

**DETECÇÃO DE FALHAS NO DESEMPENHO DE CONTROLADOR: UMA  
ABORDAGEM BASEADA EM DENSIDADE LOCAL**

*Paulo André Pinheiro Amaral (pinheiroamaralpauloandre@gmail.com)*

*Melquisedeque Nonato De Oliveira (melk\_chelsea@hotmail.com)*

*Marcus Felipe De Oliveira Quetez (marcusquetez@ufrj.br)*

*Thalles Pereira Mello (thalles\_pmello@yahoo.com.br)*

*Moacyr Nogueira Borges Filho (m.borgesv8@hotmail.com)*

*Luiz Augusto Da Cruz Meleiro (meleiro@ufrj.br)*

*Luis Americo Calçada (calcada@ufrj.br)*

Muitos processos industriais operam em condições perigosas (alta pressão e alta temperatura), necessitando manter as variáveis dentro de limites seguros, prevenindo acidentes. Uma queda no desempenho de controladores é um problema complexo e comum na indústria. As causas podem ser diversas, indo desde problemas no equipamento até mudanças no próprio processo. Neste sentido, a detecção de falhas em sistemas de controle é uma etapa crítica para garantir a confiabilidade e estabilidade de processos industriais. Portanto, este projeto propõe uma abordagem híbrida que combina controle clássico com técnicas de aprendizado de máquina para identificar anomalias no desempenho de um controlador PID na vazão volumétrica. Inicialmente, foi projetado um controlador PID utilizando a equação discretizada, permitindo a implementação computacional em tempo real. A equação foi aplicada em um

simulador desenvolvido em Python para representar uma malha de controle em feedback, na qual a variável controlada é atualizada a cada iteração (Ogata, 2010). A sintonia do controlador foi realizada de forma empírica, utilizando uma heurística baseada na observação da resposta do sistema. Os parâmetros obtidos foram:  $K_p = 0,5$  (ganho proporcional),  $K_i = 0,2$  (ganho integral) e  $K_d = 0,05$  (ganho derivativo). Essa abordagem de sintonia é comum em aplicações práticas, especialmente quando não se dispõe de modelos matemáticos precisos do processo (Astrom e Hagglund, 2006). Para avaliar o desempenho do controlador, foi definida como métrica o tempo fora de banda, que corresponde ao tempo em que a resposta do sistema permanece fora de uma faixa de tolerância de  $\pm 5\%$  em torno do valor de referência (set point). Essa métrica foi utilizada como entrada para o treinamento de um algoritmo de aprendizado de máquina baseado em densidade local, o Local Outlier Factor (LOF). O LOF é capaz de identificar padrões anômalos ao comparar a densidade local de um ponto com a de seus vizinhos, sendo eficaz na detecção de falhas sutis em sistemas dinâmicos (Breunig et al., 2000). Durante o treinamento do LOF, o sistema foi submetido a variações do set point em formato de degraus, caracterizando um problema do tipo servo. A resposta do sistema foi registrada e associada à métrica de tempo fora de banda, permitindo ao algoritmo aprender o comportamento normal do controlador quando ocorrem mudanças intencionais no set point. Após o treinamento, dois experimentos foram realizados para validar a capacidade de detecção de anomalias. No primeiro experimento, foi aplicada uma perturbação externa na entrada do sistema. O LOF identificou corretamente a alteração como uma anomalia, demonstrando sensibilidade à variação abrupta. No segundo experimento, foi alterado o valor do ganho proporcional de 0,5 para 0,01, o que resultou em uma resposta oscilatória e instável. O algoritmo também classificou esse comportamento como anômalo, evidenciando sua capacidade de detectar falhas relacionadas à má sintonia do controlador. Este estudo demonstra que a integração entre controle PID e algoritmos de aprendizado de máquina pode ser uma ferramenta poderosa para monitoramento inteligente de sistemas automatizados, contribuindo para a melhoria da confiabilidade operacional.

Palavras-chave: local outlier factor; monitoramento; controle de processos.