



Faculdade de
Engenharia Química
Departamento de Engenharia de
Sistemas Químicos

MODELAGEM EMPÍRICA DE UM PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD) UTILIZANDO SISTEMA DE INFERÊNCIA ADAPTATIVA NEURO-FUZZY (ANFIS).

Aluno: Luis Miguel Ticianeli Ferreira

RA: 202298

Orientador: Prof. Dr. Flávio Vasconcelos da Silva – DESQ/FEQ

1. Introdução

A água é essencial para a vida na Terra. Presente nos três estados físicos ao redor do globo, sólido na forma de geleiras; líquido na forma de oceanos, mares, rios, lagos e lagoas; e gasoso de forma dispersa na atmosfera, a água sempre foi sinônimo de vida. Contudo, infelizmente, a medida que a sociedade se desenvolve tecnologicamente, a situação desse recurso tão importante vem se tornando cada vez mais problemática.

Nesse contexto, processos como a flotação por ar dissolvido (FAD), tornam-se alternativas viáveis para o tratamento de águas de abastecimento e efluentes industriais. A FAD é o processo de flotação mais utilizado no tratamento de efluentes industriais (RUBIO et al., 2002). Contudo, apesar do processo ser amplamente utilizado, quase não há relatos do uso de instrumentação e automação de tal processo na literatura assim como modelos matemáticos que possam ser utilizados de forma prática.

2. Objetivos

A proposta principal é o desenvolvimento de um modelo empírico baseado em uma técnica de Inteligência Artificial: sistemas neuro-fuzzy (ANFIS), que irá ser aplicada em um processo tratamento de água utilizando flotação por ar dissolvido (FAD), avaliando experimentalmente seu desempenho sob diferentes cenários.

3. Processo de Flotação por Ar Dissolvido

O método utilizado nesse projeto consiste em injetar microbolhas de ar no afluente, o que promove o arraste das partículas em suspensão, reduzindo sua densidade aparente e promovendo o acúmulo das mesmas na superfície do líquido. Sendo enquadrada como um processo de clarificação, a FAD é empregada na remoção de partículas em estações de tratamento de efluente através de filtração em meio granular (Edzwald, 2010).

A FAD deve ser precedida de pré- tratamentos de coagulação e/ou floculação, a fim de agregar as partículas dissolvidas em agregados maiores, garantindo maior eficiência na etapa de flotação. (BICKERTON, 2012)

4. Planta Piloto

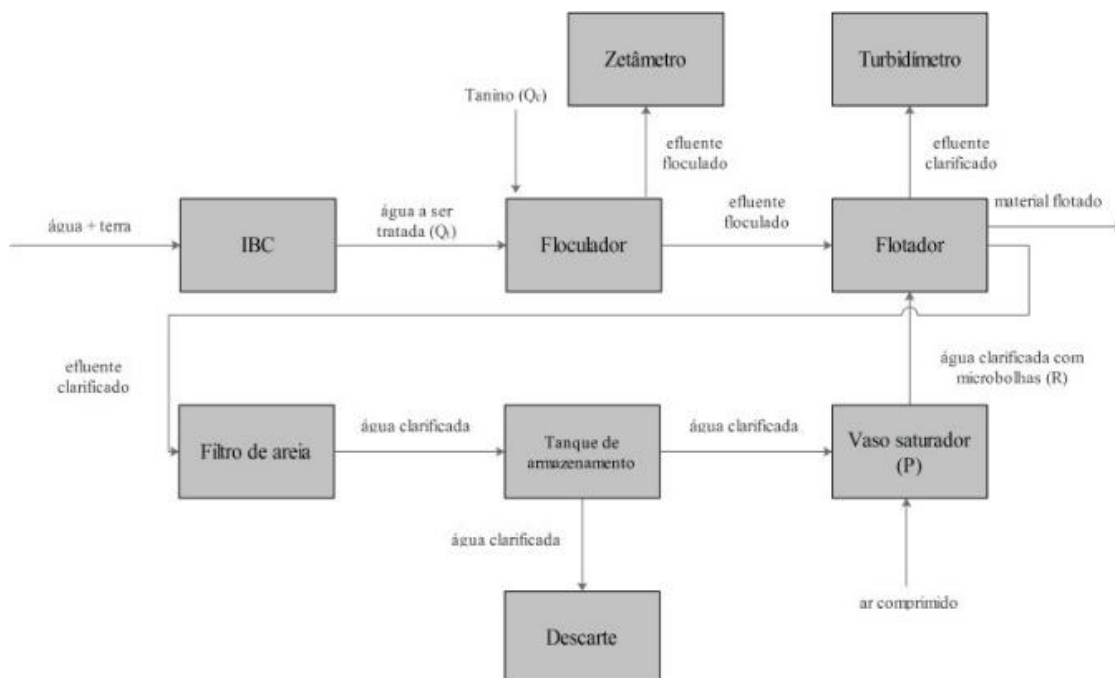


Figura 1. Diagrama de Blocos (BFD) da planta piloto de FAD.(Silvestre, 2017)

A planta piloto utilizada neste projeto se encontra no Laboratório de Controle e Automação de Processos (LCAP) , sendo as diferentes etapas envolvidas neste processo são apresentadas no diagrama de blocos (BFD) presente na Figura 1.

O efluente utilizado é composto por água e terra vermelha, sendo armazenado em reservatórios IBC com capacidade de 1000 L .

O floculador, é composto por três seções, sendo que a primeira e a terceira possuem agitadores mecânicos. Na sua entrada, duas bombas dosam a vazão de coagulante e floculante desejadas e um transmissor indicador de pH monitora tal variável.

Parte da água que sai do flotador é enviada para um turbidímetro online, que mede a eficiência da flotação, e logo depois é descartada. Outra parte vai para um filtro cilíndrico de areia, que é responsável por reter partículas sólidas que não tenham sido removidas no processo de flotação. A água tratada (clarificada) que sai do filtro é armazenada em um tanque, a partir do qual parte dessa água é descartada e parte é reciclada e enviada ao vaso saturador.

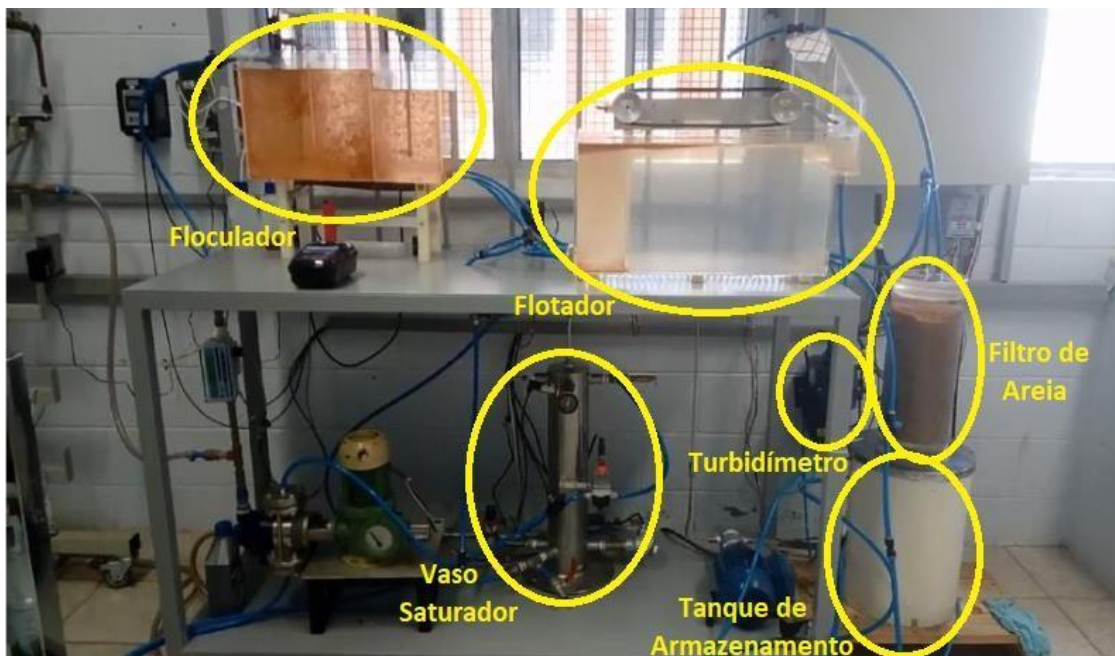


Figura 2. Protótipo de Flotação por Ar Dissolvido.

5. Resultados

Foi utilizado um banco de dados coletado de experimentos realizados na planta disponível. Do total obtido, foi separado 70% para o treinamento do algoritmo, e os 30% restante, foram utilizados como teste, como é recomendando na literatura. Além disso, foi feita a normalização da variável de saída, turbidez resultante, através dos seus limites. A Tabela 1 representa a etapa de manipulação do banco de dados descrita.

Tabela 1 - Banco de dados utilizado na aplicação da ANFIS

Nº dados Total	Nº dados Treino	Nº dados Teste	Limite inferior – f(x)	Limite superior – f(x)
20230	14161	6069	2,88	7,166

Sendo a turbidez inicial das amostras como 100 NTU, foi utilizado o toolbox Fuzzy do software Matlab. Nele, determinando a ANFIS sendo uma função Sugeno, foi inserido o conjunto de dados de treinamento e teste. Selecionando método de sub clustering na construção das funções pertinências, foi selecionado valores para a otimização dele, como representado na Tabela 2 abaixo

Tabela 2 – Parametrização do algoritmo de Treinamento

Range of influence	Accept ratio	Reject ratio	Método – Funções Pertinência
0.5	0.5	0.15	Sub.clustering

Finalmente, foi realizado o treinamento e teste dos conjuntos de dados, sendo o critério de parada, 5×10^{-2} , atingido após 5 épocas, como representado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado do obtido com o Treinamento

Erro de Treinamento	Épocas	Tipo de ANFIS
0.0347	5	Sugeno

Para analisar a robustez do algoritmo, calculou-se os desvios de cada ponto dentro do banco de dados. Com isso, foi possível utilizar formulas estáticas que permitam diferentes análises, como desvio padrão, média de desvio obtido e o maior desvio observado.

Tabela 4 – Resultados da análise estatística dos desvios entre os dados ANFIS e experimentais

Desvio Padrão	Média	Maior desvio observado - Módulo
0,028	0, 02	0,872

Analisando a Tabela 4, despreende-se que o método foi de extrema eficácia e robustez. Com valor de média e desvio padrão sendo pequenos, conclue-se uma confiabilidade e precisão no ajuste obtido.

Foi feita também a análise gráfica do ajuste dos resultados, nos intervalos de treinamento e teste. O resultado foi extremamente satisfatório, como desmontrado nas Figuras 5a e 5b.

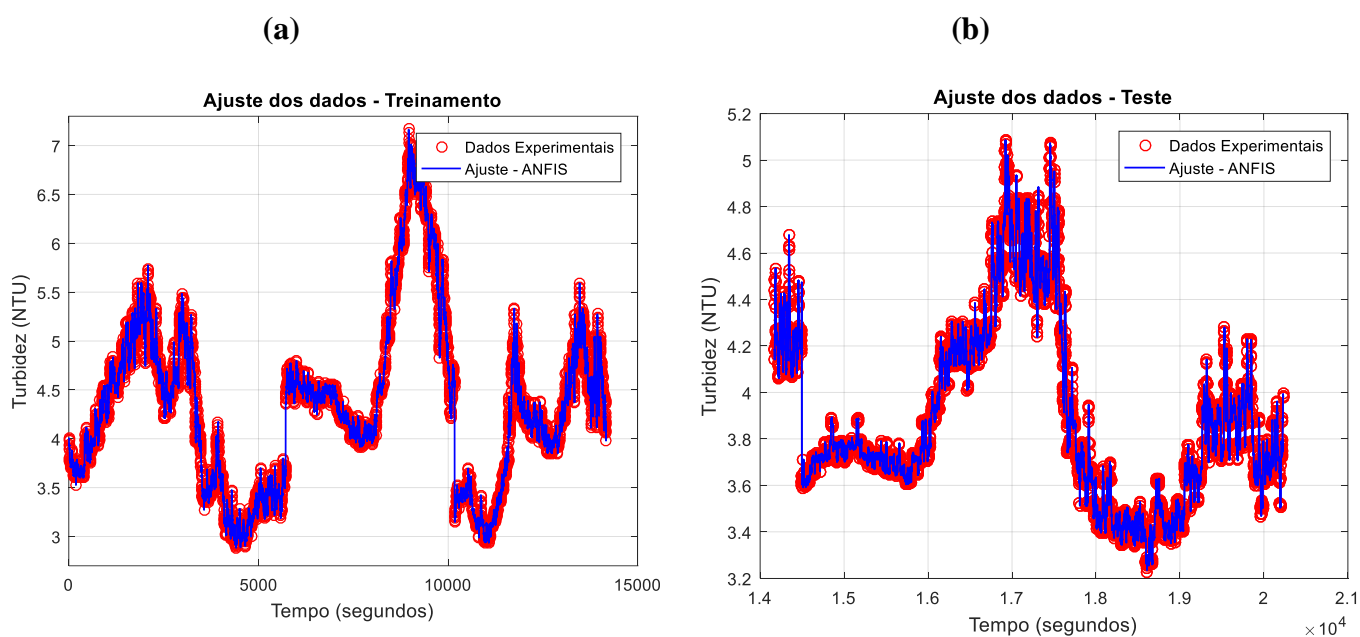


Figura 5 (a) Ajuste comparativo entre os dados obtido do Treinamento com os experimentais ; (b) Ajuste comparativo entre os dados obtido do Teste com os experimentais

6. Referências Bibliográficas

Edzwald, J. K. Dissolved air flotation and me. *Water Research*, v. 44, n. 7, p. 2077–2106, 2010. Elsevier Ltd.

Fonseca, R. R. *Monitoramento e Controle Avançado Aplicados à Flotação por Ar Dissolvido*, 2017. Universidade Estadual de Campinas.

Matlab & Simulink (2004-2007). *OPC Toolbox™ 2 – User's Guide*. The MathWorks™.

Sivakumar, R.; Sahana, C.; Savitha, P. A. (2012). Design of ANFIS based Estimation and Control for MIMO Systems. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(3), 2803-2809.

Souza, A. C. O. *Modelagem empírica do comportamento dinâmico de um Protótipo de Flotação por Ar Dissolvido baseada na aplicação de Redes Neurais Artificiais*, 2019. Universidade Estadual de Campinas.