

## REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS APLICADAS NA PREDIÇÃO DE DOSAGENS DE COAGULANTE NO TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA: UMA REVISÃO

Railson de Oliveira Ramos (1); Josivaldo Rodrigues Sátiro (2); Maria Virgínia da Conceição Albuquerque (3); Wilton Silva Lopes (4)

*Universidade Estadual da Paraíba-UEPB – railson\_uepb@outlook.com<sup>1</sup>*

*Universidade Estadual da Paraíba-UEPB – josivaldosatiroo@gmail.com<sup>2</sup>*

*Universidade Estadual da Paraíba-UEPB – virginia.albuquerque@yahoo.com.br<sup>3</sup>*

*Universidade Estadual da Paraíba-UEPB – wiltonuepb@gmail.com<sup>4</sup>*

### RESUMO

O tratamento de águas destinadas ao abastecimento público mais utilizado no Brasil é o tratamento por ciclo completo, que contempla necessariamente as etapas de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. O controle do processo de coagulação/floculação nas estações de tratamento é acompanhado principalmente por ensaios de coagulação, realizados em reatores estáticos *Jar Test*. As desvantagens associadas a estes ensaios referem-se à necessidade de intervenções manuais constantes, o elevado tempo requerido por ensaio, trabalho intensivo, elevada probabilidade de erros sistemáticos e resposta lentas às mudanças de características da água bruta. Alguns estudos têm descrito a aplicação exitosa de sistemas automatizados baseados em Redes Neurais Artificiais (RNA) na predição de dosagens de coagulantes em estações de tratamento de água (ETA). Diante da importância inerente aos ensaios de coagulação e das problemáticas associadas aos procedimentos relativos à metodologia convencional, o presente trabalho trás uma revisão de literatura sobre aplicações de RNA na predição de dosagens de coagulante em ETA's. Foram destacadas as características de modelos desenvolvidos por diferentes autores, e desenvolveu-se uma comparação entre os resultados obtidos pelos mesmos. Verificou-se que as aplicações destes modelos viabilizam melhorias significativas para as ETA's. O estudo comparativo entre os trabalhos utilizados nesta revisão indicou que o aprimoramento dos modelos de predição pode ser obtido através da divisão das informações dos bancos de dados por período de coleta, e que o aumento do número de variáveis de entrada pode estar relacionada com a diminuição da qualidade de predição.

**Palavra Chave:** Redes Neurais Artificiais, Tratamento de água, Dosagem de coagulante.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Tratamento convencional de água

O tratamento de águas destinadas ao abastecimento público mais utilizado no Brasil é o tratamento por ciclo completo, que contempla necessariamente as etapas de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Esta série de operações, também nomeadas de tratamento convencional, objetiva adequar a água para atender ao conjunto de valores preconizados como parâmetro da qualidade para consumo humano. As etapas de mistura rápida, coagulação, floculação e decantação estão intrinsecamente ligadas e compreendem a fase do tratamento onde ocorre maior remoção do material particulado e dos colóides responsáveis pela cor aparente e turbidez da água (PEREIRA, 2016).

O material particulado e colóide em águas de superfície possuem, tipicamente, carga superficial líquida negativa. As forças atrativas entre estas partículas são, consideravelmente, menores do que as forças de repulsão das cargas elétricas. Nesta condição de estabilidade o movimento Browniano – que resulta do bombardeamento constante das partículas por moléculas de água relativamente pequenas, causado pelo movimento térmico aleatório, que as circunda – mantém as partículas e os colóides em suspensão (METCALF & EDDY, 2016).

A fase de mistura rápida em uma ETA, ou a mistura inicial, tem como finalidade proporcionar uma dispersão uniforme do produto químico coagulante em toda a água afluente. A coagulação é o processo pelo qual o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão. A floculação é a aglomeração dessas partículas por meio de colisões resultantes do transporte de fluido, de modo a formar partículas maiores que possam decantar (BARUTH, 2012; METCALF & EDDY, 2016).

Segundo Bartiko (2014), nos tanques de floculação o crescimento do floco é inicialmente determinado pela força de cisalhamento aplicada, pela concentração de partículas, pela eficiência das colisões entre os mesmos. Quando os flocos tornam-se maiores, o crescimento adicional dos mesmos é restringido pela força de cisalhamento aplicada à massa líquida.

## 1.2 Ensaios de coagulação

O controle do processo de coagulação/floculação nas estações de tratamento convencionais (ETA's) é acompanhado principalmente por ensaios laboratoriais de coagulação, realizados em reatores estáticos *Jar Test*. Estes equipamentos permitem simular as etapas de mistura rápida, coagulação, floculação e decantação das ETA's. As dosagens dos coagulantes variam em grande escala para maximizar a eficiência de remoção de cor e turbidez, utilizando doses mínimas no pH ótimo. Estes níveis são determinados através dos diagramas de coagulação, obtidos nos ensaios em *Jar Test*, que relacionam remoção de cor aparente e turbidez em função do pH e da dosagem de coagulante (DI BERNARDO, 2005; METCALF & EDDY, 2016).

Os principais parâmetros monitorados nos ensaios de coagulação, como resposta da eficiência do tratamento, são velocidade de sedimentação, cor e turbidez, que estão diretamente relacionados com a qualidade dos flocos formados, permitindo estimar as condições ideais de coagulação/floculação.

As desvantagens associadas a este método referem-se à necessidade de intervenções manuais constantes, o elevado tempo requerido por ensaio, trabalho intensivo, elevada probabilidade de erros sistemáticos e resposta lentas às mudanças de características da água bruta (SINGH et al., 2015; GOMES<sup>1</sup> et al., 2015). Outra problemática é que os equipamentos *Jar Test* não possuem ferramentas para análise características das partículas e monitoramento de qualidade por parâmetros indiretos como cor aparente e turbidez não possibilitam estudos mais aprofundados sobre a dinâmica durante a floculação (MORUZZI et al. 2015).

## 1.3 Aplicação de redes neurais artificiais na predição de condições de coagulação

Em consequência das desvantagens atreladas ao método de ensaios de coagulação tradicional, uma linha de pesquisa que tem ganhado destaque é a introdução da automação nas estações de tratamento de água. Alguns estudos têm descrito a aplicação exitosa de sistemas automatizados baseados em Redes Neurais Artificiais (RNA), na predição de dosagens de coagulantes em ETA's. Gomes<sup>1</sup> et al (2015) desenvolveram um sistema para determinação da dosagem de coagulante, em uma ETA, baseado em RNA's. O caso de estudo foi uma planta de grande escala de tratamento de água no estado do Ceará, Brasil. Informações arquivadas de

dosagens de coagulante em função do pH e da turbidez da água alimentaram o banco de dados do sistema.

McArthur (2015) também empregando RNA desenvolveu modelos para prever a turbidez da água bruta e tratada, as dosagens de sulfato de alumínio e as dosagens de reguladores de pH, com base em dados históricos de uma estação de tratamento da *Lake Huron & Elgin Area Water Supply Systems*, em Port Stanley-Ontario, Canadá. Outra aplicação de modelos de RNA na previsão de dosagens de coagulante é descrita por Menezes (2016) que realizou o desenvolvimento do modelo para uma ETA em Salvador-Bahia.

Diante da importância inerente aos ensaios de coagulação e das problemáticas associadas aos procedimentos relativos à metodologia convencional, avaliando as novas ferramentas e métodos analíticos que ganharam destaque neste campo científico, a presente revisão será voltada descrição das principais características relacionadas a modelos de RNA que vem sendo desenvolvidos para simulação de ensaios de coagulação.

## 2. METODOLOGIA

Para viabilizar uma melhor identificação dos sistemas de RNA que vem sendo aplicado em simulações de coagulação, foram selecionados três trabalhos, desenvolvidos recentemente, por diferentes autores em instituições distintas. Os estudos selecionados foram:

- COAGULANT DOSAGE DETERMINATION IN A WATER TREATMENT PLANT USING DYNAMIC NEURAL NETWORK MODELS, elaborado por Gomes (2015) e colaboradores, no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, Ceará-Brasil.
- DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR THE OPTIMIZATION OF DRINKING WATER TREATMENT, desenvolvido por McArthur (2015), no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Toronto, Toronto-Canadá
- USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA PREDIÇÃO DA DOSAGEM DO SULFATO DE ALUMÍNIO E DO HIDRÓXIDO DE SÓDIO NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO, elaborado por Menezes (2011), na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Bahia-Brasil.

Foram observados os parâmetros da água e as condições de coagulação descritas pelos autores, o tipo de RNA utilizada em cada estudo, os coeficientes de determinação obtidos e as viabilizações oferecidas por cada modelo desenvolvido.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

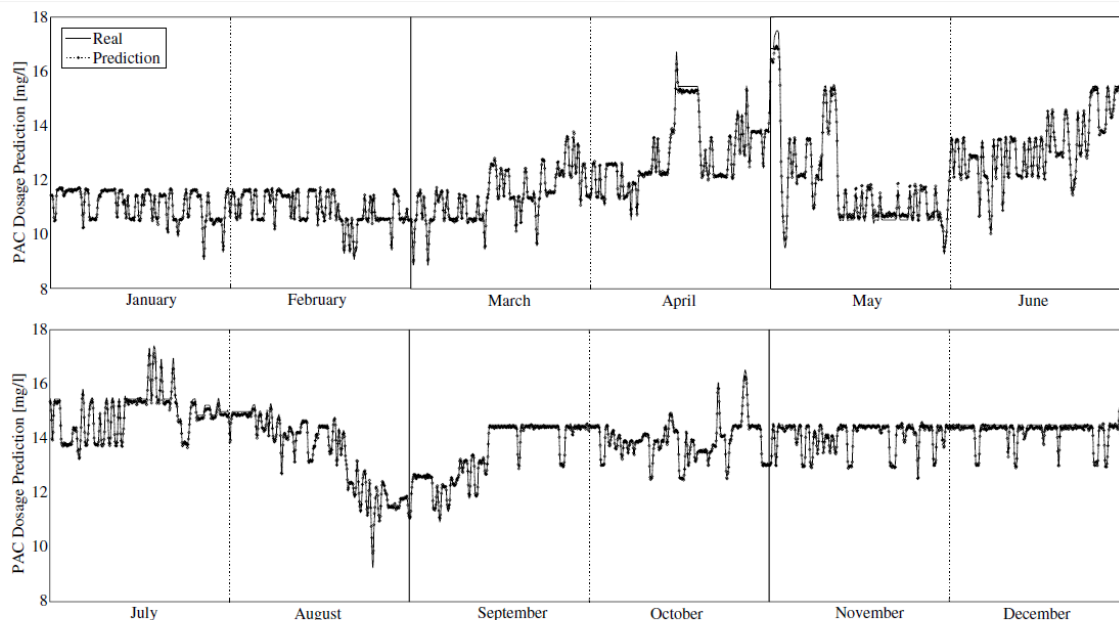
#### **3.1 Coagulant Dosage Determination In A Water Treatment Plant Using Dynamic Neural Network Models**

Gomes<sup>1</sup> et al. (2015), que desenvolveram um sistema para determinação da dosagem de coagulante, em uma ETA de grande porte no estado do Ceará, Brasil. O banco de dados utilizado para desenvolvimento do modelo de RNA foi constituído de informações arquivadas de ensaios de coagulação, com registros de dosagens de coagulante em função do pH e da turbidez da água. A RNA aplicada foi a NARX (modelo não-linear auto regressivo com entrada exógena).

Os resultados demonstraram que a previsão de dosagens de sulfato de alumínio, baseado em valores de pH e turbidez da água bruta, podem ser alcançados através de deste modelo de redes neurais. A ferramenta possibilitou a previsão da dosagem de coagulante com coeficiente de determinação de 0,95 em relação ao método tradicional de ensaios de coagulação (GOMES et al. 2015).

Em algumas tentativas iniciais, empregando apenas o sensor de monitoramento da turbidez como dado de entrada, no desenvolvimento do modelo, a correlação entre os valores previstos e os reais gerou um  $R^2 = 0,894$  (GOMES et al. 2015). No entanto, o modelo empregando os sensores de turbidez e pH resultou num coeficiente de 0,95, indicando que o desenvolvimento da RNA com dois dados de entrada permitiu melhores previsões que o modelo com um dado de entrada. Na figura 1 a seguir, é apresentado as dosagens de coagulante empregadas na ETA, obtidas pelo ensaio de coagulação tradicional, e os dados previstos pelo modelo de RNA.

**Figura 1:** Predições de dosagem de coagulante ao longo do ano obtidas através de RNA e valores de dosagem de coagulante obtida pelo método de ensaio de jarros.



**Fonte:** (GOMES et al. 2015).

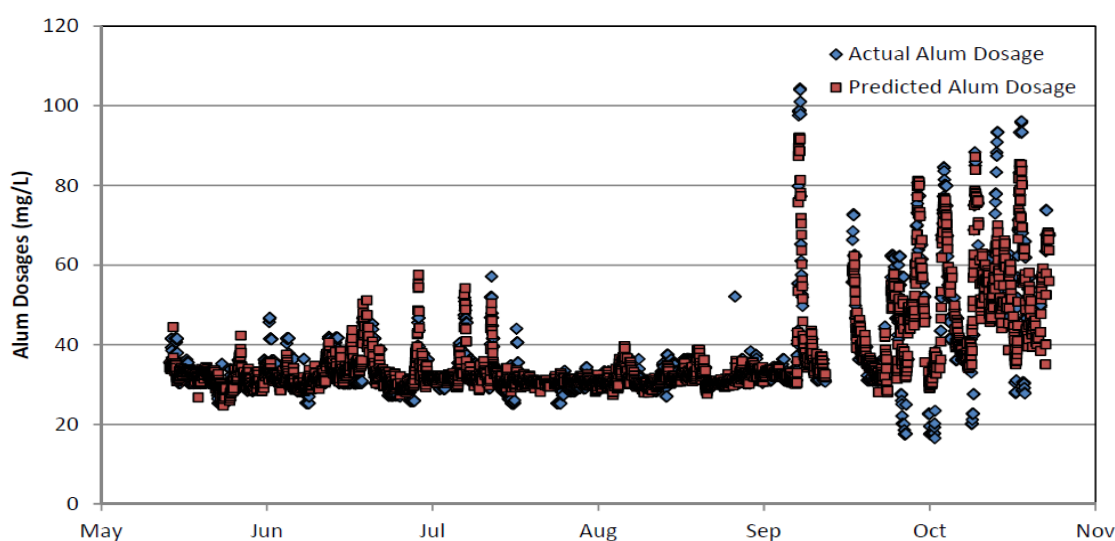
É possível verificar através da figura 1 que os resultados de predição obtidos pela RNA NARX são praticamente os mesmos obtidos pelo método tradicional, e o coeficiente de correlação de 0,95 indica esta similaridade. Também é possível verificar que as oscilações de dosagens aplicadas ao longo do ano não apresentam comportamento possível de ser previsto por modelo de regressão linear.

### 3.2 Development Of Artificial Neural Networks For The Optimization Of Drinking Water Treatment

McArthur (2015) no desenvolvimento de um modelo de predição de dosagens de coagulante em uma ETA de Port Stanley-Ontario, Canadá utilizou a RNA MPR (perceptron multicamadas). Os dados para treinamento da RNA foram dados de dosagens de coagulante, pH e turbidez monitorados na ETA ao longo de um ano. Foi verificado que as oscilações de turbidez e dosagem de coagulante tinham comportamentos característicos para as estações do ano, e que a divisão dos dados em dois períodos iria melhorar o desenvolvimento dos modelos de predição. Desta forma, foi desenvolvido um modelo para o período primavera/verão, e outro para o outono/inverno.

As respostas para dosagens de sulfato de alumínio e reguladores de pH demonstraram transições suaves e consistentes com intervalos de predição estáveis. Foi demonstrado que uma RNA treinada em dados históricos de turbidez da água bruta e tratada pode gerar resultados consistentes em relação aos mecanismos conhecidos, com coeficiente de determinação de 0,92 em relação ao método tradicional. A figura 2 a seguir apresenta os valores de dosagens preditos pela RNA e os valores de dosagem informados no banco de dados (McARTHUR, 2015).

**Figura 2:** Valores de dosagens preditos pela RNA e os valores de dosagem informados no banco de dados



Fonte: (MCARTHUR, 2015).

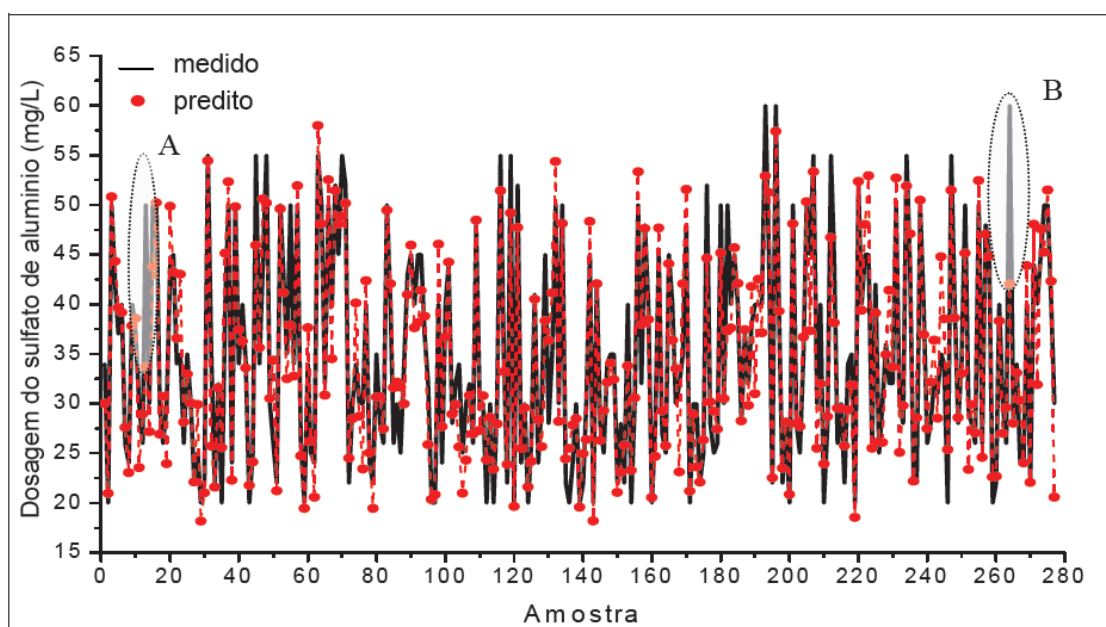
Observa-se que os valores de predição obtidos através da RNA MPR estão bem próximos dos valores reais empregados na ETA. Verifica-se ainda que algumas oscilações que ocorrem nos valores reais são pontuais e não configuram uma tendência de flutuação, não sendo previstas pela RNA. Outra característica importante adotada neste modelo foi a divisão dos dados em dois períodos do ano, e o desenvolvimento de um modelo para cada período, que viabilizou a obtenção de predições mais concisas.

### 3.3 Uso De Redes Neurais Artificiais Na Predição Da Dosagem Do Sulfato De Alumínio E Do Hidróxido De Sódio No Processo De Coagulação

Menezes (2011) apresenta como proposta de trabalho o desenvolvimento de modelos computacionais para predição em tempo real das dosagens do sulfato de alumínio em uma ETA em Salvador-Bahia. Dados de ensaios de coagulação de seis anos foram utilizados no treinamento da

RNA, que também foi MPR. Os parâmetros de entrada foram pH, cor, SS, turbidez e alcalinidade. A avaliação do desempenho do modelo foi estimada através da análise do coeficiente de correlação, além de outros parâmetros. O modelo desenvolvido forneceu resultados de predição com coeficiente de correlação de 0,85 em relação aos valores reais. A figura 3 a seguir apresenta os valores de dosagem de sulfato de alumínio estimados pelo sistema de predição, e as dosagens empregadas pelo sistema de tratamento real.

**Figura 3:** Valores de dosagem de sulfato de alumínio estimados pelo sistema de predição, e as dosagens empregadas pelo sistema de tratamento real para diferentes amostras.



Fonte: (MENEZES, 2011).

Verifica-se que o modelo obteve uma capacidade moderada de predição das dosagens. Na figura 3, as duas regiões (A) e (B) que estão em destaque indicam que o sistema de predição não modelou adequadamente algumas flutuações das dosagens de coagulante.

### 3.4 Comparação entre os estudos selecionados

Dentre os dois modelos RNA abordados, o NARX foi o que permitiu as predições com valores mais próximos dos reais, com coeficiente de correlação de 0,95, enquanto o maior valor para o modelo MPR foi de 0,92. Comparando os valores de MPR obtidos por McArthur (2015) e os obtidos por Menezes (2011), verifica-se uma diferença significativa os coeficientes de correlação,



que foram 0,85 e 0,95 respectivamente. Considerando que Menezes (2011) utilizou um banco de dados com informações relativas a seis anos de coleta, enquanto McArthur (2015) utilizou dados relativos há um ano, as diferentes formas de oscilação nos parâmetros dos dados utilizados por Menezes (2011) podem ter diminuído a capacidade de predição do modelo.

Vale ressaltar que outra diferença entre os dois modelos MPR em discussão foi o número de variáveis de entrada, que foram pH e turbidez para McArthur (2015) e pH, cor, SS, turbidez e alcalinidade para Menezes (2011). O maior número de variáveis adotado por Menezes (2011) também podem ter contribuído para um baixo coeficiente de correlação.

#### 4. CONCLUSÕES

Em linhas gerais, a utilização de RNA na predição de dosagens de coagulantes em estações de tratamento de água revelou que a aplicação destes modelos viabiliza melhorias significativas para as ETA's. O aperfeiçoamento de tais modelos pode possibilitar a substituição parcial de ensaios de *Jar Test*, diminuindo o número de intervenções humanas, promovendo a redução de custos operacionais e viabilizando melhorias na qualidade da água tratada. O estudo comparativo entre os três trabalhos indicou que o aprimoramento dos modelos de predição pode ser obtido através de divisão dos dados por período de coleta, e que o aumento do número de variáveis de entrada pode estar relacionada com a diminuição da qualidade de predição.

#### 5. REFERÊNCIAS

BARUTH E. E. Water treatment plant design, American Water Works Association and American Society of Civil Engineers, 5 ed, **McGRAW-HILL**, 2012.

BARTIKO, D., JULIO, M., Study of flocs breaking and regrowth employing a continuous monitoring of flocculation equipment, **Science & Engineering Journal**, dez. 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. Métodos e técnicas de tratamento de água, Editora Rima, São Carlos, SP, 2 ed, 2005.

GOMES, L. S., SOUZA, S. A. A., PONTES, T. R. A., NETO, F. R., Coagulant dosage determination in a water treatment plant using dynamic neural network models, **International Journal of Computational Intelligence and Applications**, 2015.

MORUZZI, B. R., OLVEIRA, L. A., MARCELO DE JULIO., Equipamento de Monitoramento Contínuo da Flocculação (EMCF): experimentação, correlação e calibração, **Revista DAE**, 2015.

MCARTHUR, R. H., Development of artificial neural networks for the optimization of drinking water treatment, **Dissertação de mestrado**, Department of Civil Engineering University of Toronto.

MENEZES, C. F., Uso de redes neurais artificiais na predição da dosagem do sulfato de alumínio e do hidróxido de sódio no processo de coagulação, PPGEI-ufb, 2011.

METCALF & EDDY. Inc. Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse. 7. ed. New York, McGraw - Hill Book, 316-466. 2016.

PEREIRA, G. L., desenvolvimento de sistema de indicadores de desempenho operacional de estações convencionais de tratamento de água, **Dissertação de mestrado**, PPGEA, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2016.

SINGH. K. M. P., UDAYABHANU, G. GOURICHARAN B & T., Comparative Studies on the Settling Behavior of Indian Noncoking Coal Fines by Standard Jar Test and Instrument, **International Journal of Coal Preparation and Utilization**, Taylor & Francis Group, p 65–74, 2015.