

## **II-202 – MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM REATOR UASB, USANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

**Pedro Nogueira da Silva Neto**<sup>(1)</sup>

Licenciado em Química (IFPB). Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental no PPGCTA/UEPB.

**Dennis Dantas de Sousa**

Químico Industrial (UEPB). Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA/UEPB).

**Hélder de Carvalho da Silva Fernandes**

Engenheiro Químico (UFCG). Mestre em Engenharia Química (UFCG). Doutorando em Engenharia Química na UFCG.

**Fernando Fernandes Vieira**

Engenheiro Químico (UFCG). Mestre em Engenharia Química (UFCG). Doutor em Engenharia Mecânica (UEPB).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Manoel Santos Leal, 36 – São Bento - Bayeux - PB - CEP: 58305-250 - Brasil - Tel: (83) 8839-3242 - e-mail: pedronetog7@hotmail.com

### **RESUMO**

O tratamento biológico de esgotos é um fenômeno natural presente no solo ou na água, mas para que ocorra é necessário que as condições sejam adequadas. Assim, as estações de tratamento de esgotos são sistemas que exploram os métodos utilizados pelos microrganismos do solo e da água, com o intuito de otimizar esses processos e reduzir os custos, buscando a maior eficiência. O reator anaeróbio UASB foi desenvolvido na década de 70 e este tipo de reator foi usado inicialmente, para o tratamento de esgotos industriais, com o desenvolvimento de novas pesquisas ele foi sendo usado para o tratamento de esgotos domésticos. Atualmente, este tipo de reator encontra-se bastante difundido, sendo bem mais aplicado do que os outros e para tratamento de vários tipos de águas residuárias, tendo como aspecto essencial do processo a natureza da biomassa ativa. O objetivo deste trabalho é aplicar uma técnica de modelagem baseada nas relações entrada-saída (estruturas black-box). Este enfoque tem recebido grande interesse da comunidade científica (LJUNG, 1994), sendo realizadas pesquisas de forma multidisciplinar. Dentre os ramos do conhecimento interessados neste tipo de abordagem, podem ser citados neurociência, engenharia (de uma maneira geral), ciência da computação, matemática, filosofia, física e psicologia. No ramo da medicina tem-se demonstrado um ótimo instrumento de auxílio no diagnóstico médico, pela criação de um sistema de banco de dados com o conhecimento dos médicos e possibilitando o diagnóstico inicial em tempo real com maior precisão. No ramo de negócios apresenta cada vez mais adeptos, visto a otimização dos processos de manufatura, o diagnóstico de falhas e a previsão sobre o comportamento de ações no mercado financeiro e análise de perfis de crédito. Na área de engenharia ambiental há uma intensificação nos estudos que se utilizam de RNA para tomada de decisões. Com a função de minimização dos impactos ambientais e agilidade nas decisões é crescente a utilização das redes para soluções que visem o desenvolvimento sustentável. É neste sentido que o presente estudo se apresenta com a modelagem e simulação de um sistema de tratamento de esgoto composto por um reator UASB, usando-se as Redes Neurais Artificiais (RNA).

**PALAVRAS-CHAVE:** Reator UASB, Esgoto Sanitário, Redes Neurais Artificiais.

### **INTRODUÇÃO**

A disposição de esgotos brutos ou com tratamento insuficiente no solo ou em corpos hídricos, como lagos, mares e rios, é uma prática bastante antiga e ainda muito intensa, o que faz os impactos gerados pelo lançamento desses esgotos serem motivo de grande preocupação, não só no Brasil, mas na maioria dos países.

Dentre os municípios brasileiros, 3069 apresentam coleta de esgoto sanitário, sendo que 1587 municípios recebem tratamento. Ou seja, segundo dados do IBGE(2008), 55,10% dos municípios brasileiros têm coleta de esgoto e apenas 28,49% recebem tratamento. Há de ressaltar que, a pesquisa considera o município em que

pelos menos um distrito, ou parte dele, tenha coleta de esgoto e, dentre estes, que tenha tratamento, o que torna esses dados mais otimistas.

Segundo Gonçalves et al. (2003), várias regiões brasileiras apresentam grande deficiência no esgotamento sanitário, sendo o volume de esgoto, bruto ou insuficiente tratado, lançado nos corpos receptores significativamente expressivo no que diz respeito à contaminação por organismos patogênicos. E mesmo em locais com estações de tratamento, os riscos de contaminação das pessoas em contato direto ou indireto com os efluentes são reais, refletindo nos indicadores de saúde.

Segundo Fernandes (2000), o reator anaeróbico *UASB* foi desenvolvido na década de 70 pelo professor Lettinga e sua equipe da Universidade de Wageningen, na Holanda. A tecnologia foi pensada inicialmente, para o tratamento de esgotos industriais, os testes para o tratamento de esgotos domésticos começaram em 1976 e aos poucos, esse estudo foi se desenvolvendo, especialmente, para condições tropicais. Atualmente, este tipo de reator encontra-se bastante difundido, sendo bem mais aplicado do que os outros e para tratamento de vários tipos de águas residuárias, tendo como aspecto essencial do processo a natureza da biomassa ativa.

Utilizado como pré-tratamento, o *UASB* deve prever o gradeamento e a remoção de areia e gordura. Nuvolari (2003) observa que esse tipo de reator possui as mesmas limitações inerentes aos processos anaeróbios, como baixa eficiência e em alguns casos, difícil controle operacional. Entretanto, resulta em áreas bastante reduzidas, tornando atrativo quando comparado com outros sistemas para tratamento de efluente com alta carga orgânica.

Um psicólogo e neurofisiologista chamado McCulloch e um matemático recém-graduado, Pitts, são os cientistas que em 1943 através de seu renomado estudo intitulado “*A logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*”, deram início ao primeiro modelo artificial de um neurônio biológico. Este trabalho formou as bases da neurocomputação, estabelecendo a descrição de um modelo artificial de um neurônio, apresentando suas capacidades computacionais, a partir do desenvolvimento de procedimentos matemáticos similares ao mecanismo de funcionamento do neurônio biológico. No entanto, os cientistas não propuseram aplicações práticas para o seu trabalho, restringindo ao aspecto conceitual, preterindo as técnicas de aprendizado.

O biólogo Donald Hebb deu continuidade aos estudos de Pitt e McCulloch aperfeiçoando seus estudos através da proposição de pesos de entrada nos neurônios, baseada no reforço das ligações sinápticas entre neurônios excitados, criando assim um modelo de aprendizado.

O pesquisador norte americano, Frank Rosenblatt, conseguiu demonstrar em 1957, que se fossem acrescentadas de sinapses ajustáveis as RNAs com neurônios MCP poderiam ser treinadas para classificar certos tipos de padrões. Esse modelo foi denominado Perceptron. Este possui três camadas: a primeira recebe as camadas do exterior, a segunda recebe impulsos da primeira através de conexões cujo peso é ajustável e que por conseguinte saídas para a última camada, a de resposta. Rosenblatt estabeleceu os a base para a Inteligência Artificial, justamente a partir do primeiro modelo de Rede Neural Artificial.

Nos meados da década de 60, Widrow e Hoff desenvolveram uma regra de aprendizado que ainda possui aplicabilidade na atualidade, conhecido por Regra Hidrow-Hoff, ou regra Delta. Bernard Widrow fundou a primeira empresa de circuitos neurais digitais, a Memistor Corporation, responsável por produzir um elemento que realizava o ajuste de pesos de uma RNA.

Um dos pioneiros nos estudos da robótica, Marvin Minsky escreveu um livro de nominado Perceptron, apontando as falhas que o Perceptron simples descrito por Rosenblatt possuía, visto este modelo estar limitado a resolução de problemas linearmente separáveis. Através de uma análise rigorosa foi possível comprovar o baixo poder computacional dos modelos neurais usados na época.

Assim, durante mais de uma década, as pesquisas nesta área do conhecimento ficaram restritas a poucos pesquisadores, sendo esse período conhecido como “era perdida no campo das redes neurais”. No entanto, no início da década de 80, a partir dos estudos do físico John Hopfield, houve uma explosão de interesse pela comunidade acadêmica internacional sobre Redes Neurais. Em seu estudo, Hopfield demonstrou a importância das propriedades associativas das RNAs, relacionando-as com sistemas físicos. Outro fator preponderante para

o “boom” nas pesquisas foi o avanço tecnológico, principalmente na microeletrônica, permitindo a realização física de modelos de neurônios e sua interconexão, algo que antes era impraticável.

Em 1986, um estudioso da psicologia cognitiva, David Humelhart, desenvolveu o algoritmo *back-propagation* e nos anos seguintes as pesquisas concentraram-se na possibilidade de algoritmos com maior possibilidade de convergência. Atualmente a busca concentra-se na procura por algoritmos com maior controle de generalização e integração com outros paradigmas da IA, tornando fascinante e excitante essas possibilidades nos estudos das RNAs.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho baseia sua execução nos dados da pesquisa de doutorado intitulada “Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbico de fluxo ascendente em reator anaeróbico sequencial em batelada e coluna de lodo anaeróbico para desnitrificação” Sousa (1996). A execução efetiva é através do uso da técnica de RNA para modelagem e simulação do sistema de tratamento anteriormente citado através do software computacional MATLAB.

Para obtenção dos dados foi construído e instalado na USP, um sistema de tratamento de esgoto sanitário constituído de 3 partes fundamentais: reator de fluxo ascendente com manta de lodo (*UASB*), dois reatores em batelada (SBRs) em paralelo e uma coluna de desnitrificação de fluxo ascendente.

Foi usado um substrato sintético com composição similar ao esgoto sanitário composto basicamente de extrato de carne, sacarose, amido comercial, celulose em pó e óleo de soja. Apesar da presença de sais minerais no extrato de carne optou-se pela adição ainda uma solução de sais minerais para maior similaridade ao esgoto sanitário. Em virtude do uso de extrato de carne no substrato, ricas em Fósforo e Sulfato, foram monitoradas as concentrações destes parâmetros através de espectrofotômetro de absorção atômica.

Para controle e caracterização do esgoto sanitário sintético foram feitas determinações de parâmetros como Fósforo, Nitrogênio, sólidos, alcalinidade, ácidos e DQO durante 54 semanas e para Sulfato durante 5 semanas. Destarte, o sistema operacional foi dividido em duas fases. Na primeira fase, durante 16 semanas o sistema foi formado por um reator *UASB* seguido de dois reatores sequenciais em batelada aeróbios. A etapa seguinte compreende o período de 38 semanas, quando o sistema composto por *UASB* e SBR atingiu o regime de equilíbrio dinâmico, sendo adicionado ainda uma coluna de desnitrificação.

Inicialmente, com o auxílio de uma bomba peristáltica, o reator *UASB* foi inoculado com três litros de lodo granulado com 58 % de sólidos suspensos voláteis. Inicialmente foi operado com vazão média de 20,4 L / dia, dando suporte a uma carga orgânica volumétrica média de 2,25 Kg.m<sup>-3</sup>. dia<sup>-1</sup> e tempo de detenção hidráulica médio de 4,7 horas. Na segunda fase, houve uma diminuição no TDH, passando este a ser operado com 4 horas, carga orgânica volumétrica de 2,53 Kg.m<sup>-3</sup>. dia<sup>-1</sup> e vazão de entrada de 24 L. dia<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

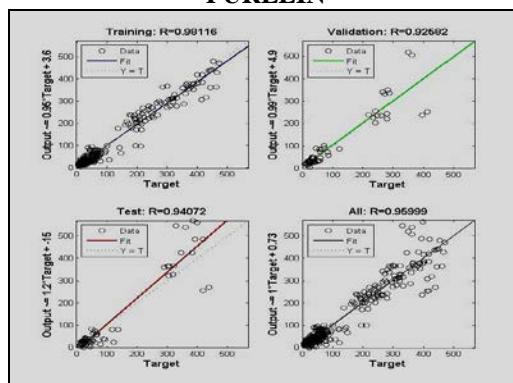
A partir da escolha da configuração da rede, foi possível aplicar os dados selecionados previamente para modelagem do reator *UASB* com o auxílio do software computacional Matlab, inserimos dados de entrada e treinamos a rede com todas as combinações possíveis, resultando 27 simulações diferentes (ver anexo)

No que diz respeito a aplicação de arquitetura de rede com 10 neurônios, a simulação nos ofereceu 9 combinações diferentes de variação nos coeficientes de correlação em suas quatro variedades: treinamento, validação, teste e all. Das combinações, a que apresenta configuração de entrada TANSIG e PURELIN na saída, mostrou-se como uma das que apresentavam maior significância, visto o coeficiente de treinamento estar entre os mais representativos, justificando mais de 98%, conforme Figura 1. O esquema da rede implementada pode ser visualizado na Figura 2, onde apresentam-se 8 variáveis de entrada, correspondentes aos parâmetros de monitoramento na qualidade do esgoto sanitário, 10 neurônios na camada oculta e com 8 camadas de saída.

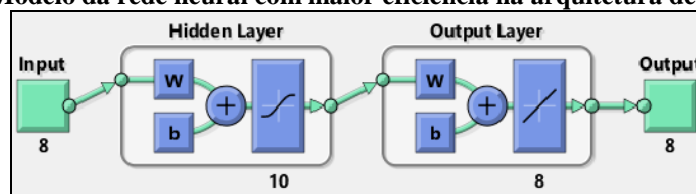
Usando esta arquitetura, três combinações ganharam destaque em sua implementação. Com números de iterações similares, as combinações destacadas na Tabela 1, nos permite inferir um viés favorável na

arquitetura de rede com vinte neurônios. Além desta circunstância, sobressai-se ainda, o uso da função sigmoide na função de entrada, sobretudo quando associada a função TANSIG em sua camada oculta.

**Figura 1 - Diagrama de dispersão para 10 neurônios, função de entrada TANSIG e função de saída PURELIN**



**Figura 2 - Modelo da rede neural com maior eficiência na arquitetura de 10 neurônios**

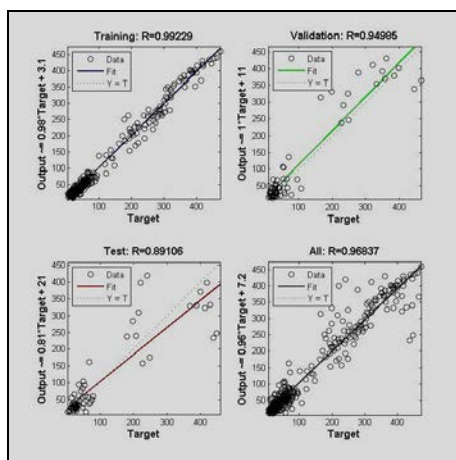


**Tabela 1 - Melhores desempenhos no conjunto de combinações**

Nº NEURONIOS	FUNCAO-1	FUNCAO-2	R - TREIN	R-VALIDAÇÃO	R-TESTE	R-ALL	ITERACOES
30	LOGSIG	PURELIN	0,99908	0,94984	0,7302	0,92952	13
20	LOGSIG	PURELIN	0,99846	0,75465	0,90429	0,94745	11
20	LOGSIG	TANSIG	0,99229	0,94985	0,89106	0,96837	11
20	TANSIG	PURELIN	0,98373	0,89399	0,93106	0,96177	10
10	TANSIG	PURELIN	0,98116	0,92582	0,94072	0,95999	12

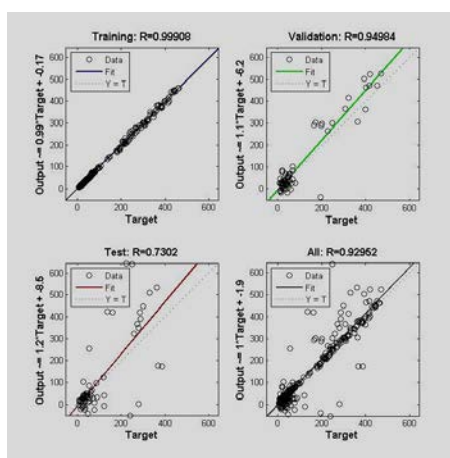
Com este tipo de combinação foi possível alcançar os dados mais satisfatórios, visto o alto fator de correlação de treinamento, maior que 99,2% e total, aproximadamente 96,8%. (Figura 2). No processo de treinamento da rede com a configuração de 30 neurônios, o melhor índice do coeficiente de treinamento foi encontrado. Trata-se da combinação da função sigmoide com a função linear (Figura 3). Com esta simulação encontramos o coeficiente de treinamento de 0,99908, valor extremamente considerável.

Figura 2 - Diagrama de dispersão para 20 neurônios, função de entrada LOGSIG e função de saída TANSIG



No entanto, não foi considerada a combinação mais eficaz em virtude do valor do coeficiente de teste ter sido um dos menores em escala geral, levando assim a diminuição do valor de  $R_{all}$ , 0,92952 (Figura 3). Destaca-se também o valor de iterações serem maior do que as combinações que tiveram valores similares no coeficiente de treinamento.

Figura 3 - Diagrama de dispersão para 30 neurônios, função de entrada LOGSIG e função de



## CONCLUSÕES

Na realização desta pesquisa, foi possível constatar que a técnicas das Redes Neurais Artificiais (RNA) pode ser empregada com sucesso na modelagem de reatores biológicos, tendo em vista que a construção de modelos fenomenológicos para esta situação é extremamente complexa. Assim o desenvolvimento de modelos empíricos uma maior probabilidade do sucesso no uso da função Sigmoides como a função de entrada na arquitetura da rede. No entanto, o trabalho requer mais experimentação para a obtenção da arquitetura ideal levando em consideração o menor número de iterações e o maior coeficiente de treinamento.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, A. F. de. *Inteligência Computacional na Indústria - Etapa 5: Implementação de um Modelo Matemático para um Conversor de Aço tipo LD*. Belo Horizonte, Junho 2008
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), *Lixiviação de Resíduos - Procedimento - NBR 10.005*. Rio de Janeiro, 1987b.
3. BORÉM, A.; Miranda, G. V. *Melhoramento de Plantas*. Viçosa: UFV, 2005. 525 p.
4. BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. C. P. de Leon Ferreira de; LUDERMIR, T. B. *Redes neurais artificiais: teoria e aplicações*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
5. BRAGA; Benedito et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo. Pratiche Hall, 2002.
6. BRASIL. *Fundação Nacional de Saúde. Diretrizes de educação em saúde visando à promoção da saúde: documento base - documento I/Fundação Nacional de Saúde - Brasília: Funasa, 2007*
7. CARVALHO, A (Org.). *Novas metodologias da educação*. Porto: Porto Editora, 1995.
8. CAMPOS, J.R.; *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, 464 p. 1999
9. FERNANDES, C. - *"Esgotos Sanitários"*, Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, Paraíba, 2000
10. GONÇALVES, R. F. (Coord.) *Desinfecção de efluentes sanitários*. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. 438 p.
11. HAYKIN, S., *"Redes neurais: princípios e prática"*, 2º Ed., Porto Alegre: BOOKMAN, 2001.
12. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico* – 2008. Rio de Janeiro, p.119, 2010
13. LJUNG, L. *System Identification in a MIC perspective. Modeling, Identification and Control*, v.15, n.3, p. 153-159. 1994
14. MACHADO, Rosângela Moreira Gurgel. M149e *Estudo da associação em série de reator UASB e filtros anaeróbicos para o tratamento de esgotos sanitários*, 1997.
15. MEDEIROS, M. S. *Modelagem e simulação de um tratamento de efluentes orgânicos através de redes neurais*. Programa de pós graduação em engenharia de Produção. UFSM-RS. 2006.
16. MOTA, Francisco Suetonio Bastos, Von Sperling, Marcos (Coord) *Nutrientes de esgoto sanitario: utilizacao e remocao*. Rio de Janeiro. ABES. 2009
17. NUVOLARI, A. (Coord.). et al. *Esgoto Sanitário – Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola*. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
18. REZENDE, Mara Regina Kossoski Felix. *A Neurociência e o ensino-aprendizagem em ciências: um diálogo necessário*. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia pela Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, 2008.
19. SPERLING, Marcos Von. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, vol 1, 2005 a. 243 p.
20. SPERLING, Marcos Von. *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. 2. ed. Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996. v. 1, 211 p
21. RELVAS, Marta Pires. *Fundamentos biológicos da educação: despertando inteligências e afetividade no processo de aprendizagem*. Rio de Janeiro: Wak, 2008
22. SANTOS, C. C.; *Modelagem de bacias urbanas usando redes neurais artificiais*, São Paulo, 2001.