. A partir dos resultados encontrados foi possível constatar que o modelo, sendo dinâmico e flexível, é representativo para o sistema estudado e eficaz na identificação de equipamentos críticos do sistema e como ferramenta para apontar problemas operacionais. Isso permite que a refinaria, ou qualquer outro setor industrial, prepare o seu sistema de efluentes industriais e/ou medidas emergenciais, diante de eventos pluviométricos e, assim, evite qualquer prejuízo ambiental que pode ser gerado pela disposição inadequada desse resíduo nos corpos receptores.

PALAVRAS-CHAVES: Modelo hidrológico, Modelo dinâmico, Efluentes industriais.

INTRODUÇÃO

Os efluentes gerados em uma refinaria de petróleo possuem características peculiares quando comparados com outros efluentes industriais. Esperam-se elevadas concentrações de óleo no efluente devido ao contato da água com o petróleo em alguns processos como: dessalgação, torre de destilação, trocadores de calor, etc. A presença de óleo pode causar diversos impactos no ambiente e, inclusive, interferir no equilíbrio das cadeias tróficas, atingindo, eventualmente, os seres humanos (Peso-Aguiar et al., 2000). Assim, além das estações de tratamento de efluentes, os sistemas de transporte, coleta e segregação de efluentes industriais em refinarias devem ser bem projetados e operados para evitar qualquer tipo de falha.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo hidrológico dinâmico para simular o comportamento de um sistema de coleta e transportes de efluentes em uma refinaria de petróleo na ocorrência de eventos pluviométricos. A partir da compreensão de como o sistema se comportará, é possível identificar e diagnosticar problemas operacionais, buscar a melhor forma de operá-lo e, se necessário, tomar as medidas preventivas para evitar qualquer tipo de contaminação ambiental. Adicionalmente, é possível utilizar o modelo proposto na fase de projeto e realizar o dimensionamento de um sistema de coleta e transporte de efluentes mais seguro, confiável e flexível, preparado para lidar com situações adversas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolver o modelo hidrológico dinâmico foi necessário representar todo o caminho do efluente dentro da refinaria estudada e conhecer as rotinas operacionais do sistema dinâmico por meio do estudo dos documentos de engenharia (memórias de cálculo, plantas e desenhos) normas e especificações técnicas, relatórios técnicos, documentos com as especificações dos equipamentos físicos (bacias e poços) e mecânicos (bombas e medidores de nível) que compõem o sistema, visitas de campo e contato com os operadores.

O sistema estudado está distribuído por toda a planta da refinaria, pois é responsável por coletar, segregar e transportar os efluentes de todos os pontos da refinaria para a estação de tratamento existente. Canaletas, desarenadores, poços e bacias são as principais estruturas físicas do sistema. O efluente é segregado de acordo com a seguinte classificação: pluvial limpo, efluente contaminado e efluente oleoso (FERREIRA, 2000). O primeiro é encaminhado diretamente para o corpo receptor e os demais são destinados à estação de tratamento de efluentes industriais. As bacias e poços, que possuem medição de nível e bombas que podem ser acionadas remotamente, são responsáveis por reter o volume de efluente gerado (funcionando como tanques pulmões) visando manter constante a vazão afluente à estação de tratamento. Caso a capacidade de contenção das bacias e poços seja excedida, o efluente contaminado é extravasado para o ambiente. Esses equipamentos foram construídos com barreiras físicas que impedem o arraste total da camada superficial de óleo presente nos efluentes. A Figura 1 mostra um modelo esquemático de funcionamento do sistema

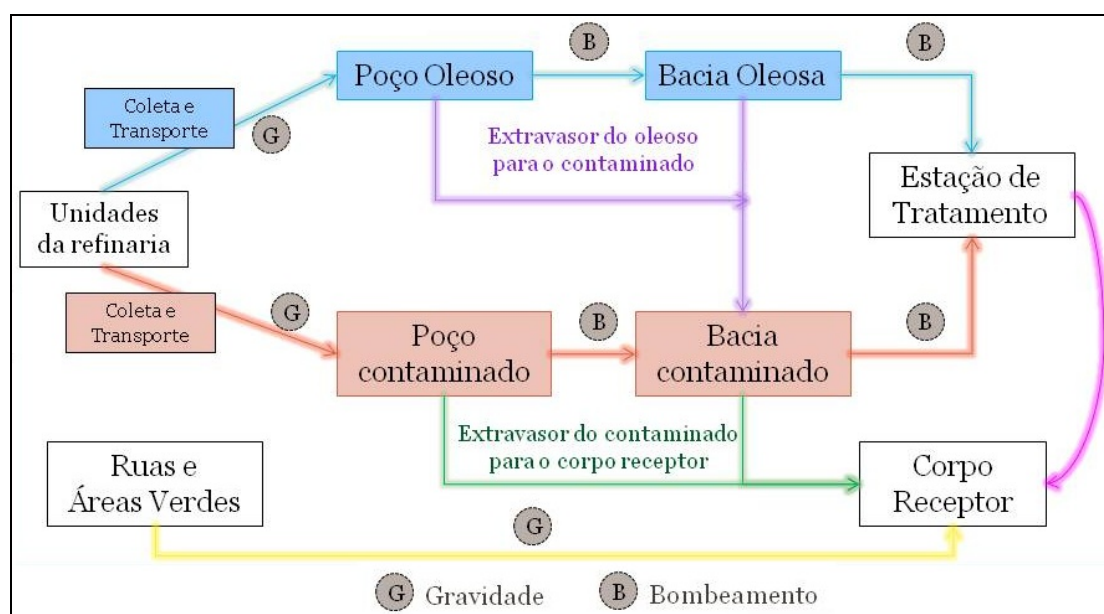


Figura 1: Sistema de segregação, coleta e transporte de efluentes na refinaria.

A elaboração de um modelo fenomenológico para a representação do sistema de coleta e transporte de efluentes de uma refinaria focado na dinâmica do sistema permitiu a simplificação através da concentração de parâmetros. As hipóteses simplificadoras foram: massa específica constante e igual a 1.000 kg.m^{-3} e vazões de operação de bombas constantes e igual ao valor nominal (desconsiderando a influência da variação do nível das bacias e poços na vazão bombas). Canaletas e tubulações não foram incluídas na modelagem, implicando num modelo algébrico de conexão direta entre os equipamentos, porém, cada equipamento foi representado por uma equação diferencial.

Esse modelo algébrico diferencial foi composto pelos seguintes parâmetros de entrada: vazão nominal das bombas, volume dos equipamentos, áreas de contribuição de chuva e vazões de drenagem do processo. Para a simulação foram realizadas perturbações nas variáveis: intensidade de chuva e operação de bombas. A simulação apresentou como variáveis de resposta os níveis dos equipamentos físicos e as vazões de extravasamento. A Figura 2 mostra o diagrama esquemático do modelo dinâmico de segregação, coleta e transporte de efluentes.

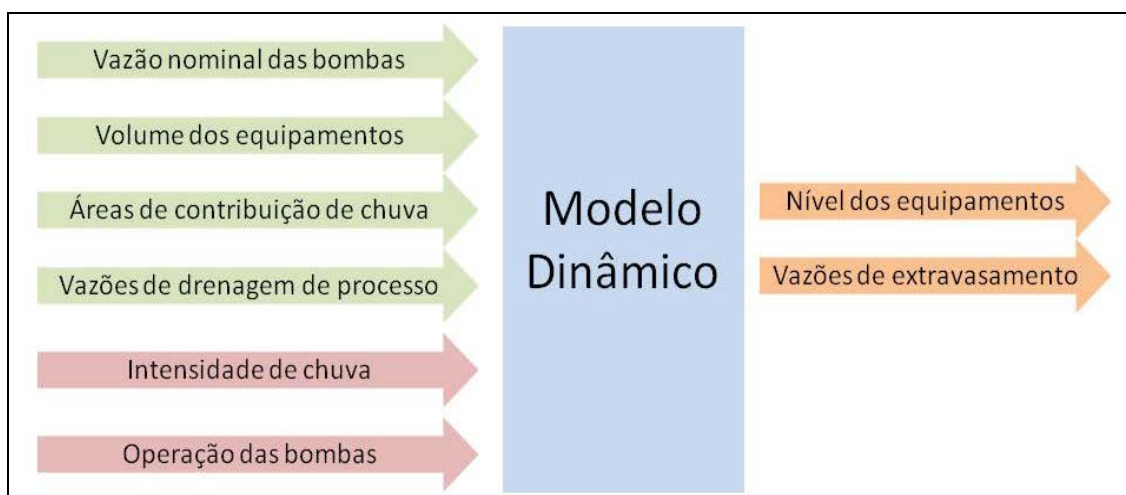


Figura 2: Diagrama esquemático do modelo dinâmico do sistema de segregação, coleta e transporte.

Os parâmetros vazão nominal das bombas e o volume das bacias e poços foram obtidos através das folhas de dados de cada equipamento. A Equação 01 representa o balanço dinâmico discreto de cada bacia e poço.

$$Fin(k) = As \frac{L(k+1) - L(k)}{\Delta t} - Fout(k), \text{ para } k = 1, 2, \dots, m \quad \text{Equação (1)}$$

As estimativas das vazões de processo - $F_{in}(k)$ para cada bacia ou poço em tempo seco - foram realizadas através do balanço material dinâmico discreto baseado no histórico de operação das bombas (convertidos em vazão com referência na vazão nominal) e medida de nível - $L(k)$ - desses equipamentos. Para melhor representar a dinâmica do sistema foi adotada a frequência de 1 min^{-1} na coleta de dados. Menos de 5% das medições disponíveis continham erros ou ausência de medição distribuídos ao longo do período de um mês de coleta. Essas falhas foram preenchidas pela seguinte regra para medições de nível e operação de bomba: manter o último valor de nível medido ou a última informação de funcionamento da bomba indicada. Além disso, para os dados de nível, foi aplicada a derivada de Savitzky-Golay. Esse ajuste possibilitou a estimativa das vazões médias de entrada suavizadas ao longo de uma janela de tempo, entretanto, esse método pode aumentar a incerteza dos resultados para os casos em que a ordem da derivada não é adequada. O comportamento dos dados de medição de nível ao longo do tempo e os respectivos pontos suavizados estão exemplificados na Figura 3 para uma janela de tempo.

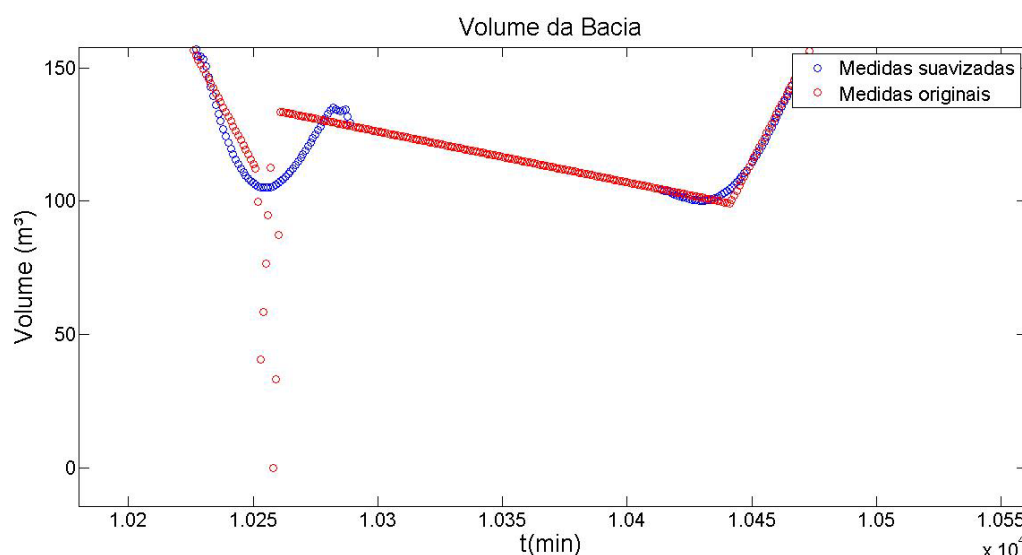


Figura 3: Exemplo de aplicação da derivada de Savitzky-Golay para suavização de dados de medição de nível. Os dados na cor vermelha são os valores medidos originais e as medidas em azul são os valores suavizados pela derivada da Savtzky-Golay

A vazão de contribuição de chuva (Q_c) para o sistema foi estimado através do Método Racional ($Q_c = C.i.A$) (PINTO, 2005). As áreas de contribuição de chuva (A) para cada bacia e poço foram obtidas a partir de relatórios técnicos e de plantas baixas da refinaria. Essas áreas são necessárias para avaliar o comportamento do sistema na ocorrência de um evento pluviométrico. O coeficiente de deflúvio (C) foi considerado igual a 1,0 (hum), pois, se trata de uma área industrial, na qual o solo é, predominantemente, impermeável.

A intensidade da chuva (i) é uma variável de entrada que deverá ser perturbada de acordo com o objetivo de análise do processo. No presente trabalho foram exploradas níveis de precipitação partindo de tempo seco até condições extremas de operação para as quais são registrados evento de extravasamento de efluente para o corpo receptor. Assim como a intensidade da chuva, a operação das bombas deverá ser imposta pelo operador do modelo para verificar como o sistema irá se comportar a partir do cenário proposto.

A simulação conjunta dos equipamentos (sistema algébrico diferencial) foi realizada sobre a plataforma computacional Simulink/Matlab[®]. Existem *toolboxes* baseados na plataforma Simulink/Matlab[®] para representação de modelos hidrológicos (ACHLEITNER, 2007), entretanto, não se dispõe de representação de sistemas com extravasamento.

O sistema de equações de cada bacia e poço, apresentado na Equação 02, pode alternar entre uma equação diferencial ou uma equação algébrica, dependendo do nível.

$$\begin{cases} A_s \frac{dL(t)}{dt} = Q(t) + F_{in}(t) - F_{out}(t), & \text{se } L < L_{m\acute{a}x} \\ F_{ext}(t) = Q(t) + F_{in}(t) - F_{out}(t), & \text{se } L > L_{m\acute{a}x} \end{cases} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde A_s é a área da seção superficial, $L_{m\acute{a}x}$ é o nível máximo dos equipamentos (100%), $L(t)$ é o nível da bacia ou poço, $Q(t)$ é a vazão de contribuição de chuva, $F_{in}(t)$ é a vazão de entrada, $F_{out}(t)$ é a vazão de saída e $F_{ext}(t)$ é a vazão de extravasamento. O sistema modelado é constituído por 15 sistemas de equações semelhantes ao apresentado na Equação 02 e estão interconectados de acordo com a topologia do sistema.

Para o cálculo da vazão de contribuição de chuva não foram considerados eventos de pico. Logo, representação de $Q_c(t)$ foi adotada a função pulso apresentada na Equação 03.

$$\begin{cases} Q(t) = 0, & \text{para } t < t_a \\ Q(t) = CiA, & \text{para } t_a \leq t \leq t_b \\ Q(t) = 0, & \text{para } t > t_b \end{cases} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde, o intervalo entre t_a e t_b é a duração da chuva.

Também, para operação das bombas, foram adotadas funções pulso como indicado a seguir:

$$\begin{cases} F_{out}(t) = 0, & \text{para } t < t_{on} \\ F_{out}(t) = F_n, & \text{para } t_{on} \leq t \leq t_{off} \\ F_{out}(t) = 0, & \text{para } t > t_{off} \end{cases}$$

Onde F_n é a vazão nominal da bomba, t_{on} é instante de partida da bomba e t_{off} é o instante de parada.

RESULTADOS

O modelo foi testado para diversos valores de intensidade de chuva com precipitação variando entre 0mm e 20mm com duração de 15 minutos, sendo 0mm correspondente ao tempo seco. A análise do sistema teve foco nos equipamentos de maior volume disponível para contenção de efluentes, ou seja, as bacias.

A operação das bombas foi simulada da seguinte forma: no início do evento pluviométrico, operavam as bombas das bacias de efluente oleoso durante 360min e, em seguida, entravam em operação as bombas das bacias contaminadas 720min, sempre mantendo uma vazão afluente à estação de tratamento adequada ao seu funcionamento.

Analizando os resultados das simulações, detectou-se que o sistema é plenamente capaz de operar em tempo seco, apenas com as vazões de drenagem de processo, como é verificado nas Figuras 4 e 5. Essas figuras indicam o valor do nível atingido pelas bacias ao fim da precipitação com 15 minutos de duração. Constata-se, ainda, uma maior taxa de elevação do nível com o aumento da precipitação no sistema contaminado, isso se deve ao fato das maiores áreas de contribuição de chuva para esse sistema quando comparado ao sistema oleoso.

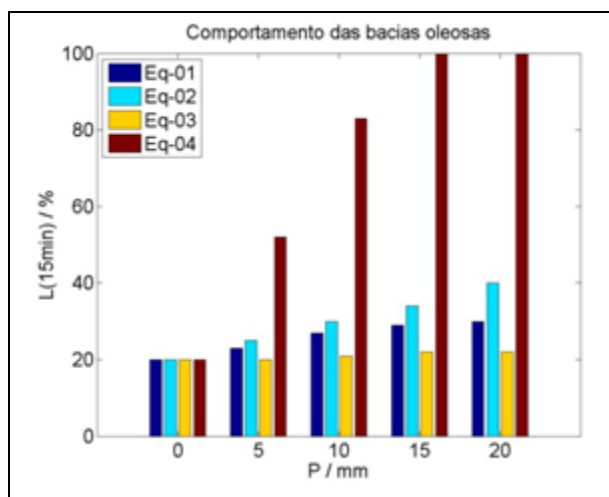


Figura 4: Valor de nível atingido pelos equipamentos oleosos (Eq-01 à Eq-04) ao fim da precipitação.

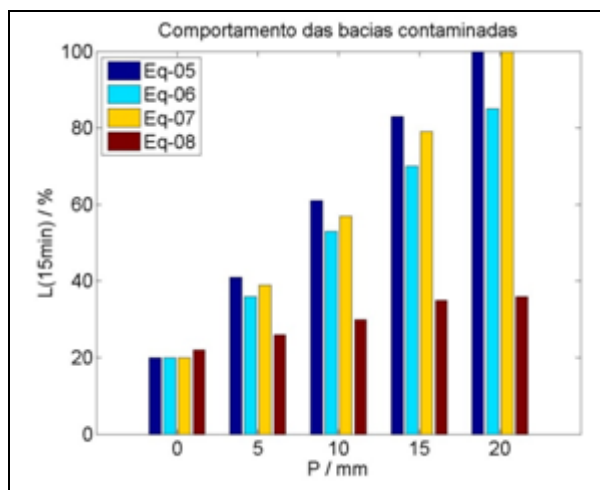


Figura 5: Valor de nível atingido pelos equipamentos contaminados (Eq-05 à Eq-08) ao fim da precipitação.

Particularmente, em relação ao equipamento Eq-04, o crescimento do nível após a chuva é similar ao comportamento dos equipamentos contaminados, pois seu volume é muito menor quando comparado aos demais equipamentos oleosos. Por meio da simulação dos diversos casos, constata-se que para uma precipitação de 10mm há problemas de extravasamento dos poços de recalque do sistema oleoso para as bacias oleosas e, a partir de 20mm, há risco iminente de extravasamento de efluente contaminado para o corpo receptor.

CONCLUSÕES

A inserção da perspectiva de simulação dinâmica do processo de transporte de efluentes em unidades industriais permite maior previsibilidade dos possíveis impactos das atividades de produção no meio, bem como, a previsibilidade das interferências que o meio ambiente (eventos pluviométricos) pode causar nas rotinas operacionais.

O método adotado para modelagem possibilitou a representação da dinâmica do sistema de segregação, coleta e transporte de efluentes industriais. Portanto, o modelo é aplicável para a identificação de pontos críticos em relação à segregação e acúmulo de efluentes e, também, pode ser utilizado como referência no planejamento de operação diante de boletins de previsão de eventos pluviométricos reduzindo o risco de situações emergenciais. Além disso, com a disponibilidade do modelo e conhecimento de características específicas das estruturas e equipamentos é possível criar um sistema supervisor para controle automático e atingir a maior eficiência na operação.

Diante dos resultados obtidos para um modelo algébrico diferencial aplicado a parâmetros concentrados é possível aprimorar alguns aspectos como: valores das vazões de drenagem de processo variáveis ao longo do tempo e baseado no histórico de operação, inserir como critério de operação a espessura da camada de óleo dentro das bacias e poços e construir os perfis de precipitação (hidrogramas unitários) para avaliar melhor o desempenho do sistema (pois a partir do estudo topográfico do terreno é possível inserir o tempo de concentração das vazões de chuva nas bacias e poços). Alguns estudos podem ser considerados com relação a não uniformidade da chuva sobre o terreno (distribuição espacial da chuva). Longos trechos de canaletas e tubulações também podem ser considerados no modelo através de funções de atraso para representar o tempo de deslocamento entre dois equipamentos de acúmulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHLEITNER, S.; MÖDERL, M.; RAUCH, W. CITY DRAIN © – An open source approach for simulation of integrated urban drainage systems. *Environmental Modelling & Software*, v. 22(8), p. 1184-1195, 2007.
2. FERREIRA, Eduardo F. T.; et al. Ampliação da estação de tratamento de despejos industriais (ETDI) da refinaria Alberto Pasqualini (REFAP) da Petrobras. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.
3. PESO-AGUIAR, M. C.; et al. Effects of petroleum and its derivatives in benthic communities at Baía de Todos os Santos/Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Canada, v. 3, p. 459-470, 2000.
4. PINTO, Nelson L. de Souza; et al. *Hidrologia Básica*. Ed. Edgard Blucher. 9ª edição. São Paulo, SP – 2005.