

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO DA OPERACIONALIDADE DE UMA E.T.E. COM
REATOR UASB UTILIZANDO REDE NEURAL NO PROCESSO DE
GESTÃO AMBIENTAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MELISSA SALLES MEDEIROS

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**AVALIAÇÃO DA OPERACIONALIDADE DE UMA E.T.E. COM
REATOR UASB UTILIZANDO REDE NEURAL NO PROCESSO DE
GESTÃO AMBIENTAL**

por

Melissa Salles Medeiros

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Qualidade e Produtividade, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de.

Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Djalma Dias da Silveira, Dr..

Santa Maria, RS, Brasil

2006

© 2006

Todos os direitos autorais reservados a Melissa Salles Medeiros. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Oscar Ferreira, 590, Parque Sarandi, Santa maria, RS, 97.095-490

Fone (0xx) 55 3307 8078; End. Eletr. melsalles@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA OPERACIONALIDADE DE UMA E.T.E. COM REATOR UASB
UTILIZANDO REDE NEURAL NO PROCESSO DE GESTÃO AMBIENTAL**

elaborada por

Melissa Salles Medeiros

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Djalma Dias da Silveira, Dr..
(Presidente/Orientador)

Prof. Felipe Martins Müller, Dr. (UFSM).

Prof. Sergio Luiz Jahn, Dr. (UFSM).

Santa Maria, 12 de abril de 2006

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade.

A Gabi Salles Medeiros, minha mãe querida, que desde o início da minha vida apóia todos os meus sonhos e vibra com cada conquista, sem ela nada disto seria possível.

Ao Raphael e a Gabriela Salles de Lacerda, meus filhos amados, pelo carinho e amor que sempre me deram força para não desistir.

Ao Carlos Roberto Garcez Castro Novo, meu esposo, pelo carinho, conforto, companheirismo, dedicação, compreensão e sobre tudo pelo amor.

Ao Marcio Felipe Salles Medeiros, meu irmão, pelo apoio, carinho e incentivo.

Ao Antonio Taylor Salles Medeiros, meu saudoso pai, que onde estiver sei que neste momento está muito orgulhoso de mais esta conquista.

Ao amigo e orientador Djalma Dias da Silveira pelos conhecimentos transmitidos ao longo da execução deste trabalho, e dedicação com que me ajudou a resolver os problemas.

“O degrau de uma escada não serve simplesmente para que alguém permaneça em cima dele, destina-se a sustentar o pé de um homem pelo tempo suficiente para que ele coloque o outro um pouco mais alto”

(Thomas Huxley)

RESUMO

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

AVALIAÇÃO DA OPERACIONALIDADE DE UMA E.T.E. COM REATOR UASB UTILIZANDO REDE NEURAL NO PROCESSO DE GESTÃO AMBIENTAL

Autora: Melissa Salles Medeiros
Orientador: Djalma Dias da Silveira

Com o crescente comprometimento de empresas e pessoas com a questão ambiental, este assunto tornou-se porta de entrada para muitas transações comerciais, o que torna a implantação de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) uma importante vantagem competitiva. Este trabalho objetiva avaliar e estabelecer parâmetros de controle ao reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) do Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais de um Frigorífico de Suínos, através de Redes Neurais Artificiais (RNA), adequando o mesmo às especificações de um SGA. Dados de monitoramento da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), tais como DQO (Demanda Química de Oxigênio), SS (Sólidos Sedimentáveis) e Temperatura do reator UASB foram utilizados para o treinamento da RNA e posterior simulação para avaliar o comportamento do sistema UASB. Pode-se constatar uma grande flutuação nos parâmetros de entrada e saída de efluentes ocasionados pela flutuação no número de animais abatidos diariamente, causando em alguns dias sobrecarga no sistema e em outros falta de carga. A RNA estudada demonstrou boa capacidade de prever e absorver flutuações tanto reais como simuladas. Pode-se concluir que a RNA mostrou ser uma poderosa ferramenta para avaliar os processos previstos em um SGA, visto que dados que são obtidos no monitoramento da mesma podem ser constantemente usados em etapas do treinamento e re-treinamento da RNA, resultando em melhores previsibilidades para evitar possíveis situações de desconformidade ou danos ambientais.

ABSTRACT

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

EVALUATION OF OPERATIONALIZATION OF ONE W.T.U. WITH REACTOR UASB USING NEURAL NETWORK IN THE PROCESS OF ENVIRONMENT MANAGEMENT

Author: Melissa Salles Medeiros
Adviser: Djalma Dias da Silveira

With the increasing commitment of companies and people with the environment question, this subject becomes door of entrance for many commercial transactions, what it becomes the implantation Environmental Management Standards (EMS) a something almost with priority. This work aims evaluate and establishes parameters of control to reactor U.A.S.B. (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) of the industrials Wastewater Treatment Unit (W.T.U.) of one Pig's Slaughterhouse, through of Artificial Neural Networks (ANN), adjusting the same to the specifications of an EMS, Control data of the W.T.U., such as COD (Chemical Oxygen Demand), SS (Settling Solids) and Temperature of reactor UASB have been used for the training of the ANN and posterior simulation to evaluate the behavior of system UASB. It can be evidenced a great fluctuation in the parameters of entrance and exit of effluent caused by the daily fluctuation in the number of abated animals, causing in some days overload in the system and other load lack. It can be concluded that the ANN showed be a powerful tool to evaluate the processes foreseen in a EMS, since data that are gotten in the control of the same can constantly be used in stages of the training and retrain of the ANN, resulting in better foresees to prevent possible situations of disconformities or ambient damages.

LISTA DE ABREVIATURAS

°C – Graus Celsius

ϕ_c – Coeficiente de Detenção Hidráulica

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Efluente

K - Potássio

L – Litro

m³ – metro cúbico

mg – miligrama

N – Nitrogênio

P – Fósforo

RNA – Rede Neural Artificial

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

SS – Sólidos Sedimentáveis

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket - Reator Anaeróbico de Manto de Lodo

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Características físico-químicas de um efluente frigorífico.....	11
Tabela 2.2: Aspectos Comparativos dos Principais Tipos de Reatores Anaeróbicos	22
Tabela 2.3: Comparação entre vários tipos de reatores.....	22
Tabela 2.4: Algumas reações Acetogênicas	26
Tabela 2.5: Algumas reações Metagênicas.....	27
Tabela 4.1 – Parâmetros do BrainMaker	67
Tabela 4.2 – Resultados Obtido durante o Estudo de Caso.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Etapas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.	24
Figura 2.2 – Esquema do reator UASB.....	29
Figura 2.3 - Esquema dos constituintes da célula neural.....	36
Figura 2.4 - Modelo de Rede Neural.....	53
Figura 4.1 – Modelo da ETE do Frigorífico.....	58
Figura 4.2 – Montagem da Planilha de Treinamento no Excel.....	65
Figura 4.3 – Criação do Arquivo de Treinamento da RNA no NetMaker.....	66
Figura 4.4 – Treinamento da RNA no BrainMaker.....	68
Figura 4.5 – Montagem do 1º Teste no Microsoft Excel.....	70
Figura 4.6 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	70
Figura 4.7 – RNA após rolagem dos dados do Teste 1.....	71
Figura 4.8 – Montagem do 2º Teste no Microsoft Excel.....	72
Figura 4.9 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	72
Figura 4.10 – RNA após rolagem dos dados do Teste 2.....	73
Figura 4.11 – Montagem do 3º Teste no Microsoft Excel.....	74
Figura 4.12 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	74
Figura 4.13 – RNA após rolagem dos dados do Teste 3.....	75
Figura 4.14 – Montagem do 4º Teste no Microsoft Excel.....	76
Figura 4.15 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	76
Figura 4.16 – RNA após rolagem dos dados do Teste 4.....	77
Figura 4.17 – Montagem do 5º Teste no Microsoft Excel.....	78
Figura 4.18 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	78
Figura 4.19 – RNA após rolagem dos dados do Teste 5.....	79
Figura 4.20 – Montagem do 6º Teste no Microsoft Excel.....	80
Figura 4.21 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	80
Figura 4.22 – RNA após rolagem dos dados do Teste 6.....	81
Figura 4.23 – Montagem do 7º Teste no Microsoft Excel.....	82
Figura 4.24 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	82
Figura 4.25 – RNA após rolagem dos dados do Teste 7.....	83
Figura 4.26 – Montagem do 8º Teste no Microsoft Excel.....	84
Figura 4.27 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker.....	84

Figura 4.28 – RNA após rolagem dos dados do Teste 8	85
Figura 4.29 – Montagem do 9º Teste no Microsoft Excel.....	86
Figura 4.30 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker	86
Figura 4.31 – RNA após rolagem dos dados do Teste 9	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Dados de Monitoramento do Sistema UASB.....	60
Quadro 4.2 – Dados utilizados para análise do Sistema UASB através de Treinamento da RNA	61
Quadro 4.3 – Dados referentes aos parâmetros de emissão pré-estabelecidos pela FEPAM-RS na Licença de Operação da empresa.....	62
Quadro 4.4 – Parâmetros de Controle estabelecidos para o Sistema UASB	63
Quadro 4.5 – Classificação do Sistema UASB após análise dos Parâmetros pelo Projeto do Reator e Legislação.	64
Quadro 4.6 – Dados de trabalho utilizados para rolagem da RNA previamente treinada. .	69

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE QUADROS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	4
1.1.1 Objetivos Específicos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 A ISO 14000.....	7
2.2 Efluentes de Frigoríficos	10
2.2.1 Tratamento preliminar e primário (tratamento físico-químico)	11
2.2.2 Tratamento Secundário	13
2.2.3 Tratamento Terciário	16
2.3 Processo anaeróbio	16
2.3.1 Tipos de reatores anaeróbios	18
2.3.2 A microbiologia e a bioquímica do processo anaeróbio	21
2.3.3 O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo - reator UASB27	
2.4 Redes Neurais Artificiais	35
2.4.1 Inteligência artificial	35
2.4.2 Redes neurais	35
2.4.3 Redes Neurais Artificiais	37
2.4.4 Aplicações de Redes Neurais	38
2.4.5 Um Relato Histórico.....	39
2.4.6 Estrutura Básica e Operação das Redes Neurais	41
2.4.7 Conexões e Neurônios	42
2.4.8 Número de Neurônios de Entrada	44
2.4.9 Número de Camadas Intermediárias.....	46
2.4.10 Número de Neurônios na Camada Intermediária	47
2.4.11 Treinamento	48
2.4.12 O BrainMaker	52
2.4.13 A Função Sigmoide	54
3 METODOLOGIA	55
3.1 Procedimentos Utilizados.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
4.1 Organização dos Dados.....	59
4.2 Treinamento da Rede Neural para Avaliação do Sistema.....	6464
4.3 Avaliação do Sistema UASB através da RNA Treinada	68
4.3.1 Teste 1 – DQO Máxima e SS com valor médio	70
4.3.2 Teste 2 – DQO Mínima e SS com valor médio.....	72

4.3.3	Teste 3 – DQO Mínima e SS com valor máximo	74
4.3.4	Teste 4 – DQO Máxima e SS com valor mínimo	76
4.3.5	Teste 5 – DQO Máxima e SS com valor máximo	78
4.3.6	Teste 6 – DQO Média e SS com valor mínimo.....	80
4.3.7	Teste 7 – DQO Média e SS com valor médio.....	82
4.3.8	Teste 8 – DQO Média e SS com valor máximo.....	84
4.3.9	Teste 9 – DQO Média e SS com valor máximo.....	86
4.4.	Análise dos resultados e discussões	88
5	CONCLUSÕES	90
5.1	Considerações e Sugestões.....	90
6	BIBLIOGRAFIA	91
	GLOSSÁRIO	94

1 INTRODUÇÃO

Devido à ampliação de relações comerciais a nível mundial e também pelas barreiras não tarifárias; restrições impostas pelos importadores de outros países a produtos brasileiros, aliado ao aumento de demanda por produtos “verdes” têm crescido o interesse nas iniciativas relacionadas ao meio ambiente. No setor de agronegócios, especificamente no frigorífico, existe forte concorrência entre empresas tanto nacionais quanto internacionais, as quais utilizam variadas técnicas para aumentar suas vantagens competitivas. Neste sentido, a grande expansão das atividades ambientais, principalmente em empresas pró-ativas, *faz com que ocorra busca pela integração dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) com os Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ).*

Um SGA é definido na Norma ABNT/ISO 14001 como *“a parte do sistema global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidade, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental”.*

A elaboração da Série ISO 14000 surgiu da necessidade de normalizar os sistemas de gestão ambiental de uma forma que tivesse alcance internacional. Uma das interpretações entende que esta normalização visa equacionar problemas econômicos, tais como, manutenção de mercados, vantagens competitivas, e a soma de ganhos de mercado, através da diferenciação de produtos menos prejudiciais ao meio ambiente, resultantes de processos mais limpos, embutidos nos produtos a conservação da matéria-prima e energia, a geração de menores quantidades de resíduos e efluentes, entre outros (CAVALCANTI, 1996).

Apesar de serem normas voluntárias as empresas estão sendo colocadas numa posição em que, ou elas se adaptam e desenvolvem um eficiente SGA, ou podem perder espaços no mercado por não se adaptarem às exigências.

O lançamento de efluentes líquidos em curso d'água pode resultar em variações de sua característica, como pH, temperatura, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Sedimentáveis (SS), entre outros. Os seres que dependem direta ou indiretamente deste curso d'água sofrerão as conseqüências destas variações.

Um efluente considerado ambientalmente incorreto (geralmente em desconformidade com a legislação ambiental) deverá ser alterado, isto é, tratado. É

necessária então, a implantação de um sistema de tratamento adequado às características desse efluente. Os efluentes com características predominantemente inorgânicas são tratados preferencialmente por processos físico-químicos. Os orgânicos podem receber tratamento por processo físico-químico ou biológico. Os processos biológicos são adequados quando o efluente orgânico apresenta características biodegradáveis.

Os processos biológicos, que ocorrem na presença de oxigênio livre, denominados aeróbios são os mais utilizados e conhecidos. A implantação de sistemas com processos aeróbios oferece, portanto, poucos riscos de investimento; porém, equipamentos necessários como aeradores demandam energia e o lodo, gerado como subproduto, ainda é passível de decomposição por ação biológica.

Outros processos de decomposição biológica ocorrem na ausência de oxigênio livre e denominam-se processos anaeróbicos.

Até bem pouco tempo, o processo de digestão anaeróbia era exclusivamente usado na estabilização de lodo produzido nos diferentes estágios de uma estação de tratamento convencional (normalmente usado para tratamento de esgotos urbanos). Os avanços recentes no conhecimento do processo, principalmente nas últimas duas décadas, como a compreensão da microbiologia, bioquímica, cinética da degradação da matéria orgânica e influência das condições ambientais, possibilitam o desenvolvimento de uma nova biotecnologia anaeróbia de alta taxa.

Através do uso de reatores não convencionais, o processo anaeróbio passou a ser aplicado ao tratamento de substratos diluídos.

Com base em estudos realizados em diversas entidades nacionais e internacionais, vem sendo realizada uma investigação experimental para o tratamento de despejos líquidos provenientes de Indústrias Cárneas, utilizando-se do Reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

Porém pouco ainda se sabe sobre o seu comportamento interno, normalmente, tomam-se dados de entrada e saída do sistema, mas sem conseguir prever com antecipação o que acontecerá com o efluente após a entrada no reator, o que leva a um problema de ordem gerencial o qual impede que o sistema integre adequadamente um SGA.

Ao longo dos anos vários modelos, de cunho estatístico, relativos a parâmetros de qualidade e condições de processamento foram propostos. Estes modelos, freqüentemente, envolvem valores que resultam em grupos complexos,

com a utilização de equações matemáticas que, normalmente, exigem determinado grau de conhecimento para sua interpretação. Um sistema que possa aprender em sucessivas triagens de experimentos seria o ideal, uma vez que a constante incorporação de novos valores habilita a adaptação a trocas imprevistas de dados, aumentando a capacidade de generalização do modelo.

Redes Neurais Artificiais (RNA) são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático baseado no conceito da estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. A RNA consiste em uma técnica de processamento computacional muito útil quando não se dispõe de informações matemáticas exatas, além de ser capaz de resolver previsões de problemas lineares e não lineares. A rede é composta de camadas simuladas de elementos de processamento, os quais são denominados de neurônios artificiais. Os neurônios artificiais recebem os sinais e os passam às camadas intermediárias do programa, por meio de conexões matemáticas. Cada neurônio processa uma parte das informações, o que ocorre em paralelo, e automaticamente as distribui através das diferentes unidades que compõem a rede. As unidades de processamento transferem as somas ponderadas de informações por uma função de ativação, usualmente uma função sigmoide, que contém um grande número de sinais informativos, os quais são convertidos para valores definidos durante a operação de treinamento e teste.

Com base em bancos de dados em redes neurais específicas é possível prever novos valores, utilizando-se de um mínimo de dados experimentais, o que pode agilizar na determinação de parâmetros desconhecidos. Este procedimento computacional vem sendo utilizado em vários segmentos, para as mais variadas determinações.

Neste caso, em específico, os dados obtidos são provenientes de análises laboratoriais, as quais além de ter um custo considerável, necessitam de um certo tempo para se obter o resultado. Assim, tendo-se uma previsão da entrada do sistema através do cálculo da carga de entrada, o qual pode ser estimado através do número de suínos abatidos ou pela produção prevista, utilizando-se modelos em redes neurais pode-se prever se o sistema suportará ou não, antecipando-se assim algumas medidas mitigatórias já previstas anteriormente para o caso de falhas do sistema.

1.1 Objetivo

Avaliar e estabelecer parâmetros de controle ao reator UASB do Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais de um Frigorífico de Suínos, através de Redes Neurais Artificiais (RNA), adequando o mesmo às especificações de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

1.1.1 Objetivos Específicos

- Análise de dados quantitativos a respeito do funcionamento de um reator tipo UASB frente a RNA;
- Formatação dos dados para montagem de uma RNA, treinamento e análise de resultados da mesma com a utilização de software específico (*Brainmaker*);
- Simular flutuações na RNA obtida para avaliar a sua aderência às necessidades do SGA.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os fundamentos, ou seja, a base de razões que levam as empresas a adotar e praticar a gestão ambiental são vários. Podem perpassar desde procedimentos obrigatórios de atendimento da legislação ambiental até a fixação de políticas ambientais que visem a conscientização de todo o pessoal da organização.

A busca de procedimentos gerenciais ambientalmente corretos, incluindo-se aí a adoção de um Sistema Ambiental (SGA), na verdade, encontra inúmeras razões que justificam a sua adoção. Os fundamentos predominantes podem variar de uma organização para outra. No entanto, eles podem ser resumidos nos seguintes fundamentos básicos (TIBOR, 1996):

- Os recursos naturais (matérias-primas) são limitados e estão sendo fortemente afetados pelos processos de utilização, exaustão e degradação decorrentes de atividades públicas ou privadas, portanto estão cada vez mais escassos, relativamente mais caros ou se encontram legalmente mais protegidos;
- Os bens naturais (água, ar) já não são mais bens livres/grátis. Por exemplo, a água possui valor econômico, ou seja, paga-se, e cada vez se pagará mais por esse recurso natural. Determinadas indústrias, principalmente com tecnologias avançadas, necessitam de áreas com relativa pureza atmosférica. Ao mesmo tempo, uma residência num bairro com ar puro custa bem mais do que uma casa em região poluída;
- O crescimento da população humana, principalmente em grandes regiões metropolitanas e nos países menos desenvolvidos, exerce forte consequência sobre o meio ambiente em geral e os recursos naturais em particular;
- A legislação ambiental exige cada vez mais respeito e cuidado com o meio ambiente, exigência essa que conduz coercitivamente a uma maior preocupação ambiental;
- Pressões públicas de cunho local, nacional e mesmo internacional exigem cada vez mais responsabilidades ambientais das empresas;
- Bancos, financiadores e seguradoras dão privilégios a empresas ambientalmente sadias ou exigem taxas financeiras e valores de apólices mais elevadas de firmas poluidoras;

- A sociedade em geral e a vizinhança em particular está cada vez mais exigente e crítica no que diz respeito a danos ambientais e à poluição provenientes de empresas e atividades. Organizações não-governamentais estão sempre mais vigilantes, exigindo o cumprimento da legislação ambiental, a minimização de impactos, a reparação de danos ambientais ou impedem a implantação de novos empreendimentos ou atividades;
- Compradores de produtos intermediários estão exigindo cada vez mais produtos que sejam produzidos em condições ambientais favoráveis;
- A imagem de empresas ambientalmente saudáveis é mais bem aceita por acionistas, consumidores, fornecedores e autoridades públicas;
- Acionistas conscientes da responsabilidade ambiental preferem investir em empresas lucrativas sim, mas ambientalmente responsáveis;
- A gestão ambiental empresarial está na ordem do dia, principalmente nos países ditos industrializados e também já nos países considerados em vias de desenvolvimento;
- A demanda por produtos cultivados ou fabricados de forma ambientalmente compatível cresce mundialmente, em especial nos países industrializados. Os consumidores tendem a dispensar produtos e serviços que agredem o meio ambiente.

Cada vez mais compradores, principalmente importadores, estão exigindo a certificação ambiental, nos moldes da ISO 14.001, ou mesmo certificados ambientais específicos como, por exemplo, para produtos têxteis, madeiras, cereais, frutas, etc. Tais exigências são voltadas para a concessão do “Selo Verde”, mediante a rotulagem ambiental. Acordos internacionais, tratados de comércio e mesmo tarifas alfandegárias incluem questões ambientais na pauta de negociações culminando com exigências não tarifárias que em geral afetam produtores de países exportadores. Esse conjunto de fundamentos não é conclusivo, pois os quesitos apontados continuam em discussão e tendem a se ampliar. Essa é uma tendência indiscutível, até pelo fato de que apenas as normas ambientais da família ISO 14.000 que tratam do Sistema de Gestão Ambiental e de Auditoria Ambiental encontram-se em vigor.

2.1 A ISO 14000

Segundo TIBOR (1996) como é crescente a preocupação ambiental no mundo, no futuro, os investimentos tanto privados como governamentais poderão dar preferência a empresas com um bom desempenho ambiental. Além disso, as empresas poderão conseguir melhores contratos de seguros uma vez que as companhias de seguros "estarão mais dispostos a cobrir incidentes de poluição se as empresas que apresentem propostas desta natureza possuírem um sistema de gerenciamento ambiental implementado".

Um Sistema de Gestão Ambiental - SGA (*Environmental Management System* - EMS) é definido como o conjunto de procedimentos que irão ajudar a organização a entender, controlar e diminuir os impactos ambientais de suas atividades, produtos e/ou serviços. Está baseado no cumprimento da legislação ambiental vigente e na melhoria contínua do desempenho ambiental da empresa, isto é, não basta estar dentro da lei, mas deve haver, também, uma clara decisão de melhorar cada vez mais o seu desempenho com relação ao ambiente natural.

Segundo TIBOR (1996), "... seus elementos incluem a criação de uma política ambiental, o estabelecimento de objetivos e alvos, a implementação de um programa para alcançar esses objetivos, o monitoramento e a medição de sua eficácia, a correção de problemas e a análise e revisão do sistema para aperfeiçoá-lo e melhorar o desempenho ambiental geral."

Um SGA eficaz pode possibilitar às organizações uma melhor condição de gerenciamento de seus aspectos e impactos ambientais, além de interagir na mudança de atitudes e de cultura da empresa. Pode, também, alavancar os resultados financeiros da mesma, uma vez que atua na melhoria contínua de processos e serviços.

Como o "desempenho ambiental de uma organização vem tendo importância cada vez maior para as partes interessadas internas e externas", clientes estrangeiros poderão exigir a certificação da ISO 14000 para realização de negócios. Por outro lado, a própria população local pode passar a dar mais valor a produtos que obedeçam a esta norma, pela preferência por produtos "ecologicamente corretos". Desta forma, mesmo que a ISO 14000 permaneça como uma norma de adoção voluntária, poderá vir a se tornar exigência do próprio mercado, como é o caso dos Estados Unidos, que detém uma grande fatia do

comércio mundial e já adotou a ISO 14000 como referência. Além disso, os países e regiões em que empresas já estão em consonância com alguma norma de gestão ambiental, como a EMAS e a BS 7750, podem vir a aderir à norma internacional. E isto acontecendo, a exigência do mercado pela ISO 14000 será ainda maior.

A série ISO 14000, pelo menos em sua concepção, pretende ser uma norma de adoção voluntária. Porém, se vier a ser adotada pela maioria dos países industrializados pode vir a se tornar uma exigência.

As normas da série ISO 14000 apresentam-se da seguinte forma: a ISO 14010, a ISO 14011 e a ISO 14012 (substituídas pela ISO 19011) tratam da auditoria ambiental; a ISO 14001 trata dos requisitos que podem ser objetivamente auditados para fins de certificação/registo ou de autodeclaração e a ISO 14004 fornece exemplos, descrições e opções que auxiliam tanto a implementar o SGA, quanto a fortalecer sua relação com a gestão global da organização.

Em outras palavras, a norma ISO 14001 apresenta as condições que uma empresa deve cumprir para se autodeclarar cumpridora da ISO 14000 ou para conseguir um certificado de conformidade com a ISO 14001; a ISO 14004 apresenta orientações, exemplos e diretrizes de como cumprir os expressos na ISO 14001 e as outras três normas da série ISO 14000 (atualmente condensadas pela ISO 19011) fornecem os princípios, os procedimentos e os critérios para auditoria ambiental.

Uma importante característica da ISO 14000 é a de que, ao mesmo tempo em que mantém compatibilidade com a ISO 9000, facilitando a implementação em empresas estão em consonância com esta última série, possibilita a sua adoção por empresas que não tenham adotado a ISO 9000, Com isto, a ISO 14000 procurou abranger todo o universo de empresas, como seria de se esperar de uma norma internacional.

São várias as razões que poderiam levar uma empresa a optar pela ISO 14000, dentre elas destacam-se:

- A proliferação de diferentes normas voluntárias de gestão ambiental, internas às próprias empresas, nacionais (como a BS 7750 do Reino Unido) ou regionais (como a EMAS -*Eco-Managements and Audit Systems* da União Européia);
- A exigência de clientes estrangeiros e do próprio país;
- O maior acesso a investimentos e os benefícios em termos de eficiência das empresas.

Para os governos também seria interessante que as empresas de seu território optassem pela ISO 14000, pela maior facilidade que esses governos teriam de fiscalizar a obediência à legislação ambiental. A existência de diferentes normas de gestão ambiental, de diferentes graus de rigidez, espalhadas pelo mundo pode acabar por dificultar o comércio internacional de produtos e serviços. Se para cada país para o qual um determinado país for exportar a norma ambiental em vigor for diferente, para cada exportação deveria ser realizado um tipo de auditoria ambiental, inviabilizando o processo. A aceitação de uma única norma internacional ambiental viria a "reduzir o número de auditorias ambientais conduzidas por clientes, órgãos reguladores ou outorgantes de certificado" e a "nivelar o campo internacional de negócios".

SAYRE (1996) afirma, a este respeito, que "em um futuro breve, obediência à ISO 14000 vai ser exigida por clientes e, até mesmo agora, tal obediência fornece uma vantagem comparativa. Um comprometimento com a ISO 14000 é um indicador definitivo de que uma organização está dedicada aos princípios e elementos do padrão, atento ao desenvolvimento sustentável e à performance ambiental. Em outras palavras, a organização está garantindo que suas atividades, produtos e serviços sejam bons para a humanidade e para o mundo".

Os governos podem vir a mostrar interesse especial em que empresas e seu país optem pela ISO 14000, dando incentivo à sua adoção. O motivo pelo qual isto aconteceria seria a facilidade de avaliar a conformidade das empresas com a legislação ambiental vigente e, no caso de países que não possuem nenhuma regulamentação, seria um método alternativo para alcançar metas ambientais.

Segundo TIBOR (1996) o importante é que a adoção de um sistema de gestão ambiental pode melhorar a eficiência das empresas como um todo, conduzindo a uma "redução do desperdício e dos resíduos, à prevenção da poluição, à substituição de elementos químicos e outros materiais por elementos menos tóxicos, a um menor consumo de energia, a economias de custo através de reciclagem e outros programas relacionados".

Nos mais diversos setores o uso da água é indispensável e nas indústrias cárneas isto não é diferente, segundo VON SPERLING (1996 – Vol.1) o consumo para cada rês abatida em um frigorífico é de $0,4 \text{ m}^3$, ou seja, para um abate diário de 1.000 reses, o que constitui uma indústria cárnea de grande porte, consome-se 400 m^3 de água somente no processo de abate, sem contar os outros setores, sendo a

qualidade da mesma de suma importância para o bom andamento do processo produtivo e da qualidade do produto final.

Com um bom processo de tratamento de efluentes industriais pode-se efetuar o reciclo desta água com qualidade ainda superior à inicialmente encontrada na natureza, reduzindo custos e beneficiando o meio ambiente.

2.2 Efluentes de Frigoríficos

A indústria do processamento de carnes gera uma grande quantidade de efluentes, o que requer um tratamento apropriado, visto que, é necessário que sua liberação no ambiente seja adequada.

A natureza física destes efluentes tem sido estudada por SAYED *et al.* (1987) *apud* JONHS (1995), mostrando que após o peneiramento, 40-50% da DQO do efluente se apresenta como material grosseiro, material suspenso insolúvel, somente biodegradável muito lentamente, e a DQO remanescente apresenta-se como material coloidal e solúvel.

Grande parte desta contaminação é causada pelo sangue, onde até com o manuseio adequado há perdas em torno de 2 litros por cabeça de bovino e 0,5 litros por suíno, e pelos mucos estomacais e intestinais (IMHOFF, 1996).

Cargas como sólidos e substâncias orgânicas dissolvidas são caracterizadas por gorduras e proteínas, além de seus produtos de degradação, tais como, ácidos orgânicos voláteis, aminas e outros compostos orgânicos nitrogenados. Carboidratos também estão presentes no efluente na forma de colóides e compostos dissolvidos.

O efluente mostra uma tendência à contaminação microbiológica, sendo um bom meio de cultura para diversos tipos de microrganismos.

Com relação ao tratamento aeróbio/anaeróbio, uma atenção particular deve ser tomada quanto à presença de desinfetantes e agentes de limpeza presentes no efluente, pois estes agentes são inibidores do crescimento de microrganismos (IMHOFF, 1996).

A indústria de carnes envolvendo o abate de animais possui duas correntes de água, uma que pode ser aproveitada, chamada de “linha vermelha”, que carrega resíduos do abate, tais como sangue, vísceras, pêlos, pedaços de carnes e óleos, onde a recuperação desses materiais geralmente envolve subprodutos que servem na maioria das vezes como ração animal, porém, com acidez controlada e baixa contaminação. E a

água não-aproveitável, contendo excrementos, argila, areia e outros resíduos sem valor industrial chamada de “linha verde”, tendo basicamente uma destinação agrônômica.

A tabela 2.1 mostra as características típicas dos efluentes gerados por frigoríficos.

Tabela 2.1: Características físico-químicas de um efluente frigorífico.

Parâmetro	Média	Valores
pH	7,03	6,24 – 7,85
Condutividade ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$)	3.459	2.650 – 4.390
Alcalinidade ($\text{mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$)	416	366 – 512
DQO ($\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$)	5.398	3.979 – 7.125
DBO ₅ ($\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$)	2.763	2.035 – 4.200
SS ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$)	1.271	284 – 2.660
Nitrogênio amoniacal ($\text{mg N}.\text{L}^{-1}$)	22,1	5,5 – 61,8
Nitrogênio total de Kjeldahl ($\text{mg N}.\text{L}^{-1}$)	71,7	54,7 – 99,8
Fósforo total ($\text{mg P}.\text{L}^{-1}$)	71,5	53,9 – 91,7

Fonte: AGUILAR *et. al.* (2002). (modificado)

2.2.1 Tratamento preliminar e primário (tratamento físico-químico)

Os efluentes frigoríficos contêm partículas com uma grande variedade de formas, tamanhos, densidades, etc., o que influencia o seu comportamento na água e, portanto, a capacidade de serem removidos (IMHOFF, 1996). A remoção destas partículas no efluente é de grande interesse, desde que muitos dos contaminantes químicos e microbiológicos presentes no efluente sejam adsorvidos ou incorporados às partículas.

O tamanho, a forma e a densidade destas partículas afetam a velocidade de flotação ou decantação, assim como a interação com outras partículas, e outros fenômenos de interesse no processo de separação, como sua hidrodinâmica ou transporte, propriedades de agregação, etc.

2.2.1.1 Tratamento Preliminar: peneiramento e sedimentação

Visa a remoção de sólidos grosseiros em suspensão (materiais de maiores dimensões e areia) mediante gradeamento ou peneiras. O mecanismo predominante

é o físico. Para a remoção de areia são utilizadas caixas de areia. Este tratamento é aplicado na etapa inicial do tratamento dos rejeitos.

2.2.1.2 Tratamento Primário

Decantadores

Utilizados para a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e a correspondente DBO em suspensão (matéria orgânica presente nos sólidos em suspensão sedimentáveis). Como citado anteriormente o mecanismo predominante é o físico. Eficiência de remoção: SS de 60% a 70%; DBO de 30% a 40%; coliformes de 30% a 40% (VÁZQUEZ, 2004).

O seu efeito de superfície é mais acentuado do que o efeito de profundidade. A profundidade não influencia na capacidade de sedimentação, mas na capacidade de retenção do lodo. De modo geral utiliza-se uma profundidade de 1,5 m a 2,0 m, dependendo da quantidade de sólidos sedimentáveis. O tempo de detenção do material no decantador varia de 2 horas a 4 horas.

Existem dois tipos de decantadores mais utilizados: circulares e retangulares. Para decantadores com mesmo volume os de formato circular apresentam maior velocidade de remoção, já que o seu perímetro para remoção do efluente é maior. Normalmente, o destino do lodo obtido nos decantadores tem sido para biodigestores anaeróbios. Devendo a tubulação distribuir o esgoto uniformemente a fim de evitar o efeito “by-pass”.

Para a decantação da fração coloidal (10-3 a 100 μm) as partículas são removidas através da decantação com coagulação, por meio de processo físico-químico. As substâncias coloidais, como argila e orgânicos, apresentam carga negativa. Este tipo de operação utiliza coagulante, como o sulfato de alumínio. Estes coagulantes, na presença de hidróxido de cálcio, fazem com que haja a formação de hidróxido de alumínio (carregado positivamente), que tem a função de atrair as partículas coloidais (carregadas negativamente), visto que se encontra carregado negativamente. As partículas coloidais ficam então adsorvidas, aumentando desta forma o tamanho das mesmas. Com isso a velocidade de sedimentação é maior (VÁZQUEZ, 2004).

Remoção de Óleos, Gorduras e Graxas

As gorduras, óleos e graxas podem ser provenientes da matéria prima ou da lubrificação de equipamentos. A sua remoção é feita utilizando-se a caixa de gordura, que é obrigatória em abatedouro. O mecanismo utilizado para a remoção do material é a flutuação (processo físico). O resíduo deve permanecer na caixa de gordura por um tempo de, no mínimo 6 minutos. Por isso o tempo de detenção aplicado na prática varia de 6 min a 10 min, conseguindo-se, assim, uma eficiência de remoção de aproximadamente 90%.

A caixa deve apresentar tampas removíveis justapostas que possibilitem a sua limpeza periódica. Esta pode também funcionar como caixa de areia se apresentar fundo inclinado.

Quando o volume de esgoto é muito grande o dimensionamento tradicional torna-se inviável, então, utiliza-se o Sistema de Flotação. Neste tipo de mecanismo cápsulas de porcelana ou pvc são colocadas no fundo da caixa e ar comprimido é injetado através delas. Este ar forma micro bolhas que são lançadas no resíduo, fazendo com que a gordura seja levada para a superfície. Este sistema acelera a decomposição da fração orgânica solúvel devido à aeração. A remoção da gordura da caixa é feita por transbordamento através de calhas, mas também pode ser realizada por um sistema automático (VÁZQUEZ, 2004).

2.2.2 Tratamento Secundário

Destina-se a remoção de matéria orgânica que se apresenta da seguinte forma:

- matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel) - não é removida por processos meramente físicos, como a sedimentação;
- matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada) - grande parte deste material é removida no tratamento primário, mas os sólidos que decantam com mais lentidão permanecem na massa líquida.

Os mecanismos utilizados são biológicos. A remoção da matéria orgânica é efetuada através das reações bioquímicas de alguns tipos de microrganismos presentes no sistema. Esses microrganismos podem ser bactérias, fungos ou protozoários. A matéria orgânica é convertida em CO₂, H₂O e material celular (utilizada pelos microrganismos para o crescimento e reprodução). Este tipo de

tratamento requer o O₂ como componente principal dos processos aeróbios e a sua ausência no caso de processos anaeróbios, além da manutenção de outras condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato, etc. (VÁZQUEZ, 2004).

Principais variedades tecnológicas usadas em sistemas de tratamento secundário:

- Lagoas de estabilização e variantes
- Lodos ativados e variantes
- Filtros biológicos e variantes
- Tratamento anaeróbio
- Disposição sobre o solo

O tratamento secundário geralmente inclui unidades para tratamento preliminar, mas pode ou não incluir unidades para o tratamento primário.

Neste caso trata-se mais especificamente de um sistema de lagoas de estabilização as quais se constituem na forma mais simples para o tratamento de efluentes. Há diversas variantes, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área (VÁZQUEZ, 2004).

Os principais tipos de lagoas utilizadas para a remoção de matéria carbonácea são:

- Lagoas facultativas
- Lagoas anaeróbias
- Lagoas de maturação (utilizadas para a remoção de patogênicos)

Este tipo de tratamento de efluentes é bastante indicado para as condições brasileiras, devido aos seguintes aspectos (VÁZQUEZ, 2004):

- Suficiente disponibilidade de área em grande número de localidades
- Clima favorável (temperaturas e insolação elevadas)
- Operação simples
- Necessidade de pouco ou nenhum equipamento

Alguns cuidados que devem ser tomados (válido para todos os tipos de lagoas) (VÁZQUEZ, 2004):

- A lagoa deve estar pelo menos 1m acima do lençol freático
- Deve ser impermeabilizada por argila ou lona plástica

- Deve-se observar se o lençol freático não está sendo utilizado pela fábrica ou por pessoas da região, devido a possibilidade de contaminação.
- A terra removida para fazer o tanque pode ser usada para fazer os próprios diques ao redor, não necessitando cavar muito. Isso diminui os custos de implantação.
- A alimentação deve ser feita de modo uniforme, evitando o efeito de “*bypass*”.

2.2.2.1 Lagoas Facultativas

Constituem o tipo de variante mais simples das lagoas de estabilização, onde o efluente é retido por um longo período de tempo permitindo que ocorram os processos de estabilização da matéria orgânica. Suas principais vantagens e desvantagens estão associadas à predominância de fenômenos naturais.

Resumidamente pode-se dizer que:

- É de grande simplicidade e confiabilidade da operação
- Necessita de grandes áreas, pois são necessários longos tempos de detenção para que as reações se completem.
- A temperatura afeta a atividade biológica
- É apropriada para as regiões onde o custo da terra é baixo, onde o clima seja favorável e quando não se deseja equipamentos.
- É de construção simples visto que consiste, basicamente, na movimentação de terra.
- Apresenta uma eficiência satisfatória.

2.2.2.2 Lagoas Anaeróbias

Este tipo de lagoas constitui uma forma alternativa de tratamento. É essencial a existência de condições *estritamente anaeróbias*. A forma de conseguir isso é lançando uma grande carga de DBO por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de O₂ seja várias vezes superior à taxa de produção (VÁZQUEZ, 2004).

Portanto, o efeito de superfície não é importante. Ou seja, a produção de O₂ pela fotossíntese e pela reação atmosférica é desprezível.

Este tipo de lagoa é utilizado para despejos industriais com elevada carga de DBO (frigoríficos, laticínios, bebidas, etc.). A estabilização em condições anaeróbias é lenta, pois as bactérias anaeróbias se reproduzem em taxa vagarosa. A temperatura do meio também tem grande influência nas taxas de reprodução e estabilização (a temperatura elevada do Brasil é propícia). A profundidade média destas lagoas varia de 3m a 7m, então uma menor área é requerida, o que impede a penetração do O₂ produzido na superfície (VÁZQUEZ, 2004).

A DBO efluente ainda é elevada, requerendo uma unidade posterior de tratamento. Um sistema de lagoa anaeróbia - lagoa facultativa faz com que a requisição de terreno seja 2/3 do requisito para uma lagoa facultativa única.

Nestas lagoas existe a possibilidade de geração de maus odores (H₂S). Portanto, devem encontrar-se afastadas de áreas residenciais.

Dentre outros processos destaca-se o processo anaeróbio descrito no item 2.3 o qual é objeto de estudo deste trabalho, mais precisamente o Sistema UASB.

2.2.3 Tratamento Terciário

O tratamento terciário destina-se a depuração complementar do efluente ou a sanar problemas que possam vir a ocorrer no tratamento secundário, podendo consistir nos mesmos mecanismos, como citado no item 2.2.2.

2.2.3.1 Lagoas de Maturação

O objetivo principal desse tipo de lagoa é a remoção de microrganismos patogênicos, sendo uma alternativa econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais (como a cloração, por exemplo).

Estas lagoas possibilitam um polimento do efluente proveniente de *qualquer tipo de lagoa* (VÁZQUEZ, 2004).

2.3 Processo anaeróbio

O processo de digestão anaeróbia consiste na degradação biológica de substâncias orgânicas complexas na ausência de oxigênio livre. É semelhante à digestão de alimentos no estômago de ruminantes através da degradação da

matéria orgânica tornando-a solúvel e permitindo assim trato digestivo e conseqüente incorporações ao sangue e às células (SILVA, 1993). Dessa forma, no processo de digestão anaeróbia a matéria orgânica é degradada biologicamente, tendo como um dos produtos finais o metano, o qual é fonte alternativa de energia. Apenas certas bactérias produzem o metano. Assim o processo completo de degradação envolve uma cadeia alimentar de bactérias anaeróbias não metanogênicas e metanogênicas interagindo entre si.

A partir de 1950 foram desenvolvidas muitas variantes de processo anaeróbio, visando melhorar a eficiência do tratamento anaeróbio. Nesta década ocorreram dois importantes desenvolvimentos: o conceito de agitação, surgindo então o digestor anaeróbio convencional para o tratamento de lodo de esgoto e o conceito de processo anaeróbio de contato, que reconheceu a importância de manter uma alta concentração de microrganismos dentro de um reator anaeróbio, o que foi obtido pela recirculação da massa biológica efluente ao reator (SILVA, 1993).

O processo de digestão anaeróbia foi utilizado por muito tempo apenas para a estabilização de resíduos, como por exemplo, a biodigestão de lodo primário ou de excesso de lodo do sistema de lodos ativados. Isto porque os sistemas tradicionais de tratamento anaeróbio eram normalmente de baixa taxa, requerendo assim longo tempo de permanência de reatores e por conseqüência grandes volumes.

Por volta dos anos 70, surgiu a preocupação com o consumo de energia, os elevados custos dos tratamentos convencionais, a valorização da ocupação do solo e a necessidade de proteção ambiental, colocando então o tratamento anaeróbio em destaque. Desta forma, foram desenvolvidas novas tecnologias e por conseqüência reatores classificados como sendo de alta taxa, como por exemplo, os reatores de leito fluidizado, os filtros anaeróbios, o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket) entre outros (ALAERT et al., 1990 apud OLIVA, 1997).

Ainda segundo esses autores, até recentemente esses reatores anaeróbios de alta taxa eram considerados mais apropriados para resíduos industriais devido às altas concentrações de matéria orgânica especialmente as altamente biodegradáveis. Porém, a viabilidade do tratamento de esgotos sanitários através de reatores anaeróbios de alta taxa vem sendo estudada há alguns anos e relatam que, sendo as condições ambientais favoráveis, esse tipo de processo pode ser viável.

2.3.1 Tipos de reatores anaeróbios

2.3.1.1 Reatores de baixa taxa

Biodigestor

Tem sido utilizado para o tratamento de resíduos agropecuários (estrupe), resíduos de processamento de grãos e às vezes para esgoto, tendo como principal objetivo a produção de fertilizante, uma vez que estão livres de patógenos após uma digestão de 20-30 dias. É encontrado em algumas áreas rurais da China, Coreia, Nepal e Índia (OLIVA, 1997).

Tanque Séptico

Patenteado por *D. Cameron* em 1895, na Inglaterra, o tanque séptico é uma unidade que consiste em tanque fechado onde ocorre a sedimentação, digestão anaeróbia e adensamento de lodo. Há uma boa remoção de sólidos sedimentáveis, porém seu efluente contém DBO elevada e microrganismos patogênicos. Constituem unidades pequenas para até 50 casas ou para edifícios tipo escola e hospital. O tempo de residência é, em geral, da ordem de 1 dia (OLIVA, 1997).

Tanque Imhoff

Desenvolvido por K. Imhoff em 1905 na Alemanha é um tanque desenvolvido em dois compartimentos. Na câmara superior ocorre a sedimentação enquanto que na câmara inferior os sólidos retidos sofrem digestão anaeróbia. O tempo de residência do líquido é em torno de algumas horas, o lodo é removido em geral no período de 20-30 dias. São unidades de tratamento para pequenas comunidades, de simples construção e manutenção (OLIVA, 1997).

Lagoa Anaeróbia

Unidade de tratamento geralmente integrante de um sistema de lagoas em série, do tipo lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação. O tempo de detenção em lagoas anaeróbias (2 a 5 dias) é, em geral, mais longo do que em sistemas de tratamento primário e, portanto a eficiência de remoção da DBO pode ser mais

elevada (VAN HAANDEL & LETINGA, 1994). Apesar da operação das lagoas ser considerada simples, não se deve menosprezar o aspecto de manutenção das mesmas.

2.3.1.2 Reatores de alta taxa

Filtro anaeróbio

É um reator de fluxo ascendente provido ou não de sistema de recirculação do efluente que contém, no seu interior, meio suporte (normalmente de material inerte de elevada área específica) para o crescimento da biomassa aderida à superfície. A matéria orgânica é estabilizada através da ação de microrganismos retidos nos interstícios ou aderidos ao material suporte formando o biofilme. O bom desempenho tanto para efluentes industriais como para despejos diluídos se deve à retenção de biomassa, por longo tempo, fixa no meio filtrante. Os elevados tempos médios de residência de sólidos, que podem chegar até 100 dias, e os tempos de detenção hidráulica curtos proporcionam aos filtros um grande potencial para a sua aplicabilidade em tratamento de águas residuárias diluídas (METCALF & EDDY, 1991). O reator de leito fixo descendente é a versão do filtro anaeróbio concebida para minimizar problemas de colmatação e entupimento do leito. Não é possível controlar o tempo de detenção celular dos filtros anaeróbios de fluxo ascendente ou descendente já que não há como aumentar a taxa de detenção ou retirada de sólidos do reator durante sua operação em condições normais (SILVA, 1993). Os filtros anaeróbios podem necessitar de dispositivo especial de controle do filme através da retrolavagem. Esses reatores apresentam graus mais baixos de contato entre os despejos e a biomassa, mas são mais resistentes a sobrecargas hidráulicas.

Processo anaeróbio de contato

Esse processo é o equivalente anaeróbio do sistema de lodos ativados e consiste de um reator de mistura completa, seguido por decantador; o lodo sedimentado no decantador é retornado ao reator, sendo misturado com o afluente e então digerido sem que ocorra a entrada de ar; após a digestão a mistura é separada no decantador (METCALF & EDDY, 1991). O retorno do lodo faz com que o tempo de detenção celular (ϕ_c) no sistema possa ser diferente do tempo de detenção hidráulica (TDH) sendo de interesse manter elevado ϕ_c e baixo TDH. O

problema nesse tipo de tratamento é a separação de sólidos, pois a produção de gás não cessa no decantador, provocando a perda efetiva de lodo juntamente com o efluente. Devido a isso, as cargas orgânicas aplicadas ao sistema são limitadas. Sistema muito empregado em tratamento de efluente industrial.

Reator de leito fluidizado

Contém um meio suporte para o crescimento aderido (geralmente este meio suporte é areia) que é mantido em suspensão graças à velocidade de escoamento ascensional imposta do líquido em seu interior. Os reatores de leito fluidizado possuem dispositivos especiais para o controle do biofilme, taxas de recirculação muito altas e que representam grande ônus sendo somente razoáveis para despejos diluídos como é o caso dos esgotos domésticos, e estruturas de biomassa prejudicadas por grandes quantidades de sólidos em suspensão no afluente. Neste tipo de reator, devido à velocidade elevada, é difícil a existência de organismos livres (OLIVA, 1997).

Reator de leito expandido

Neste reator o despejo flui de modo ascendente através de um leito de partículas em suspensão que serve de suporte para os microrganismos. É similar ao reator de leito fluidizado, sendo que a principal diferença entre ambos está na taxa de expansão do meio suporte. O tempo de detenção celular neste reator também é dezenas de vezes maior que o tempo de detenção hidráulica; com a variação da taxa de recirculação pode se controlar a espessura do biofilme. Ocorre alto consumo de energia para manter o leito expandido; na falta de energia há o problema para o reinício da operação devido a compactação do leito (OLIVA, 1997).

Reator de manta de lodo granular expandido (EGSB)

Esse reator é uma modificação do UASB, difere deste último devido a maior velocidade ascensional do fluxo segundo LETTINGA (1996) e OLIVA (1997) entre 2,5 e 5,0 m/h resultando na expansão do leito do lodo granulado. Esse aumento na velocidade pode ser obtido através de um aumento na relação altura/diâmetro ou pela recirculação do efluente.

Reator UASB

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo foi desenvolvido em 1980 na Holanda por *Lettinga* e seus colaboradores, é uma unidade de fluxo ascendente que possibilita o transporte das águas residuárias através de uma região que apresenta elevada concentração de microrganismos anaeróbios. Esse reator oferece condições para que uma grande quantidade de lodo biológico fique retida em seu interior em decorrência das características hidráulicas de escoamento e também da natureza desse lodo. O UASB não contém nenhum tipo de material suporte; ao invés disso, possui na parte superior um dispositivo destinado à sedimentação de sólidos e à separação das fases sólida-líquida-gasosa. Esse dispositivo é de fundamental importância, pois é responsável pelo retorno de lodo e conseqüentemente pela garantia do alto tempo de detenção celular do processo. Esse tipo de tratamento é altamente aplicado a efluentes industriais, entretanto em meados da década de 80, o UASB passou a ser estudado e desenvolvido também para o tratamento de esgotos sanitários.

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) será enfocado mais detalhadamente no item 2.3.3 já que tem sido um dos sistemas mais utilizados na atualidade, dentre os processos anaeróbios, para o tratamento de esgotos sanitários e por este trabalho ser referente ao tratamento do efluente de um reator UASB.

As tabelas 2.2 e 2.3 referem-se à comparação entre alguns tipos de reatores anaeróbios.

2.3.2 A microbiologia e a bioquímica do processo anaeróbio

Antes de descrever as reações bioquímicas bem como a microbiologia envolvida na digestão anaeróbia é necessário compreender o fenômeno de degradação da matéria orgânica.

A decomposição é um processo de oxidação biológica que pode ser realizado em presença de oxigênio livre ou na sua ausência. Na presença deste, a oxidação realizada é completa, sendo assim a molécula orgânica é totalmente quebrada cedendo toda sua energia potencial disponível e formando como produto carbonáceo final o CO_2 desprovido de energia útil, bem como compostos oxidantes como SO_2 , NO_2 , etc.

Já nas reações anaeróbias a oxidação é apenas parcial, levando à formação de produtos carbonáceos finais tais como CH₄, álcoois ou ácidos graxos ainda com energia potencial disponível. Como não há a oxidação total, a quantidade de energia liberada é muito menor do que na reação aeróbia.

Tabela 2.2: Aspectos Comparativos dos Principais Tipos de Reatores Anaeróbicos

ASPECTOS ANALISADOS	UASB	FILTRO	FILTRO	REATOR	REATOR
		ANAER. FLUXO ASCEND.	ANAER. FLUXO DESCEND.	DE LEITO EXPAND.	DE LEITO FLUIDIZ.
PARTIDA: PRIMEIRA	4-16 SEMANAS	>3-4 SEMANAS	>3-4 SEMANAS	>3-4 SEMANAS	≈ 3-4 SEMANAS
SEGUNDA	0-2 DIAS	0-2 DIAS	ALGUNS DIAS?	ALGUNS DIAS?	INCERTO
DESEMPENHO QUANTO À EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS	SATISFATÓRIO A BAIXAS E MÉDIAS TAXAS DE CARREGAMENTO	RAZOAVEL A BAIXA CONCENTR. DE SS E QUANDO NÃO ENTUPIDO	MUITO RUIM	RUIM	MUITO RUIM
RISCO DE CURTO CIRCUITO	POUCOS, A MENOS QUE HAJA PROBLEMAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	ALTOS, QUANDO A CONCENTR. DE SS É ALTA E EM FILTROS ENTUPIDOS	PEQUENOS	PEQUENOS	QUASE INEXISTENTES
NECESSIDADE DE RECIRCULAÇÃO	GERALMENTE NÃO HÁ NECESSIDADE	GERALMENTE NÃO HÁ NECESSIDADE	PEQUENA	MODERADA	GERALMENTE ALTA
NECESSIDADE DE SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO SOFISTICADO	PARA RESÍDUOS COM BAIXA CONCENTRAÇÃO E COM MANTAS DE LODO DENSAS	PODE SER BENÉFICO	NÃO	NECESSÁRIO	ESSENCIAL
NECESSIDADE DE EQUIPAMENTOS DE SEPARAÇÃO DE GÁS	SIM, ESSENCIAL	PODE SER BENÉFICO	NÃO	PODE SER BENÉFICO	BENÉFICO
NECESSIDADE DE MATERIAL SUPORTE	PODE SER BENÉFICO EM ALGUNS CASOS	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ESSENCIAL	ESSENCIAL
RAZÃO ALTURA/ÁREA	PODE SER ALTA PARA LEITOS DE LODO GRANULADO	MODERADA	MODERADA	MODERADA (?)	MUITO ALTA

Fonte: LETTINGA et al. (1984) apud ALAERTS et al. (1990) apud OLIVA (1997)

No processo de digestão anaeróbia a matéria orgânica é convertida biologicamente, sob condições anaeróbias em diversos produtos finais, incluindo

metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂) (METCALF & EDDY, 1991). Essa degradação biológica é desenvolvida basicamente por bactérias, em especial as acidogênicas e as metanogênicas, entretanto outros microrganismos como protozoários (flagelados, amebas e ciliados), fungos imperfeitos e leveduras também podem estar presentes (SILVA, 1993).

Tabela 2.3: Comparação entre vários tipos de reatores

	Leito Fixo	Leito Móvel	Leito Expandido	Leito Fluidizado	Processo com Recirculação do lodo	Processo com Recirculação de Flocos	Manto de Lodo
Importância da Estrutura do Biofilme	±	+	+	+	±	-	+
Importância da Biomassa não aderida	+	±	-	-	+	+	+
Controle da espessura do Biofilme no Reator	-	+	+	+	-	-	-
Necessidade de Recirculação	-	-	+	+	+	+	-
Necessidade de Mistura	-	-	-	-	+	+	±
Necessidade de Equipamento de Separação	-	-	-	-	+	+	+
Possibilidade de Separação de Fases	±*	±*	+	+	+	+	±*
Adequação a Despejos com Sólidos em Suspensão	±	+	-	-	+	+	+
Problemas de Formação de Escuma	-	-	+	+	+	±	+
Problemas com a Formação de Bolhas	+	-	±	+	-	-	+
Contato Elevado Microrganismos/Despejos	-	+	+	+	+	+	+
Tolerância a Sobrecargas Hidráulicas	+	+	+	+	±	+	+
Tolerância a Sobrecargas Orgânicas	+	+	+	+	+	+	±
Adequação a Elevadas Concentrações de Substâncias Tóxicas Biodegradáveis	±*	±*	+	+	+	+	±*
Suscetibilidade a Doses de Choque de Substâncias Tóxicas	-	-	+	+	+	+	+
Problemas na Partida do Reator	+	+	+	+	±	±	+
Facilidade de Nova Partida	+	+	±	+	+	+	+

+ = SIM ± = PARCIAL - = NÃO/NENHUM * NECESSIDADE DE MISTURA E RECIRCULAÇÃO

Fonte: HENZE & HARREMOES apud PIVELLI apud SILVA (1993)

Para uma maior compreensão das reações bioquímicas e da microbiologia envolvida, esse processo biológico de tratamento foi didaticamente dividido em 4 etapas: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese conforme apresentado na figura 2.1.

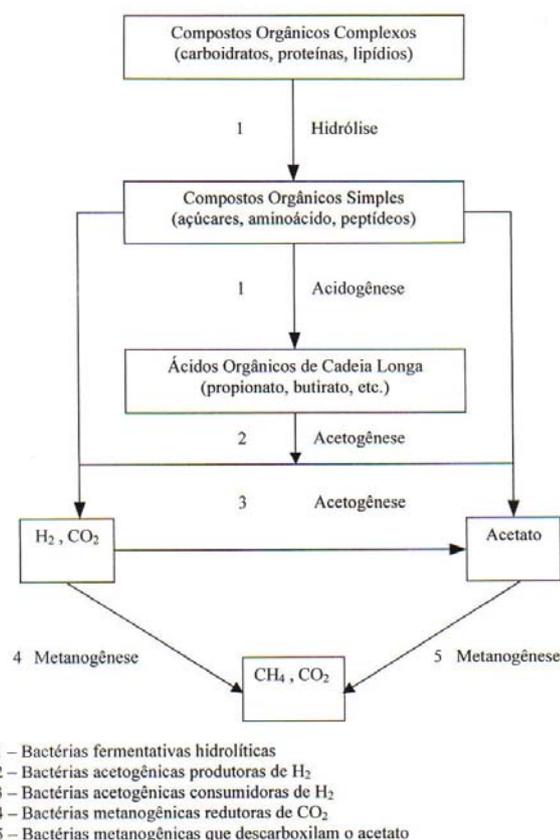


Figura 2.1 – Etapas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: NOVAES apud SILVA (1993)

Segundo HENZE et al. (1990) entre as bactérias, os principais grupos são: bactérias acidogênicas: bactérias formadoras dos ácidos propiônico e butírico e bactérias acetogênicas (ácido acético e hidrogênio); e bactérias metanogênicas: metanobactérias, acetoclásticas (acetofílicas) e metanobactérias (hidrogenofílicas).

HIDRÓLISE

Durante o processo de hidrólise os compostos orgânicos complexos (proteínas, lipídios, carboidratos e outros) são convertidos a compostos mais simples (açúcares, aminoácidos, peptídeos e outros) por enzimas extracelulares chamadas de exo-enzimas, excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas.

As substâncias complexas convertidas por hidrólise tornam-se mais simples e dissolvidas, podendo ser absorvidas através das paredes celulares e membranas de bactérias. A taxa da hidrólise depende muito do acesso de exo-enzimas ao substrato a ser hidrolisado; a hidrólise é um processo lento e suscetível a vários fatores, entre estes: temperatura, tempo de residência, composição do substrato,

tamanho das partículas, pH, concentração do nitrogênio, entre outros (OLIVA, 1997).

Em despejos celulósicos, tem-se a hidrólise como estágio limitante, devido à presença de lignina envolvendo a celulose. A baixa biodegradabilidade da lignina limita, drasticamente, a taxa de hidrólise para este tipo de resíduo.

ACIDOGÊNESE

A acidogênese é a etapa onde os compostos (gerados na hidrólise) de pesos moleculares mais baixos são convertidos em H_2 e CO_2 e ácidos orgânicos voláteis com três ou mais carbonos nas moléculas, que se combinam formando sais, além de outros subprodutos como álcoois, também através da atividade das bactérias fermentativas.

As bactérias são responsáveis tanto pela etapa da hidrólise quanto da acidogênese, este grupo consiste em bactérias anaeróbias obrigatórias e anaeróbias facultativas e são comumente chamadas de bactérias acidogênicas. Os gêneros desses tipos de bactérias encontrados em digestores anaeróbios são: *Clostridium*, *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium*, *Desuephovibrio*, *Corynebacterium*, *Lactobacilus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus* e *Escherichia coli* (METCALF & EDDY, 1991).

Segundo ZEIKUS (1980) apud OLIVA (1997), a população acidogênica é a maior dentre as populações presentes na digestão anaeróbia e consiste em cerca de 90% da população total dos digestores.

A composição do substrato é de fundamental importância na determinação das espécies dominantes e, portanto, na diversidade da comunidade microbiana participante do processo de estabilização.

O produto final do metabolismo dessas bactérias depende do substrato inicial e das condições ambientais, sendo dada ênfase à presença de H_2 . Para baixa pressão parcial de H_2 , a formação de compostos orgânicos como acetato, CO_2 e H_2 é termodinamicamente favorecida. Se a pressão parcial de H_2 for mantida a níveis altos, ocorre somente a formação de produtos como propionato e alguns outros ácidos orgânicos, lactato e etanol (SILVA, 1993).

A velocidade de criação da etapa acidogênese é maior que a metanogênese, o que significa que o comportamento da acidogênese afeta diretamente o desempenho da metanogênese.

ACETOGÊNESE

A acetogênese é a etapa onde os ácidos voláteis e os álcoois são metabolizados, produzindo acetato e H₂ pelas bactérias acetogênicas produtoras de H₂. Parte do H₂ e CO₂ formados (e que não se combinaram para formar o metanol) também é convertido em acetato através das chamadas bactérias acetogênicas consumidoras de H₂ ou homoacetogênicas. Há também nesta etapa a formação de material celular.

Poucos estudos foram realizados visando identificar bactérias do grupo das acetogênicas. Esse grupo é provavelmente composto de muitas espécies bacterianas, possuindo diferentes fontes de energia.

Na Tabela 2.4 são apresentadas algumas das reações que ocorrem durante a fase da acetogênese.

Tabela 2.4: Algumas reações Acetogênicas

REAÇÃO	$\Delta G'_0$ (kJ/mol)
$\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{acetato}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	-4,2
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{acetato}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+9,6
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{acetato}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+48,1
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{acetato}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 3\text{H}_2$	+76,1
$4\text{CH}_3\text{OH} + 2\text{CO}_2 \rightarrow 3\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$	-2,9
$2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	-70,3

$\Delta G'_0$ = Variação da energia livre em condições padrão (pH = 7,0 e 25 °C)

Fonte: HULSHOFF POL (1996) apud OLIVA (1997)

METANOGENÊSE

A metanogênese é a etapa onde ocorre a formação de metano e material celular através da metabolização de acetato pelas bactérias acetoclásticas (com co-produção de CO₂) e também pelo uso do H₂ e CO₂ pelas bactérias metanogênicas redutoras de CO₂.

Segundo OLIVA (1997), 70% do metano produzido em um reator é produto da degradação do acetato pelas bactérias metanogênicas acetotróficas. Nesse processo o grupo carboxila do acetato é convertido em CO₂ e o grupo metil incorporado como metano. Ainda segundo este autor, o segundo grupo das

bactérias metanogênicas chamadas de hidrogenotróficas é aquele capaz de produzir metano a partir de H_2 e CO_2 .

Na Tabela 2.5 são listadas algumas das reações que ocorrem durante a fase da metanogênese.

Tabela 2.5. Algumas reações Metagênicas

REAÇÃO	$\Delta G'_0$ (kJ/mol)
$CH_3COO^- + H_2O \rightarrow CH_4 + HCO_3^-$	-31,0
$HCO_3^- + H^+ + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135,6
$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	-31,2
$4HCOO^- + 2H^+ \rightarrow CH_4 + CO_2 + 2HCO_3^-$	-32,9

$\Delta G'_0$ = Variação da energia livre em condições padrão (pH = 7,0 e 25 °C)

Fonte : HULSHOFF POL (1996) apud OLIVA (1997)

A metanogênese é o ponto crítico do processo; isto porque as bactérias metanogênicas são mais sensíveis que as demais (fermentativas, acetogênicas e outras) às condições do meio.

Grande parte da energia acumulada nas ligações químicas, disponível no substrato, é transformada em metano que é liberado para a fase gasosa e não mais utilizado como fonte de energia pelos microrganismos. Portanto as bactérias anaeróbias têm crescimento lento se comparado com organismos aeróbios. Essa baixa taxa de crescimento das bactérias anaeróbias resulta em baixa produção de biomassa (lodo) e baixos requisitos de nutrientes (OLIVA 1997). A determinação da etapa limitante depende da taxa de degradação da matéria orgânica e seus produtos bem como dos tipos de bactérias presentes no digestor e da eficiência na conversão dos substratos sob as condições de vazão afluyente, temperatura e pH no reator.

2.3.3 O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo - reator UASB

A seguir serão apresentados os princípios que envolvem a concepção do reator UASB bem como suas principais características e seu desempenho no tratamento de esgotos sanitários.

2.3.3.1 Princípios do reator UASB

O reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), traduzido como reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, foi desenvolvido na década de 70 na Universidade Wageningen-Holanda por *Lettinga* e seus colaboradores (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

É uma unidade de fluxo ascendente que possibilita o transporte das águas residuárias através de uma região que apresenta elevada concentração de microrganismos. Esse reator não contém nenhum tipo de material suporte, ao invés disso, possui na parte superior um dispositivo destinado a favorecer a separação das fases sólida, líquida e gasosa, com os gases sendo direcionados para o topo e os sólidos e líquidos direcionados para as partes inferiores do reator.

Segundo *Lettinga*, os princípios da concepção do reator UASB são:

- I. O lodo anaeróbio deve apresentar boas propriedades de sedimentação para que dessa maneira altas velocidades de ascensão do fluxo possam ser aplicadas sem que ocorra nenhum tipo de risco de lavagem do lodo. Assim, podem ser aplicadas velocidades, às vezes, maiores que 2 m/h.
- II. Deve haver contato entre o lodo e o substrato; para tanto é necessário que: o afluente seja homogeneizado ao entrar no reator e a mistura que ocorre na manta de lodo seja produzida pelo biogás ou em casos de baixa produção de gás e/ou baixa concentração de DQO afluente seja aplicado uma mistura externa lenta.
- III. A lavagem ou o escape de lodo (causado pela produção de gás) deve ser prevenido usando o separador de fases, que deve ser construído no topo do reator, o qual cria zona de pequena turbulência.
- IV. O gás retido no lodo sedimentado e em suspensão é liberado através do retorno deste lodo para uma área de sedimentação onde as partículas sólidas adquirem maior densidade quando liberam os gases retidos. Com a realização do retorno de lodo neste dispositivo, garante-se o alto tempo de detenção celular deste processo.

- V. O reator UASB oferece condições, devido as suas características hidráulicas de escoamento e as boas características de sedimentação do lodo, para que grande quantidade de lodo biológico fique retida em seu interior.

2.3.3.2 Funcionamento básico do reator UASB

Segundo PETTE e VERSPRILLE apud SILVA (1993), o funcionamento do reator UASB ocorre, conforme a Figura 2.2, da seguinte forma:

"A água residuária entra pelo fundo do reator por uma série de tubos de alimentação e, imediatamente, em contato com a zona de lodo, sofre a degradação dos seus componentes biodegradáveis que são convertidos em biogás".

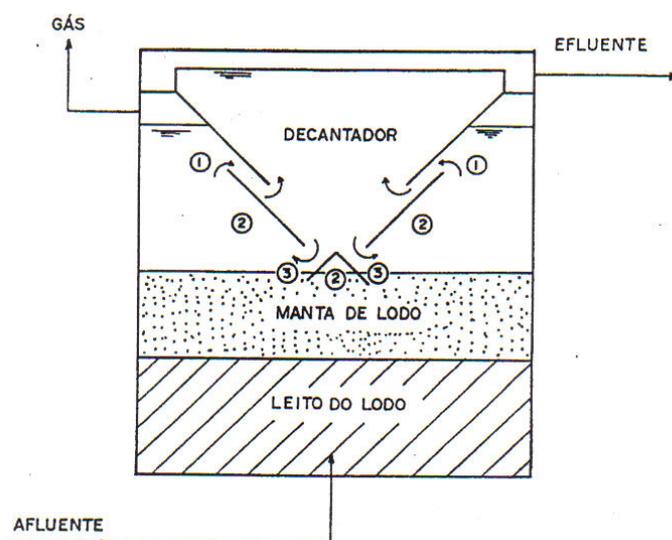


Figura 2.2 – Esquema do reator UASB

Fonte: PETTE & VERSPRILLE apud SILVA (1993)

Os flocos de lodo são levados pelas bolhas de gás, em corrente ascendente através do digestor, até as placas defletoras que formam o decantador. A desgaseificação ocorre quando a mistura líquida - lodo é forçada a passar através das placas. Nesta zona quiescente o lodo desgaseificado e de características floculentas, sedimenta facilmente, retornando à câmara de digestão e assegurando tempo de detenção adequado e altas concentrações do lodo ativo no reator. O fluxo em movimento descendente do lodo desgaseificado opera em contra-corrente ao fluxo hidráulico dentro do digestor e serve para promover a mistura necessária para

um contato eficiente entre as bactérias e a água residuária homogeneamente distribuída.

A fração líquida do substrato continua em fluxo ascendente através do decantador, sendo retirada do reator mediante o dispositivo de coleta do efluente instalado. As bolhas de gás, uma vez separadas do lodo, são direcionadas pelas placas defletoras até canalizações de saída, onde pode ser queimado, ou utilizado como combustível.

2.3.3.3 Características específicas do reator UASB

Como características principais do reator UASB destacam-se: a partida do reator e sua granulação.

Um dos fatores fundamentais para a manutenção de um tempo de residência de sólidos suficiente para o funcionamento eficiente de reatores do tipo UASB é a presença de uma biomassa ativa, granulada e/ou floculenta. Essa característica granular do lodo em reatores UASB torna-os mais vantajosos se comparado aos lodos floculentos (OLIVA 1997), lembrando que as características do lodo diferem devido ao modo de operação e também às características do substrato.

Em condições ambientais favoráveis para a geração de biomassa, tanto a partida como a granulação dependerão das condições hidrodinâmicas no reator (VALLEJOS, 1997 apud MARÇAL JUNIOR, 2001).

Partida dos reatores UASB

Segundo VAN HAANDEL & LETTINGA (1994), a duração do período de partida será o tempo necessário para que se obtenha um afluente de características constantes e uma massa de lodo que não sofra alterações nem de qualidade nem de quantidade com o tempo.

Um dos principais problemas no processo UASB é o longo período de tempo envolvido na partida, que em média é de 3 a 5 meses. Segundo LETTINGA (1996) apud OLIVA (1997), para minimizar esse período de partida aconselhava-se utilizar lodo granulado adaptado ao tipo de efluente que se deseja tratar, com isso a partida se reduzirá a dias ou semanas; convém nesse período manter as taxas de

carregamento abaixo de 50% de sua capacidade máxima durante as primeiras semanas.

A seleção do inóculo apropriado é essencial para uma boa partida do UASB. O material a ser usado como inóculo deve possuir microrganismos que possam degradar os compostos orgânicos do resíduo e induzir a formação dos grânulos, ou desenvolver um lodo com boas propriedades de sedimentação (NOYOLA apud VALLEJOS, 1997 apud MARÇAL JUNIOR, 2001).

Ainda segundo esse autor, não existe uma norma exata para a estimativa do volume necessário para a inoculação de um reator. Considera-se aceitável 10-30% do volume do reator.

Granulação nos reatores UASB

Uma das principais características do processo é a formação de um lodo com alta atividade específica e boas propriedades de sedimentação. O lodo é obtido vagarosamente, ao longo dos meses, propiciando a formação do lodo granular.

Segundo LETTINGA (1980) apud MARÇAL JÚNIOR (2001), estudos extensivos foram realizados em laboratórios para elucidar o mecanismo de formação de grânulos, pelo menos dois tipos de grânulos podem ser cultivados, estes são: grânulos compostos de microrganismos com forma de bastão e grânulos compostos de microrganismos filamentosos, ambos com alta sedimentabilidade.

VERSTRAETE apud OLIVA (1996) reportou que vários fatores relacionados com granulação foram examinados em uma série de experimentos de laboratório, entre os quais: influência do tipo de superfície, mistura no reator e a maioria dos aspectos ligados a pré-acidificação. As conclusões foram que os grânulos podem ser formados por associações metanogênicas com uma variedade de substratos, que se não houver mistura o crescimento granular muda gradualmente para crescimento disperso e que em sistemas de fluxo ascendente, o crescimento de lodo granular e seu acúmulo no reator são diretamente observados.

O UASB é um processo adequado para selecionar os organismos que promovem a granulação do lodo, permitindo que os materiais mais pesados e mais ásperos acumulem-se dentro do sistema.

Segundo LETTINGA (1980) apud MARÇAL JÚNIOR (2001) uma vez que o processo de granulação ocorre, cada vez menos problemas serão encontrados na

retenção da biomassa, já que se tornam, gradativamente, mais pesados e maiores em tamanho.

Apesar de uma variedade de organismos serem capazes de produzir agregados granulares, as características do lodo granular formado depender essencialmente das propriedades específicas dos organismos envolvidos no processo de granulação.

2.3.3.4 Desempenho de reatores UASB

Vários experimentos têm sido efetuados em países ainda em desenvolvimento para desenvolver o processo de tratamento de esgoto doméstico, que possui baixa carga orgânica, utilizando reator UASB; isto porque países desenvolvidos já têm seus esgotos tratados por processos convencionais.

Os sistemas de tratamento UASB que operam em escala real encontram-se em regiões com climas tropicais ou subtropicais. Estudos em escala piloto foram realizados também em regiões com clima moderado (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

VIEIRA (1994) apud MARÇAL JÚNIOR (2001) esclarece que os estudos e o desenvolvimento de reatores UASB foram iniciados no Brasil por volta de 1980. Instituições de pesquisas, companhias de saneamento e universidades têm desenvolvido e divulgado com segurança esta tecnologia.

Lettinga e seus colaboradores em 1981, operando um reator em escala piloto de 6 m³, inoculado com lodo digerido a uma temperatura controlada de 20°C, obteve uma remoção de 75% de DQO, com tempo de detenção hidráulica de 12 horas. Visando estudar a aplicabilidade do reator UASB no tratamento de esgoto sanitário sob condições climáticas moderadas, *Lettinga* em 1983 operou um reator UASB de 120L, inoculado com lodo anaeróbio granulado ativo sob condições de temperatura de 8°C a 20°C e tempo de detenção hidráulica de 8 a 24 horas. Verificou-se a remoção de 65-90% de DBO com tempo de detenção hidráulica de 12 horas e produção de lodo de 100 a 200L de gás / Kg de DQO (VALLEJOS, 1997 apud MARÇAL JUNIOR, 2001).

Entre os anos de 1983 e 1987 foi operada uma planta de tratamento de esgoto sanitário em Bucaramanga, Colômbia. Esta consistia de duas unidades paralelas de tratamento primário: uma lagoa anaeróbia e um reator UASB (35 m³ cada), além de

duas lagoas facultativas de 107 m³ como tratamento secundário. Os resultados obtidos na remoção de DQO no UASB foram de 72% e na lagoa anaeróbia de 60%. O estudo indicou que a aplicação de reatores UASB+lagoas facultativas pode reduzir de 4 a 5 vezes o tempo de detenção hidráulica dos sistemas de lagoas (SCHELLINKHOUT & COLLAZOS, 1991 apud MARÇAL JÚNIOR, 2001).

Segundo ALAERTS et al. (1990) apud OLIVA (1997), um reator UASB em Cali na Colômbia, com volume de 64 m³, foi operado durante o período de 1983 a 1987. Foi utilizado esgoto sanitário da cidade de Cali para alimentar o reator e, após a sua partida, a remoção da DQO foi de 72% e a remoção de SST de 70%, para tempo de detenção hidráulica de 5 horas.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), em 1984, desenvolveu estudos em reator anaeróbio de escala laboratorial à temperatura média de 35°C, com remoção média de 65% de DQO. Em Florianópolis-SC, a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) operou um reator durante 9 meses com remoção de DQO em torno de 79% e tempo de detenção hidráulica de 4 horas (BARBOSA et al., 1987 apud MARÇAL JUNIOR, 2001)

BARBOSA e SANTANA (1989) apud MARÇAL JÚNIOR (2001) operaram um reator UASB tratando esgotos sanitários proveniente de uma área residencial com capacidade de 120L, tempo de detenção hidráulica de 4 horas e temperatura variando entre 19°C e 28°C. Foi operado sem inoculação por 9 meses. Nos primeiros 4 meses o reator apresentou remoção de DQO de 57% e nos últimos 5 meses remoção de DQO de 74%.

Em 1989 foi iniciada a operação de reator UASB do Bairro do Pedregal, Campina Grande, com capacidade de 160 m³, tratando esgoto sanitário. O reator foi operado sem inóculo, a remoção de DQO nas primeiras 10 semanas foi entre 30-40% de afluente bruto e afluente sedimentado, atingindo 75-85% de eficiência após 20-30 semanas de operação (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994 apud MARÇAL JÚNIOR, 2001).

Em abril de 1989 foi construído um reator UASB de 1200 m³ para tratar parte dos esgotos sanitários da cidade de Kampur. O tempo de detenção hidráulica era de 6 horas, a capacidade do reator de aproximadamente 5000 m³/d. Durante o período de 12 meses a remoção média de DQO foi 74% e de SST de 75% (ALAERTS et al., 1990 apud OLIVA, 1997).

Ainda segundo esses autores, em Bangdung na Indonésia, o Projeto de Pesquisa de Saneamento a Baixo Custo, proporcionou estudos com reatores UASB residenciais, somente para o tratamento de águas residuárias de compartimentos sanitários (água negra) e para águas residuárias domésticas em geral, que englobam sanitários, cozinha e outras utilizações domésticas (água cinza). Os volumes úteis eram de 800L para tratamento da água negra e 700L para tratamento da água cinza. No efluente da água negra os sólidos suspensos (SST) foram menores que 100 mg/L e no efluente de água cinza variaram de 10 a 200 mg/L devido às variações no carregamento hidráulico.

TORRES (1992) apud MARÇAL JÚNIOR (2001) estudou um reator UASB em escala de laboratório de 10,5 L, tratando esgoto sanitário. O reator foi inoculado inicialmente com lodo de esgoto em digestão de biodigestor da ETE-Barueri e depois inoculado com lodo granulado proveniente de biodigestor industrial. Com esse último lodo atingiu eficiência média máxima de 73% na remoção de DQO, com tempo de detenção de 9 horas. Com inóculo de lodo em digestão o valor máximo de remoção de DQO foi de 68%, com tempo de detenção de 12 horas.

Segundo BARIJAN (1995) apud MARÇAL JÚNIOR (2001), no município de Sumaré, foi utilizado um reator UASB para o projeto piloto coordenado pela CETESB para tratar o esgoto sanitário do loteamento Jardim Santa Maria. Foi obtida uma eficiência de remoção de DQO de 72% e de DBOs de 81%, porém foi ineficiente na remoção de nutrientes (N e P). Um reator UASB estudado por OLIVA (1997) alcançou eficiência de 78% para remoção de DQO, porém houve um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal do efluente e uma remoção mínima de fósforo.

A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) possui um número considerável de reatores anaeróbios instalados, tratando esgoto sanitário. Segundo VIEIRA (1994) apud SOUSA (1996), a SANEPAR, além de novos reatores projetados e instalados (100 a 200 m³) com tempo de detenção hidráulica de 8 horas, mantém cerca de 105 reatores anaeróbios com volumes de 30 a 100 m³ em núcleos habitacionais, dos quais 88 estão localizados em Curitiba. A SANEPAR mantém instalado ainda, um sistema com volume de 16.000 m³ para atender uma população de 115 mil habitantes.

Cada vez mais este tipo de tratamento vem sendo utilizado, sendo uma forma moderna e avançada de se tratar efluentes tanto domésticos quanto industriais, o

processo é de fácil monitoramento e alcança um rendimento na redução da taxa de poluentes muito bem aceitável o que leva o Sistema UASB ao patamar de um sistema avançado e de futuro assim como as Redes Neurais Artificiais que podem ser utilizadas para auxiliar no monitoramento e previsão da eficiência do sistema.

2.4 Redes Neurais Artificiais

2.4.1 Inteligência artificial

A inteligência artificial é, em termos singelos, uma maneira de se fazer o computador pensar inteligentemente, isto é, que ele execute um programa pensante ou inteligente (TAFNER et al., 1996).

Os programas comuns de computador só podem fornecer respostas aos problemas para os quais estão especificamente programados. Quando necessitam de modificações para agregar novas informações outras partes podem ser afetadas de maneira desfavorável, necessitando alterações, muitas das vezes, significativas.

Os programas com inteligência artificial, à semelhança da mente humana, podem incorporar novos conhecimentos sem desestruturar os fatos armazenados anteriormente (TAFNER et al., 1996).

2.4.2 Redes neurais

O cérebro humano é considerado o mais fascinante processador baseado em carbono existente, sendo composto por aproximadamente 10 bilhões neurônios. Todas as funções e movimentos do organismo estão relacionados ao funcionamento destas pequenas células. Os neurônios estão conectados uns aos outros através de sinapses, e juntos formam uma grande rede, chamada REDE NEURAL. As sinapses transmitem estímulos através de diferentes concentrações de Na^+ (Sódio) e K^+ (Potássio), e o resultado disto pode ser estendido por todo o corpo humano. Esta grande rede proporciona uma fabulosa capacidade de processamento e armazenamento de informação (TAFNER et. al., 1996).

O sistema nervoso é formado por um conjunto extremamente complexo de neurônios. Nos neurônios a comunicação é realizada através de impulsos, quando um impulso é recebido, o neurônio o processa, e passado um limite de ação, dispara

um segundo impulso que produz uma substância neurotransmissora a qual flui do corpo celular para o axônio (que por sua vez pode ou não estar conectado a um dendrito de outra célula). O neurônio que transmite o pulso pode controlar a frequência de pulsos aumentando ou diminuindo a polaridade na membrana pós sináptica. Eles têm um papel essencial na determinação do funcionamento, comportamento e do raciocínio do ser humano. Ao contrário das redes neurais artificiais, redes neurais naturais não transmitem sinais negativos, sua ativação é medida pela frequência com que emite pulsos, frequência esta de pulsos contínuos e positivos. As redes naturais não são uniformes como as redes artificiais, e apresentam uniformidade apenas em alguns pontos do organismo. Seus pulsos não são síncronos ou assíncronos, devido ao fato de não serem contínuos, o que a difere de redes artificiais. A figura 2.3 esquematiza um neurônio natural.

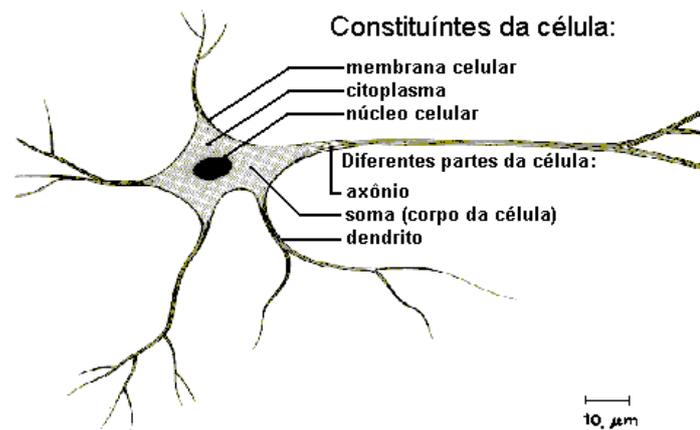


Figura 2.3 - Esquema dos constituintes da célula neural

Fonte: TAFNER, 1996

Os principais componentes dos neurônios são:

- os dendritos, que tem por função, receber os estímulos transmitidos pelos outros neurônios;
- o corpo de neurônio, também chamado de somma, que é responsável por coletar e combinar informações vindas de outros neurônios;
- e finalmente o axônio, que é constituído de uma fibra tubular que pode alcançar até alguns metros, e é responsável por transmitir os estímulos para outras células.

2.4.3 Redes Neurais Artificiais

De acordo com GONÇALVES (1995), as redes neurais artificiais são formadas de centenas ou milhares de neurônios simulados que estão conectados do mesmo modo que os neurônios cerebrais e, portanto, são capazes de aprender de maneira semelhante às pessoas. As Redes Neurais artificiais usam um grupo altamente interconectado de neurônios que processam informação em paralelo.

Segundo o autor, atualmente é possível utilizar um simulador de redes neurais para testar as teorias de redes neurais ou para fazer aplicações. Um simulador de redes neurais é um programa (um conjunto de instruções computacionais) que cria um modelo de neurônios e as conexões entre eles, e depois treina este modelo. De uma forma geral, todas as redes neurais aprendem por associação.

Os neurônios, numa rede neural, são geralmente organizados em três camadas: a camada de entrada (input), a camada escondida ou intermediária e a saída (output). Raramente mais do que uma camada intermediária é usada.

A camada intermediária faz associação entre as entradas e saídas. Ela é chamada de camada intermediária porque não tem nenhuma conexão direta com o meio externo.

Há muitas maneiras diferentes em que as redes neurais podem aprender. O método de aprendizagem mais popular é por exemplo e repetição, também chamada retropropagação.

Toda vez que a rede fornece uma saída errada, o software faz as mudanças em suas conexões internas para que da próxima vez que receber as mesmas entradas, seja mais provável que produza uma resposta correta.

As conexões são ajustadas a fim de que as entradas sejam associadas mais fortemente com a saída correta e menos fortemente com a saída incorreta. Este treinamento é repetido para um conjunto de exemplos até que a rede aprenda as respostas corretas. Uma vez que a rede esteja treinada usando entradas e saídas pré-selecionadas, é possível colocá-la em funcionamento com novas informações de entrada (sem qualquer saída fornecida) e fazer com que ela então reconheça, generalize ou faça predição a respeito da resposta desejada.

2.4.4 Aplicações de Redes Neurais

Segundo GONÇALVES (1995), uma quantidade razoável de trabalhos tem sido feita com redes neurais. Alguns usos gerais das redes neurais incluem a previsão financeira, tomada de decisões em firmas, reconhecimentos de padrões, modelagem de comportamentos, controles mecânicos, reconhecimento de caráter e diagnóstico médico. São listadas a seguir algumas aplicações de redes neurais:

- A NASA está usando as redes neurais para ensinar robôs a pegar objetos colocados aleatoriamente;
- Uma rede neural da Pensilvânia, distingue detalhes estruturais de um determinado lugar e de uma espaçonave a determinada distância, com base em 10% apenas de sua descrição total;
- Uma empresa de Priston, desenvolveu uma rede neural, usando 300 neurônios, que conseguem ler, em voz alta, entradas de um texto escrito. A rede produz um código para os sons das palavras que podem ser traduzidas através da eletrônica;
- O reconhecimento da fala está sendo pesquisado na Finlândia. O sistema desenvolvido decide como os sons da fala japonesa e finlandesa deveriam ser traduzidos em combinações de letras;
- A força aérea americana está desenvolvendo um simulador de vôo, baseado em redes neurais, para treinar novos pilotos em terra;
- Num hospital na Carolina do Sul, redes neurais são essenciais no programa de melhoramento e tratamento médico;
- A divisão de sistemas espaciais usa uma rede neural para monitorar a abertura e o fechamento das válvulas na espaçonave Atlas;
- A Cia Ford de carros tem um sistema neural que lê dados de sensores de motores de automóveis e determina a provável causa de problemas existentes.

De acordo com GONÇALVES (1995), muitas outras aplicações de redes neurais estão sendo desenvolvidas, tais como: classificar retorno de sonares no mar, reconhecer falhas na escrita, prever a probabilidade de uma síndrome de mortalidade infantil, analisar aplicações de empréstimos, sugerir maneiras de melhor testar cervejas, prever aquecimentos solares, avaliar imóveis, diagnosticar falhas na linha de produção, reconhecer e classificar células cancerígenas, detectar a

presença e a localização de falhas em concretos, reconhecer e decodificar estruturas químicas, e dentre outras aplicações.

Mesmo com todos estes avanços, a tecnologia ainda se encontra em seu estágio inicial.

Pretende-se utilizar neste trabalho o programa BrainMaker, desenvolvido por California Scientific Software, para realizar correlações e previsões.

2.4.5 Um Relato Histórico

Segundo GONÇALVES (1995), a pesquisa de redes neurais teve seus primeiros resultados interessantes cerca de 45 anos atrás, quando McCulloch e Pitts mostraram que uma rede composta por neurônios com valores binários era capaz de realizar computações.

Em 1949, Donald Hebb, em seu livro Organização do Comportamento, propôs um mecanismo plausível biologicamente, pelo qual a aprendizagem poderia ocorrer. A maioria das redes de aprendizagem de origem moderna tem sua origem nas regras de Hebb ou em uma variação sobre a mesma.

De acordo com GONÇALVES (1995), a regra de Hebb é muito simples. Ela afirma que quando se quer que dois neurônios sejam ativados ao mesmo tempo, as conexões entre os dois neurônios devem ser fortalecidas. Variações modernas da regra de Hebb realizam avaliações para se assegurar de que os neurônios estão representando conceitos compatíveis e freqüentemente usam a matemática para decidir exatamente em quanto fortalecer as conexões. Portanto, a idéia básica desta regra continua a mesma.

Na década de 1950, a figura dominante na pesquisa de redes neurais, segundo o mesmo autor, foi Frank Rosenblatt. Ele inventou uma classe de redes chamadas de Perceptrons e escreveu extensivamente sobre seu potencial. O perceptron, formulado para se assemelhar a um modelo sensorial biológico, usava uma combinação de diferentes camadas de neurônios lineares e uma variação da regra de Hebb para aprendizagem.

Na década de 1960, continua o autor, Marvin Minsky e Seymour Papert fizeram um estudo aprofundado das capacidades e limitações do Perceptrons. Este estudo, culminando com o livro, lançado em 1969 - Perceptrons, concluiu que havia uma grande classe de problemas interessantes que nunca poderiam ser resolvidos

pela rede Perceptrons. Este livro quase parou a pesquisa sobre rede neural durante o fim da década de 70 e o início da década de 80, enquanto que a pesquisa de Inteligência Artificial baseada na regra de Papert e Minsky era fundamentada e conseqüentemente florescia.

No final da década de 60 e começo de 70, o processamento em série e o computador Von Neumann dominavam tanto a inteligência artificial quanto a psicologia. Alguns pesquisadores continuaram trabalhando nas redes neurais. Entre os mais conhecidos estão Stephen Grossberg, Geoffery Hinton, Teuvo Kohonem, Kunihiko Fukushima e J. A. Anderson. Seus esforços resultam nos maiores e fundamentais avanços da teoria de redes neurais.

Anderson e Kohonem simultaneamente desenvolveram um associador linear, em 1972, que usava neurônios, que poderiam ativar em freqüência variável, em resposta a sinais de entrada, mais do que faziam os Perceptrons, que simplesmente desligavam ou ligavam os neurônios.

Stephen Grossberg foi um dos primeiros a analisar algumas das propriedades da aprendizagem competitiva, em 1976. Sua análise matemática levou a muitos ensaios que logo vieram a ser apreciados através de simulações de computador. Ele identificou, em 1978, a relevância de mecanismos neurais inspirados em muitas áreas de percepção e memória, muito antes do campo estar pronto para estas idéias.

O trabalho de J.A. Anderson ajudou James McClelland e David Rumelhart a desenvolverem a teoria do Processamento Distribuído em Paralelo (PDP). Anderson, em 1973 e depois em 1977, insistiu na representação distribuída e mostrou a relevância de modelos neurais inspirados nas teorias de aprendizagem de conceitos.

Em 1982, John Hopfield publicou um trabalho a respeito de redes neurais. Este trabalho não apenas mostrou que as redes neurais são capazes de exibir um comportamento muito interessante, mas também forneceu alguns suportes matemáticos para a teoria. As duas idéias principais que ele descreveu neste e em outros trabalhos subseqüentes estavam adicionando não-linearidades, tais como retroalimentação para o sistema, e o conceito de energia global que caracteriza o estado do sistema. Os trabalhos de Hopfield estimulavam uma nova onda de pesquisa sobre redes neurais.

Além do trabalho dos pesquisadores de redes neurais, de acordo com GONÇALVES (1995), avanços na biologia, tais como pesquisa de visão de Marr e Poggio, ajudaram o desenvolvimento do tema.

Nos anos seguintes ao trabalho de Hopfield, houve vários modelos de rede importantes e regras de aprendizagem desenvolvidas que demonstravam capacidades interessantes.

2.4.6 Estrutura Básica e Operação das Redes Neurais

Segundo GONÇALVES (1995), há muitos tipos de redes neurais, mas todas elas têm três características em comum. A rede neural pode ser descrita quanto aos seus neurônios individuais, as conexões entre eles - topologia - e sua regra de aprendizagem. Juntos, estes três elementos constituem o modelo de rede neural.

Uma rede neural artificial construída com a tecnologia de hoje tem poucas conexões, se estas forem comparadas com o número de conexões no cérebro humano.

De acordo com o autor, a rede NECTOC, que converte um texto impresso em fala, tem cerca de 325 neurônios e 20.000 conexões. O cérebro humano tem cerca de 100 bilhões de neurônios e 10 milhões de conexões. Embora o reconhecimento do padrão ótico possa ser uma exceção, a maior parte dos problemas pode ser resolvida por uma rede neural artificial com menos de 500 neurônios e 30.000 conexões. É provável, complementa o autor, que o cérebro também tenha muitas redes neurais menores que resolvam parte dos problemas das redes de nível maior, que consegue juntar estas partes.

Uma rede neural é formada por camadas de neurônios, que são conectadas umas às outras. Alguns dos neurônios têm a função de se comunicar com o mundo externo. Há os neurônios de entrada, que recebem as informações e as envia para as camadas internas dos neurônios ou camadas escondidas e os neurônios de saída, que fornecem a resposta da rede. Todos os neurônios da camada interna são escondidos e é parte de um padrão abstrato interno muito grande.

2.4.7 Conexões e Neurônios

Uma rede neural é formada por diversos neurônios. O processamento em cada neurônio é relativamente simples, mas a complexidade reside na interação entre diversos neurônios. Conforme foi citado anteriormente, os neurônios são organizados em camadas. Cada neurônio de uma camada é conectado com todos os neurônios das camadas anteriores e posteriores e a cada uma dessas ligações é arbitrado um peso, além de haver um valor pré-arbitrado (*neuron threshold value*) para cada neurônio. Ao somatório dos pesos multiplicado pelo valores de entrada e do valor pré-arbitrado é associada uma equação de transferência, usualmente não linear.

Thirumalaiah (1998), em sua previsão contínua de níveis de água em estações pluviométricas, utilizou uma RNA que segue a configuração tradicional, com os nós das camadas escondidas e da camada de saída sendo alimentada por todos os nós das camadas anteriores. Cada uma dessas entradas é multiplicada por um peso diferente, acrescentando uma propensão (bias) e multiplicados por uma função não linear (função sigmóide de transferência). A representação matemática é dada pela equação:

$$y_j = \delta (\sum_j + \sum_i w_{ij} x_i)$$

onde:

y_j = saída transformada do nó j ;

δ = função sigmóide de transferência;

\sum_j = propensão do nó j ;

w_{ij} = peso da alimentação do nó i para j ;

x_i = alimentação do nó i .

Na rede utilizada por Zealand et al. (1999), para prever vazões em curto prazo, cada nó é conectado com todos os nós das camadas anteriores e posteriores e a cada uma dessas ligações é arbitrado um peso ou força de conexão, além de haver um valor pré-arbitrado (*bias*) para cada nó.

Ao somatório dos pesos multiplicados pelos valores de entrada e do valor pré-arbitrado é associada uma função não-linear. Em geral, essa função é uma função sigmóide que restringe a saída entre 0 e 1. Por exemplo:

$$OUT_j = 1 / (1 + \exp(-NET_j))$$

onde NETj é o somatório dos valores de entrada e seus pesos e ainda do valor pré-arbitrado. Sajikumar e Thandaveswara (1999) utilizaram em seu modelo chuva-vazão uma rede neural do tipo temporal, ou seja, dependente do tempo. Isso implica em que a conexão entre cada neurônio não é representada apenas por um peso, e sim por um arranjo de vários pesos, chamados de Resposta de Impulso Finito (FIR). A “FIR” tem um valor para cada tempo distinto, pois a rede neural é recorrente, ou seja, ela é realimentada por seus resultados. A cada neurônio está associada uma equação sigmóide (ou logística) que limita a saída de cada neurônio entre [0,1].

Os dados, tanto de entrada como de saída, devem ter seus valores transformados em uma nova escala no intervalo de 0 a 1. Não se deve aproximar os valores máximo e mínimo dos extremos por dois motivos:

- i) Deve-se ter uma folga para valores previstos maiores e menores que os extremos do aprendizado;
- ii) A função sigmóide tem uma convergência lenta para valores próximos a 0 e 1, criando-se uma região de ineficiência.

Assim sendo, mesmo para valores mínimos iguais e nunca menores que zero, deve-se usar um valor um pouco acima disso, por exemplo 0,05.

Segundo Luk et al. (2000), que usaram a técnica das RNA para prever precipitações, existe um grande número de RNA alternativas que podem ser utilizadas na previsão de chuvas. Estudos anteriores citados pelos autores mostraram que a *Multi-layer Feedforward Neural Network* (MLFN), que é a configuração básica de uma RNA, se corretamente desenvolvida, pode alcançar desempenhos comparáveis a redes mais elaboradas na previsão de chuvas. Neste estudo, portanto, esta rede foi empregada devido à sua simplicidade e eficiência computacional. Foi utilizada uma função de ativação sigmóide nas camadas escondidas, e uma função de ativação linear na camada de saída. O uso de uma função sigmóide forneceu uma característica não-linear à rede. Esta função, contudo, não é adequada para a camada de saída porque força uma saída limitada entre 0 e 1. Isto quer dizer que o valor máximo de chuva corresponde a 1 e é conhecido. Tal fato é indesejável na previsão de chuvas, já que o seu valor máximo não é conhecido realmente. A fim de contornar esta situação, os autores utilizaram uma função linear.

Carriere et al. (1996) utilizaram uma rede neural tempo-dependente ou rede neural espaço-temporal para prever hidrogramas. Os neurônios (ou elementos de

processamento – PE) funcionam com vários sinais de entrada e um de saída. Matematicamente as entradas (I) e os pesos dessas entradas (W) são considerados vetores. O sinal de entrada é o produto de entrada destes dois vetores, com resultado escalar. Os resultados podem ser positivos (excitatórios) ou negativos (inibitórios). Os resultados positivos ativam o elemento de processamento e os negativos evitam a ativação. A retropropagação recorrente foi utilizada porque a retropropagação comum não poderia ser utilizada por ser um processo altamente dependente do tempo. A retropropagação comum é um processo estático e não produz bons resultados em processos cuja dependência do tempo é fator primordial. Em processos tempo-dependentes todo ponto do processo é fator de pontos anteriores a ele, tanto quanto outros fatores no processo. Num algoritmo comum de retropropagação todo formato (*pattern*) do vetor de entrada é visitado, independentemente de outros formatos. Muitas vezes uma visitação aleatória dos formatos é sugerida apesar de em um processo tempo-dependente a ordem de entrada dos formatos é de grande importância. Numa rede neural espaço-temporal o processo de retroalimentação é fundamental para capturar a essência do processo. A determinação da(s) camada(s) de retroalimentação é uma questão dependente do problema. Neste caso, os autores definiram como camada de retroalimentação apenas a camada de entrada.

2.4.8 Número de Neurônios de Entrada

A escolha do número de neurônios na camada de entrada é um fator que exige experiência e sensibilidade da parte de quem está definindo a topologia da rede. É necessário que se analise com bom-senso as variáveis que possivelmente irão influenciar, ou que são relevantes na determinação dos dados de saída que se deseja obter. É interessante, por isso, realizar vários testes com diferentes configurações de redes já que é impossível saber, somente com uma tentativa, se a rede está extraindo os melhores resultados possíveis. Sajikumar e Thandaveswara (1999), em seu modelo chuva-vazão, utilizaram, na camada de entrada, apenas um valor de entrada de chuva. Este estudo, contudo, não testou sequer a possibilidade de utilizar mais dados de entrada. Shamseldin (1997), que também aplicou as RNA's em uma modelagem chuva-vazão, definiu como dado de entrada um índice que tenta interpretar os valores de precipitação, gerando, desta maneira, um erro logo na

entrada. Não há restrição nenhuma para que os dados de entrada sejam diretamente as várias precipitações, mas é interessante aproveitar ao máximo a ferramenta que está sendo utilizada, procurando dados de entrada alternativos, e não somente aqueles já empregados em modelos convencionais.

Luk et al (2000) testaram diversas configurações de redes, variando os dados de entrada tanto espacialmente quanto temporalmente, e posteriormente verificaram a configuração mais adequada para realizar a previsão. Nesse estudo, cujo objetivo é a previsão de precipitações, a camada de entrada é formada pelas chuvas atual e passada, isto é, $x(t)$, ..., $x(t-k+1)$, onde $x(t)$ representa o vetor de chuvas em M postos no tempo t . O valor de k também varia. O número de variáveis de entrada foi tratado pelos autores como uma variável, que é testada por sua acurácia na previsão das chuvas.

Zealand et al. (1999), em sua previsão de vazões de curto prazo, utilizaram os seguintes dados de entrada: precipitação total semanal, temperatura média semanal e vazão média mensal. Para previsão de uma semana, os dados utilizados foram as precipitações médias das sete semanas anteriores, as sete últimas médias de temperatura, as duas últimas vazões afluentes, a precipitação média da semana seguinte e a temperatura média da semana seguinte, totalizando 18 dados de entrada. Para 2, 3 e 4 semanas foram incluídos, ainda, os valores médios da precipitação e temperatura da semana, além do valor previsto para a semana anterior, totalizando 21, 24 e 27 dados de entrada, respectivamente. Numa análise de sensibilidade notaram que a quantidade de dados do experimento 1 era excessiva, reduzindo-se para 3 valores de precipitação, um de temperatura e quatro de vazão, para os quatro períodos pesquisados, totalizando 10 dados de entrada, todos eles de valores medidos, sem médias históricas. Pelos parâmetros de entrada, mostrou-se importante um bom conhecimento local e das corretas variáveis hidrológicas que podem influenciar o resultado final.

Uma conclusão interessante é que uma maior quantidade de dados de entrada não produz, necessariamente, melhores resultados e que a inclusão de dados irrelevantes ao processo pode prejudicar o desempenho da rede.

2.4.9 Número de Camadas Intermediárias

A flexibilidade das RNA vem do fato que o número de camadas escondidas ou até mesmo o número de nós em cada camada pode ser facilmente mudado. Esta flexibilidade permite a modelagem de sistemas complexos até mesmo quando há um conhecimento escasso sobre as relações entre as variáveis.

As RNA são formadas por várias camadas distintas mas, de acordo com Zealand et al. (1999), em geral são suficientes somente três, uma de entrada, uma de saída e uma intermediária (que por não ter contato direto com o exterior da rede é também chamada de escondida). Em seu trabalho, no qual foi realizada a previsão de vazões de curto prazo, foi utilizada uma única camada escondida, devido ao fato que testes iniciais demonstraram que o uso de duas camadas traria um ganho de desempenho da rede irrelevante e o tempo de processamento passaria, contudo, de 10 minutos para duas horas.

Em geral, o principal foco de um estudo fica nas camadas intermediárias. A maior parte dos estudos relacionados ao tema indica a predominância da utilização de uma camada intermediária.

Segundo Shamseldin (1997), o uso de mais de uma camada intermediária aumenta substancialmente o número de parâmetros a serem estimados. Conseqüentemente o processo de calibração fica mais lento, embora não se obtenha um aumento significativo na eficiência do modelo. Assim sendo, a adoção de apenas uma camada escondida é a prática mais comum. Apesar das evidências, o emprego de mais camadas intermediárias não pode ser descartado antes de uma análise prévia da situação que se deseja prever.

Sajikumar e Thandaveswara (1999) também realizaram testes com 1, 2 e 3 camadas escondidas e chegaram às mesmas conclusões, pois o tempo de processamento aumentou drasticamente e a performance não teve aumento significativo.

A determinação da topologia da rede a ser utilizada – o número de camadas, o número de unidades em cada camada, etc. – é normalmente realizada de forma empírica. A definição da configuração de redes neurais é ainda considerada uma arte, que requer grande experiência dos projetistas.

2.4.10 Número de Neurônios na Camada Intermediária

Como visto no item anterior, em geral, nos artigos estudados, é usada apenas uma camada intermediária. O passo seguinte é analisar o número de neurônios utilizados nessa única camada intermediária.

Carriere et. al. (1996) optaram em seu modelo por utilizar 35 neurônios na camada escondida, numa arquitetura 7-35-1 (7 neurônios de entrada, 35 na camada intermediária e 1 neurônio de saída). Os autores entenderam que se uma rede com menos neurônios na camada escondida resultasse num modelo mais preciso, a própria rede se encarregaria de anular (peso zero) esses neurônios.

Esse número foi escolhido através de uma rápida análise preliminar, sem maiores detalhes.

Shamseldin (1997) destaca que a definição do número de neurônios na camada intermediária é um importante passo no processo e um número de neurônios subestimados leva a uma performance deteriorada, e no caso da subestimação os dados de calibração podem se tornar insuficientes para uma boa modelagem, além de elevar o tempo de processamento. Justificando análises preliminares, o autor impôs um número de 2 neurônios, com os dados de entrada variando de um a cinco. Pelos resultados apresentados, esse parece ser um número baixo de neurônios, pois os resultados indicam que a rede se moldou bem aos dados de calibragem, mas o resultado de previsão não foi satisfatório.

A opção por apenas dois neurônios na camada escondida também foi feita por Thirumalaiah e Deo (1998) na aplicação em um método de previsão contínua de níveis de água em estações fluviométricas. Nesse caso, rede neural utilizada possuía apenas um dado de entrada e dois de saída.

Os autores fizeram uma comparação com três neurônios na camada intermediária, com resultados compatíveis. O tempo de processamento foi mais influenciado pelo algoritmo de treinamento que pelo número de neurônios.

A rede neural utilizada por Zealand et. al. (1999) é a que teve uma análise mais detalhada do número de neurônios na camada intermediária. O emprego da RNA foi feito com auxílio de um *software* próprio para redes neurais com maior flexibilidade. Foram estudadas diversas possibilidades de número de neurônios, com os mesmos dados de entrada na fase de treinamento, escolhendo a que obtive a melhor performance. As redes escolhidas foram 18-17-1, 21-9-1, 24- 24-1, 27-18-1,

10-17-1, 10-5-1, 10-7-1 e 10-16-1. O que se pode notar é que não há um parâmetro ou regra aparente nos resultados. Há bons resultados com redes, com menos da metade do número de neurônios na camada intermediária, em relação aos dados de entrada, bem como com mais de 70% a mais de neurônios na camada intermediária, novamente em relação aos dados de entrada. Ou seja, o melhor resultado em cada caso, depende de quais são os dados de entrada, não sendo dependente de quantos ou quais são.

Sajikumar e Thandaveswara (1999) ajustaram a um modelo chuva-vazão uma rede com um dado de entrada (chuva) e um de saída (vazão). Testando-se várias arquiteturas, na camada intermediária, concluíram que o número ideal é de 5 a 7 neurônios, o que permitiu obter resultados semelhantes. Os autores optaram por uma arquitetura 1-5-1 devido ao tempo de processamento.

De um modo geral, pelos artigos estudados, percebe-se que não há um consenso e definição exata quanto ao número de neurônios na camada intermediária. Em alguns estudos, o número é bastante variável, refletindo a dependência aos dados de entrada. O principal cuidado a se tomar é evitar a pré-definição deste valor, pois isso pode gerar um erro considerável. O ideal é que sejam usadas várias arquiteturas e defina-se qual se molda melhor ao estudo em questão. Mesmo assim, de uma forma geral, o número de neurônios na camada intermediária tem a tendência de fornecer melhores resultados com um número equivalente de dados de entrada e de saída, havendo numerosas exceções. O tempo de processamento tem uma de suas dependências na definição de número de neurônios na camada intermediária e em alguns casos esse tempo pode ser decisivo.

2.4.11 Treinamento

Uma fase importantíssima no uso da técnica de redes neurais artificiais é o treinamento da rede. Nessa fase os dados de treinamento são mostrados a rede e conforme o erro apresentado, os pesos são corrigidos na intenção de minimizar esse erro. Basicamente o objetivo do treinamento é a diminuição do erro global.

A forma e o critério de correção dessa fase de minimização do erro é um dos fatores decisivos à correta modelagem.

Os dados que serão mostrados à rede devem ser criteriosamente escolhidos, pois a rede deve ter os dados a serem moldados exibidos a ela. Uma rede neural é capaz de generalizações, não de deduções ou adivinhações.

A retropropagação recorrente foi utilizada por Carriere et. al. (1996) com a justificativa de que a retropropagação comum não poderia ser utilizada pelo fato do objeto de estudo ser um processo altamente dependente do tempo. A retropropagação comum é um processo estático e não produz bons resultados em processos cuja dependência do tempo é fator primordial. Em processos tempo-dependentes, todo ponto do processo é fator de pontos anteriores a ele tanto quanto outros fatores no processo. Num algoritmo comum de retropropagação todo formato do vetor de entrada é visitado, independentemente de outros formatos. Muitas vezes, uma visitação aleatória dos formatos é sugerida, apesar de, em um processo tempo-dependente, a ordem de entrada dos formatos serem de grande importância. Ainda segundo Carriere et. al. (1996), numa rede neural espaço-temporal o processo de retroalimentação é fundamental para capturar a essência do processo e a determinação da(s) camada(s) de retroalimentação é um assunto dependente do problema.

No treinamento (ou calibração) da Rede Neural de Shamseldin (1997), foi utilizado o algoritmo de Retropropagação. A função otimizada foi a soma dos erros quadráticos da saída estimada da rede. O gradiente descendente foi estimado através da derivada de primeira ordem na função. O algoritmo utilizado foi o de gradiente conjugado, em que uma parte dos parâmetros são fixados e a busca da maximização é nos restantes. O autor usa, em média, 72 meses de dados numa rede com a estrutura 1-2-1.

Thirumalaiah e Deo (1998) utilizaram três diferentes algoritmos: retropropagação do erro, gradiente conjugado e correlação em cascata.

No Algoritmo de Retropropagação do Erro de Thirumalaiah e Deo (1998) cada peso é inicialmente estipulado entre $-0,5$ e $0,5$. A diferença entre o valor esperado e o calculado em cada nó é o gradiente de erro. Os pesos são corrigidos pela maximização da equação $X_{k+1} = X_k - n g (X_{k+1} - 1)$, onde X é o Vetor dos pesos, n é o passo de correção e g o vetor gradiente, função do erro médio global (de todos valores de treinamento). Esta etapa é repetida em interações até que se atinja um mínimo de erro médio quadrático da equação.

O segundo algoritmo utilizado por Thirumalaiah e Deo (1998) é o Algoritmo de Gradiente Conjugado. Ele difere da retropropagação do erro pelo cálculo dos gradientes e conseqüente correção dos pesos e propensões. Inicialmente são definidos aleatoriamente os pesos de cada ligação e então calculado o vetor gradiente de erro (g_0) que define a direção de cálculo ($d_0 = -g_0$).

Para cada interação é determinada uma constante δ_k que minimiza a função $f(X_k + \delta_k \cdot dk)$. Assim procedido, tem-se $X_{k+1} = X_k + \delta_k \cdot dk$. O novo erro é calculado, sendo aceitável param-se as integrações, caso contrário uma nova direção de cálculo é definida através de novo gradiente de erro.

O terceiro e último algoritmo usado por Thirumalaiah e Deo (1998) é o Algoritmo de Correlação em Cascata. Enquanto no esquema de retropropagação todos os pesos são mudados simultaneamente para cada padrão de treino, na correlação em cascata apenas uma camada é modificada. A forma da rede neural não é predefinida, iniciando-se com zero nós na camada escondida, incluindo-se um a um até que seja atingido o critério. Não são envolvidos gradientes de erro e sim maximização do efeito (correlação) no erro residual. O erro residual é dado pela soma do módulo de todos os nós de saída, resultante da soma de todas os conjuntos de treinamento. Essa soma é feita pela diferença entre o valor de cada nó escondido e a média de todos os erros, multiplicado pelo erro residual observado em cada nó durante o treinamento e a média de todos os erros residuais.

Thirumalaiah e Deo (1998) perceberam que o Algoritmo de Retropropagação do Erro levava cerca de 300 vezes mais tempo para atingir um resultado satisfatório que os outros dois algoritmos.

O Algoritmo de Correlação em Cascata definia a forma da rede e ainda assim foi o mais rápido dos três, apesar de levar a uma arquitetura mais simples. Ainda assim os autores concluíram que um maior tempo de processamento não significa melhores resultados. Os autores usaram 800 dados diários numa rede com arquitetura 1-3-2 e 1-2-2. Ainda assim, os próprios autores reconhecem que os dados para vazões altas não são satisfatórios, principalmente porque os dados fornecidos (como em grande parte dos rios) concentram-se nos valores de pequena vazão.

A rede neural utilizada por Zealand et. al. (1999) foi treinada (calibrada) para produzir as saídas desejadas através das entradas conhecidas. Os dados de treinamento devem representar com precisão o domínio do problema. Em geral,

80% das RNA utilizam-se de algoritmos de retropropagação para seu treinamento. Mais detalhes deste algoritmo são encontrados em Rumelhart et al. (1987) (citado por Zealand et. al. - 1999); seu funcionamento básico é feito através da comparação dos pesos existentes e dos desejáveis, fazendo um ajuste através do erro médio quadrático. Nesta pesquisa foi utilizado um *software* comercial para implementação da RNA, o *Braincel*, da *Promised Land Technologies*, de 1993.

O estudo de Sajikumar e Thandaveswara (1999) investiga a interferência que uma escassez de dados pode ter numa previsão. A rede utilizada é de arquitetura 1-5-1 e conclui que o resultado do treinamento com menos de 48 dados não é satisfatório, gerando bastante erros. Outra conclusão é que o resultado de 48 dados não difere muito daquele com três vezes mais dados.

Luk et. al.(2000) utilizaram o usual algoritmo de retropropagação. No entanto, eles sofisticaram um pouco o método introduzindo um *early stopping technique* - (técnica de parada antecipada). Essencialmente esta técnica monitora o progresso do treinamento da rede utilizando um segundo conjunto de dados, chamados de dados de monitoramento. Eles são utilizados para checar o progresso da rede para definir a época na qual o treinamento deverá ser interrompido. O treinamento é interrompido quando o erro nos dados do monitoramento alcança um valor mínimo.

Neste ponto, a rede alcançou a melhor generalização. Se o treinamento ultrapassa este ponto, a rede ativa mais pesos do que o necessário e passa a acrescentar ruídos aos dados de treinamento.

Conseqüentemente, ocorre uma diminuição do erro nos dados de treinamento e um aumento do erro nos dados de monitoramento. Além disso, o tempo de processamento pode ser diminuído. Os autores mostraram 34 eventos diferentes de chuva, com dados de 15 em 15 minutos. A intenção era previsão de chuvas médias. Como citado por Zealand et. al. (1999) 80% das RNA utilizam-se de algoritmos de retropropagação para seu treinamento. Pelos exemplos pesquisados, esse algoritmo pode onerar o processamento dos dados. Outras técnicas podem ser empregadas para substituir esse algoritmo ou mesmo para incrementá-lo. Com a atual oferta de velocidade e modos de processamento, a definição de uma técnica de processamento pode ainda ser decisiva no uso de um sistema de redes neurais.

No tocante à quantidade de dados, o ideal é que sejam mostrados à rede os eventos com exemplos de todos os valores que se pretende prever ou modelar. A precisão dos resultados pode ser visualizada durante a própria calibragem, mas

deve-se tomar cuidado para que a gama de opções seja tal, que os pesos possam ser gerais, não apenas moldados aos dados apresentados. Como recomendação geral, os dados não devem ser desprezados ou desperdiçados.

2.4.12 O *Brain Maker*

Uma rede neural, de uma forma geral, aprende por associações, isto é, quando a rede recebe uma entrada A ou algo parecido com A, ela responde com uma saída B, ou alguma coisa parecida com B. Os pares de entrada-saída são denominados "facts" (fato). A saída de um fato é um treinamento padrão.

O tipo específico de rede neural que o BrainMaker utiliza é denominada de Rede de Retropropagação. Ela aprende da mesma forma que as pessoas, com exemplos e repetições. Esta rede não é programada com regras, mas possui um sistema de inteligência artificial. É treinada pela introdução de um conjunto de fatos repetidamente, na rede. A cada instante uma entrada é apresentada, a rede envia uma resposta que ela estima será a saída. A parte de treinamento padrão do fato é utilizada para determinar se a rede está correta ou errada. Quando a rede está errada, ela faz correções internamente. O BrainMaker passa por toda a lista de fatos, introduzindo cada fato uma vez, e tornando a fazer as correções necessárias. Quando toda a lista de fatos já foi introduzida, o BrainMaker começa a construir sobre a lista. Este processo é repetido até que a rede obtenha todos os fatos corretos.

Os neurônios da rede neural do BrainMaker são organizados na forma de camadas de neurônios. Um modelo de rede neural pode ser visto conforme a Figura 2.4.

O programa BrainMaker apresenta junto com ele um outro programa auxiliar denominado NetMaker. O BrainMaker e o NetMaker formam um sistema capaz de planejar, construir, treinar, testar e processar Redes Neurais. O NetMaker auxilia a adaptação dos dados para os arquivos de redes neurais. O BrainMaker usa estes arquivos para definir, testar e processar Redes Neurais.

Os limites do BrainMaker profissional são definidos pelo número de neurônios por camadas (8192), pelas conexões por camadas (memória disponível), pelo número de camadas (8 camadas), pelos caracteres na linha de entrada (4096) e pelo número máximo de colunas (4096).

Os dados de saída do BrainMaker podem se apresentar na forma de "termômetro" (pequenos gráficos de barra) ou numérica. Os termômetros não são exatos, mostrando apenas oito valores diferentes, não podendo assumir valores negativos, mas sua principal vantagem é a possibilidade de visualização durante o treinamento da rede e a rapidez.

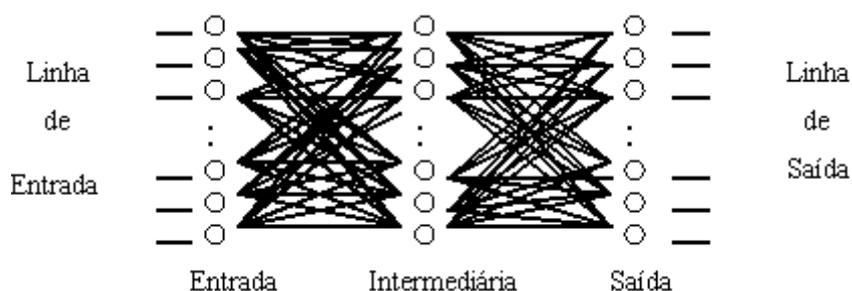


Figura 2.4 - Modelo de Rede Neural

Os dados são introduzidos nos neurônios de entrada, que enviam a informação para a camada intermediária. Cada neurônio da camada intermediária conecta com todos os neurônios de entrada. Os neurônios intermediários enviam seus resultados para os neurônios de saída. Cada neurônio de saída está conectado com cada neurônio intermediário. Quando se vê a saída de uma rede, o que se está vendo é a informação da camada de saída da rede.

Um neurônio é geralmente um dispositivo simples. O neurônio recebe muitos sinais de entrada. Cada linha de entrada para o neurônio tem um peso de conexão. Se este peso é 1, o sinal de entrada é usado pelo neurônio exatamente como ele foi recebido. Se o peso for $1/2$, o sinal de entrada será multiplicado por $1/2$ e, então utilizado pelo neurônio. Novamente, este sinal fará o neurônio disparar, mas com outro sinal. Se o peso de conexão for -2 , o sinal de entrada é dobrado e, então usado pelo neurônio. Mas, por causa do sinal negativo, o neurônio será inibido para disparar. Quando uma rede é informada que provavelmente está errada, durante o treinamento, ela muda seus pesos de conexão e, então ela verá qual entrada terá mais probabilidade de obter a resposta certa.

2.4.13 A Função Sigmoid

A função de transferência é aplicada para cada valor de neurônio de ativação, para gerar cada neurônio de saída. O BrainMaker trabalha com diferentes espécies de funções de transferência para neurônios. Os tipos de funções que ele suporta são as funções Linear, Linear *Thereshold*, *Step*, Sigmoid e Gaussiana. Contudo, a função *default* do BrainMaker é a Sigmoid, ou uma função semi-linear, com um *gain* de valor 1.

Alterações na função de transferência é sempre uma má idéia. O *default* do BrainMaker é sempre a melhor escolha, de acordo com GONÇALVES (1995), a não ser que se tenha uma boa razão para fazer outra escolha.

Uma função de pertinência sigmoide, também denominada função *S-shaped*, ou função achatada, é aquela cujo *output* é contínuo, sendo função monotônica no *input*. As funções e suas derivadas são contínuas em seu todo. Aproxima-se assintoticamente de valores pequenos e grandes (*low* e *high*). O centro é o valor do *input*, cujo *output* é dado por $(low + high)/2$. O crescimento é diretamente proporcional à derivada da função no ponto central. Por ser função linear e não-linear, e continuamente diferenciável, ela possui muitas propriedades desejáveis quando usada para a construção de redes neurais.

O algoritmo da função de retropropagação, em particular, é o motivo pelo qual ela é recomendada para ser usada no BrainMaker, pois as redes se saem bem com estas funções. Ao se observar o seu gráfico, pode-se perceber que, para um crescimento do limite superior ($gain \gg 1$), a função sigmoide torna-se quase uma função Step. Quando de seu crescimento do limite inferior ($gain \ll 1$, mas > 0), ela se aproxima de uma função linear. Considera-se que um crescimento de uma unidade é geralmente uma boa escolha.

3 METODOLOGIA

O ser humano valendo-se de suas capacidades, procura conhecer o mundo que o rodeia. Ao longo dos séculos, vem desenvolvendo sistemas mais ou menos elaborados que lhe permitem conhecer a natureza das coisas e o comportamento das pessoas.

Pode-se definir pesquisa como "o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico" (GIL, 1999). O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos.

A partir dessa conceituação, pode-se, portanto, definir pesquisa social como o processo que, utilizando a metodologia científica, permite a obtenção de novos conhecimentos no campo da realidade social.

A pesquisa social pode decorrer de razões de ordem intelectual, quando baseada no desejo de conhecer pela simples satisfação para agir, razão pela qual se pode falar em pesquisa pura e em pesquisa aplicada.

A pesquisa pura busca o progresso da ciência, procura desenvolver os conhecimentos científicos sem a preocupação direta com suas aplicações e conseqüências práticas. Seu desenvolvimento tende a ser bastante formalizada e objetiva à generalização, com vista na construção de teorias e leis.

A pesquisa aplicada, por sua vez, apresenta muitos pontos de contato com a pesquisa pura, pois depende de suas descobertas e se enriquece com o seu desenvolvimento, todavia, tem como característica fundamental o interesse na aplicação, na utilização e conseqüências práticas do conhecimento.

A pesquisa social pode se enquadrar também em vários níveis, entre eles pode-se citar:

- Pesquisa Exploratória - tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias, tendo em vista, a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.
- Pesquisa Descritiva - tem como objetivo primordial à descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, com técnicas padronizadas de coleta de dados.

- Pesquisa Explicativa - são aquelas que tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, por que explica a razão, o porquê das coisas. Por isso mesmo é o tipo mais complexo e delicado, já que o risco de cometer erros aumenta consideravelmente.

Outra divisão da pesquisa é sobre o tipo de dados a serem analisados, aí podemos dividi-la em quantitativa, quando possuir dados mensuráveis palpáveis, ou qualitativa, quando outros aspectos não mensuráveis são analisados.

Quanto ao delineamento da pesquisa há certa diversidade, uma vez que geralmente, a solução dos problemas de pesquisa ocorre mediante o teste das hipóteses. Considerando que há muitas possibilidades de testar hipóteses, surge grande variedade de delineamento próprio, peculiar, determinado pelo objetivo da investigação, pela dificuldade na obtenção dos dados, pelo nível de precisão exigido e pelos recursos materiais de que dispõe o pesquisador.

Alguns delineamentos são:

- Pesquisa Bibliográfica - é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.
- Pesquisa Documental - assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica. A única diferença entre ambas está na diferença das fontes. Enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições dos diversos autores sobre determinado assunto, a pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa.
- Pesquisa Experimental - Consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.
- Pesquisa ex-post-facto - é uma investigação sistemática e empírica na qual o pesquisador não tem controle direto sobre as variáveis independentes, porque já ocorreram suas manifestações ou porque são intrinsecamente não manipuláveis.
- Levantamentos (Surveys) - caracterizam-se pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer. Basicamente, procede-se à solicitação de informações a um grupo significativo de pessoas acerca do problema

estudado para em seguida, mediante análise quantitativa, obter as conclusões correspondentes dos dados coletados.

- Estudo de Campo - apresentam muitas semelhanças com os levantamentos. Distinguem-se destes, porém, em relação principalmente a dois aspectos. Primeiramente, os levantamentos procuram ser representativos de um universo definido e fornecer resultados caracterizados pela precisão estatística. Já os estudos de campo procuram muito mais aprofundamento das questões propostas do que a distribuição das características da população segundo determinadas variáveis. Outra distribuição é a de que no estudo de campo estuda-se um único grupo ou comunidade em termos de sua estrutura social, ou seja, resultando a interação de seus componentes.
- Estudo de Caso - é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetivos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado.

A Metodologia de Pesquisa utilizada nesta dissertação enquadra-se no nível das pesquisas exploratórias, quantitativas, sendo seu delineamento o de um estudo de caso.

3.1 Procedimentos Utilizados

Inicialmente foram analisados e classificados os dados já existentes e coletados diretamente pela empresa, os critérios utilizados foram o fato de o parâmetro conter referências de entrada e saída do Sistema UASB e posteriormente classificou-os em atendendo ou não a legislação específica.

Os dados utilizados foram obtidos mediante análises físico-químicas dos efluentes e afluentes ao reator UASB, utilizando a metodologia descrita nos Standard Methods (APHA-WEF, 1995).

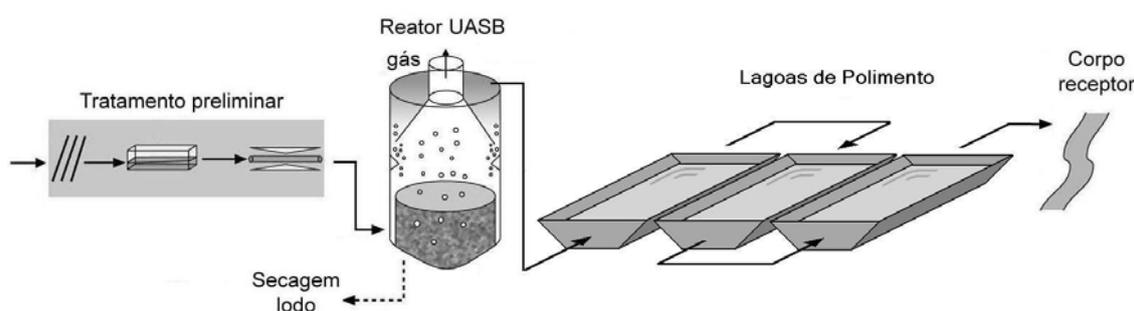
Os parâmetros então foram formatados para proceder ao treinamento de uma Rede Neural Artificial (RNA), onde se pode ter uma visão geral do funcionamento do Sistema UASB com os dados reais de funcionamento.

Para se avaliar a RNA três listagens de dados aleatórios foram criadas, todas baseadas nos dados pré-existentes a fim de se prever dentro da realidade do sistema o seu funcionamento, cada listagem foi aplicada individualmente sobre a rede treinada a fim de avaliá-la.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Unidade Frigorífica de suínos avaliada possui uma capacidade para abater 1.200 suínos/dia, com oscilações entre 600 e 1.600 suínos o que causa uma grande variação na carga de efluente para a Estação de Tratamento, muitas vezes sobrecarregando o sistema.

O sistema de tratamento consiste em três estágios: Primário (Tratamento Preliminar – Grade, Caixa de Gordura, Medidor de Vazão), Secundário (Reator UASB) e Terciário (Lagoas de Polimento), conforme mostrado na Figura 4.1:



Fonte: Von Sperling, 1996

Figura 4.1 – Modelo da ETE do Frigorífico

Conforme é observada na Figura 4.1, os resíduos da limpeza da indústria, contendo grande quantidade de material sólido dissolvido ou não é encaminhado para o sistema preliminar, onde a passar por uma peneira do tipo hidrodinâmica, os sólidos são recolhidos e encaminhados para Fábrica de Ração; o líquido contendo ainda grande quantidade de gordura passa por uma caixa de gordura com injeção de ar dissolvido e recolhimento de material flotado (gorduras) por raspadores automáticos. O efluente é encaminhado para um equalizador, onde é bombeado para a entrada (na parte inferior) do Reator UASB, onde as reações bioquímicas ocorrem (conforme descrito no item 2.3.2).

O efluente líquido do reator passa então por uma série de lagoas de estabilização em seqüência, utilizadas como tratamento terciário e polimento do efluente, o qual possui dois destinos: parcialmente é reciclado para a estação de tratamento de águas como forma de reciclo e o restante é liberado em corpo receptor.

A indústria possui um laboratório de análise de alimentos e implantou um setor para o acompanhamento dos parâmetros físico-químicos necessários para o

monitoramento do sistema de tratamento de efluentes, pois está implantando Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), e este prevê atenção prioritária ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA) da Empresa.

Periodicamente são recolhidas amostras do efluente bruto (sem qualquer tipo de tratamento), do efluente antes e após a unidade de Flotação, da mesma forma antes e após o reator UASB, para que possa ser realizado o monitoramento do funcionamento da ETE o qual deverá estar em conformidade com a legislação pertinente.

Os pontos de coleta de efluentes foram Anteriores (Entrada) e Posteriores (Saída) ao Reator UASB.

4.1 Organização dos Dados

Para o monitoramento da ETE a empresa gera planilhas de acompanhamento, de forma que cada parâmetro possui uma programação própria, por exemplo, dados de vazão, temperatura e pH são registrados diariamente, dados de DQO são semanais, etc.

Para o trabalho foram selecionados os dados de monitoramento da unidade frigorífica, sendo os mesmos organizados e classificados, sendo dada prioridade aos dados referentes ao sistema UASB, os dados selecionados referenciam-se à obtenção do conjunto de dados completo, ou seja, os dados de monitoramento em instantes instáveis foram ignorados. Dessa forma os dados resultantes foram os contidos no Quadro 4.1, onde os dados de Fosfato, Oxigênio Dissolvido, Nitrato, DQO e Sólidos Sedimentáveis encontram-se em mg/L; a Temperatura em °C; a Vazão em m³/h e o pH em unidade de pH.

DADOS	FOSFATO	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	NITRATO	DQO ENTRADA	DQO SAÍDA	SÓLIDOS SED. ENTRADA	SÓLIDOS SED. SAÍDA	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SAÍDA	VAZÃO SAÍDA	pH ENTRADA	pH SAÍDA
1	42,20	8,70	2,01	1466,00	412,00	1,00	0,30	32,00	30,60	14,00	6,62	7,07
2	41,70	10,70	2,10	1167,00	284,00	1,30	0,20	31,90	30,60	8,00	6,87	7,02
3	43,40	12,40	2,83	730,00	353,00	0,90	0,40	31,90	31,00	16,00	6,98	7,53
4	43,10	11,00	2,10	1446,00	339,00	1,30	0,50	32,40	31,30	16,00	6,97	7,49
5	43,40	7,20	1,30	1343,00	284,00	1,00	0,40	31,20	29,60	16,00	6,57	6,90
6	43,90	6,00	2,48	1557,00	427,00	1,20	0,50	32,00	30,60	16,00	6,42	6,98
7	43,80	12,50	0,35	1105,00	382,00	0,80	0,50	31,20	29,00	16,00	6,32	6,98
8	42,70	8,90	2,30	1234,00	325,00	1,90	0,60	31,00	28,70	16,00	6,36	6,87
9	41,70	9,70	2,68	613,00	258,00	0,90	0,40	28,60	27,40	20,00	7,08	7,25
10	42,60	6,20	1,72	1657,00	613,00	1,30	0,70	28,90	26,10	20,20	6,85	7,37
11	41,70	8,10	1,94	1423,00	631,00	1,30	0,50	25,30	24,60	16,00	9,84	7,03
12	43,60	6,90	0,21	1269,00	613,00	1,50	0,20	27,10	24,70	12,00	6,90	7,03
13	40,50	12,50	0,04	1382,00	427,00	0,50	0,60	25,00	23,00	16,00	6,94	7,02
14	42,70	6,70	0,29	1018,00	339,00	0,70	0,50	26,60	24,40	16,00	6,77	7,01
15	36,80	12,00	1,39	1105,00	353,00	0,30	0,40	24,60	23,40	14,00	6,65	6,97
16	37,80	7,80	2,72	1200,00	576,00	0,60	0,30	26,80	24,60	16,00	6,87	6,97
17	43,60	9,40	1,10	1557,00	507,00	0,30	0,60	28,00	25,90	14,00	6,60	6,93

Quadro 4.1 – Dados de Monitoramento do Sistema UASB

Para se estabelecer parâmetros de controle e padrões de referência foram considerados apenas os dados onde se dispunha do padrão necessário a ser alcançado, portanto, os dados de Fosfato, Oxigênio Dissolvido e Nitrato não foram aproveitados neste estudo em virtude de não se ter dados de monitoramento de saída do sistema UASB para estes parâmetros, outro dado também descartado foi o de vazão do sistema, uma vez que não se possui dado de entrada e não há um critério de monitoramento para o mesmo, sendo assim os dados utilizados neste estudo de caso foram pH, DQO, Sólidos Sedimentáveis e Temperatura de entrada e saída do Reator UASB utilizados inicialmente para análise e avaliação do funcionamento do reator conforme o Quadro 4.2:

DADOS	DQO ENTRADA	DQO SAÍDA	SÓLIDOS SED. ENTRADA	SÓLIDOS SED. SAÍDA	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SAÍDA	pH ENTRADA	pH SAÍDA
1	1466,00	412,00	1,00	0,30	32,00	30,60	6,62	7,07
2	1167,00	284,00	1,30	0,20	31,90	30,60	6,87	7,02
3	730,00	353,00	0,90	0,40	31,90	31,00	6,98	7,53
4	1446,00	339,00	1,30	0,50	32,40	31,30	6,97	7,49
5	1343,00	284,00	1,00	0,40	31,20	29,60	6,57	6,90
6	1557,00	427,00	1,20	0,50	32,00	30,60	6,42	6,98
7	1105,00	382,00	0,80	0,50	31,20	29,00	6,32	6,98
8	1234,00	325,00	1,90	0,60	31,00	28,70	6,36	6,87
9	613,00	258,00	0,90	0,40	28,60	27,40	7,08	7,25
10	1657,00	613,00	1,30	0,70	28,90	26,10	6,85	7,37
11	1423,00	631,00	1,30	0,50	25,30	24,60	9,84	7,03
12	1269,00	613,00	1,50	0,20	27,10	24,70	6,90	7,03
13	1382,00	427,00	0,50	0,60	25,00	23,00	6,94	7,02
14	1018,00	339,00	0,70	0,50	26,60	24,40	6,77	7,01
15	1105,00	353,00	0,30	0,40	24,60	23,40	6,65	6,97
16	1200,00	576,00	0,60	0,30	26,80	24,60	6,87	6,97
17	1557,00	507,00	0,30	0,60	28,00	25,90	6,60	6,93

Quadro 4.2 – Dados utilizados para análise do Sistema UASB através de Treinamento da RNA

Com os dados relevantes ao estudo de caso proposto buscou-se parâmetros de controle para estabelecer se o funcionamento do reator estava a contento ou não.

Os parâmetros utilizados foram primeiramente os limites de lançamento constantes na Licença de Operação (LO) da empresa expedida pela FEPAM-RS (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS), conforme Quadro 4.3, onde pode-se ter uma idéia da carga de Efluente limite a ser expedida pelo Reator UASB a fim das lagoas (conforme descrito na figura 4.1) o tratamento e se chegar ao parâmetro exigido pela legislação.

Então a empresa criou, com auxílio de pessoal qualificado, padrões de lançamento do Reator UASB, mostrados no Quadro 4.4, para fins de Monitoramento, tendo como base chegar ao final de todo o tratamento da empresa aos parâmetros estabelecidos pela Licença de Operação.

Parâmetros	Padrão de Emissão a ser atendido	freqüência de medição	tipo de amostragem
Temperatura	inferior a 40 °C	diária	simples
Sól. Sedimentáveis	até 1 mL/L, em teste de 1 hora em cone Imhoff	semanal	composta
pH	entre 6,0 e 8,5	diária	simples
DBO ₅ (20 °C)	até 80 mg/L	bimestral	composta
DQO	até 240 mg/L	mensal	composta
Sólidos Suspensos	até 80 mg/L	bimestral	composta
Coliformes Fecais	até 3.000 NMP/100 ml	bimestral	simples
Óleos e Graxas Vegetal ou Animal	até 30 mg/L	bimestral	simples
Fósforo Total	até 1,0 mg/L P	bimestral	composta
Nitrogênio Total	até 10 mg/L N	bimestral	composta
Vazão	-	diária	simples

Quadro 4.3 – Dados referentes aos parâmetros de emissão pré-estabelecidos pela FEPAM-RS na Licença de Operação da empresa.

Os parâmetros de controle foram os dados de máxima aceitáveis ao sistema, sendo que igual ou abaixo destes valores considera-se o sistema atendendo ao SGA ao qual se integra, acima destes valores, tem-se um sistema que não atende ao SGA. Os dados utilizados foram: DQO de saída do sistema, 360 mg/L; SS de saída do sistema, 0,60 mg/L; Temperatura de saída do sistema, 30,00 °C; pH de saída, entre 6,00 e 8,50 , conforme o Quadro 4.4. Para os dados de entrada do sistema não houve padronização uma vez que a finalidade do estudo é justamente verificar o comportamento do Sistema UASB sob diversos aspectos, variando a carga de entrada de efluente.

Com base neste padrão pode-se verificar os dados que atendem e que não atendem ao parâmetro condicionante do estudo de caso, verificando se o Reator UASB não opera com 100% de eficiência.

Para avaliação destes dados com o auxílio da Inteligência Artificial estabeleceu-se o método binário de análise, onde atende a legislação condicionou-se a “SIM” e não atende a legislação “NÃO”, aplicando-se este critério aos dados de monitoramento tabelados.

DADOS	DQO ENTRADA	DQO SAÍDA	SÓLIDOS SED. ENTRADA	SÓLIDOS SED. SAÍDA	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SAÍDA	pH ENTRADA	pH SAÍDA
1	1466,00	412,00	1,00	0,30	32,00	30,60	6,62	7,07
2	1167,00	284,00	1,30	0,20	31,90	30,60	6,87	7,02
3	730,00	353,00	0,90	0,40	31,90	31,00	6,98	7,53
4	1446,00	339,00	1,30	0,50	32,40	31,30	6,97	7,49
5	1343,00	284,00	1,00	0,40	31,20	29,60	6,57	6,90
6	1557,00	427,00	1,20	0,50	32,00	30,60	6,42	6,98
7	1105,00	382,00	0,80	0,50	31,20	29,00	6,32	6,98
8	1234,00	325,00	1,90	0,60	31,00	28,70	6,36	6,87
9	613,00	258,00	0,90	0,40	28,60	27,40	7,08	7,25
10	1657,00	613,00	1,30	0,70	28,90	26,10	6,85	7,37
11	1423,00	631,00	1,30	0,50	25,30	24,60	9,84	7,03
12	1269,00	613,00	1,50	0,20	27,10	24,70	6,90	7,03
13	1382,00	427,00	0,50	0,60	25,00	23,00	6,94	7,02
14	1018,00	339,00	0,70	0,50	26,60	24,40	6,77	7,01
15	1105,00	353,00	0,30	0,40	24,60	23,40	6,65	6,97
16	1200,00	576,00	0,60	0,30	26,80	24,60	6,87	6,97
17	1557,00	507,00	0,30	0,60	28,00	25,90	6,60	6,93
PADRÃO		360,00		0,60		30,00		6,00 – 8,50

Quadro 4.4 – Parâmetros de Controle estabelecidos para o Sistema UASB

Com base nestes parâmetros converteu-se o Quadro 4.4 para o parâmetro binário de “SIM” e “NÃO”, descrito no Quadro 4.5, onde se verifica os casos em que não obteve-se êxito durante o monitoramento do Reator UASB.

DADOS	DQO ENTRADA	DQO SAÍDA	SÓLIDOS SED. ENTRADA	SÓLIDOS SED. SAÍDA	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SAÍDA	pH ENTRADA	pH SAÍDA	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO "SIM" – "NÃO"
1	1466,00	412,00	1,00	0,30	32,00	30,60	6,62	7,07	NÃO
2	1167,00	284,00	1,30	0,20	31,90	30,60	6,87	7,02	NÃO
3	730,00	353,00	0,90	0,40	31,90	31,00	6,98	7,53	NÃO
4	1446,00	339,00	1,30	0,50	32,40	31,30	6,97	7,49	NÃO
5	1343,00	284,00	1,00	0,40	31,20	29,60	6,57	6,90	SIM
6	1557,00	427,00	1,20	0,50	32,00	30,60	6,42	6,98	NÃO
7	1105,00	382,00	0,80	0,50	31,20	29,00	6,32	6,98	NÃO
8	1234,00	325,00	1,90	0,60	31,00	28,70	6,36	6,87	SIM
9	613,00	258,00	0,90	0,40	28,60	27,40	7,08	7,25	SIM
10	1657,00	613,00	1,30	0,70	28,90	26,10	6,85	7,37	NÃO
11	1423,00	631,00	1,30	0,50	25,30	24,60	9,84	7,03	NÃO
12	1269,00	613,00	1,50	0,20	27,10	24,70	6,90	7,03	NÃO
13	1382,00	427,00	0,50	0,60	25,00	23,00	6,94	7,02	NÃO
14	1018,00	339,00	0,70	0,50	26,60	24,40	6,77	7,01	SIM
15	1105,00	353,00	0,30	0,40	24,60	23,40	6,65	6,97	SIM
16	1200,00	576,00	0,60	0,30	26,80	24,60	6,87	6,97	NÃO
17 PADRÃO	1557,00	507,00 360,00	0,30	0,60 0,60	28,00	25,90 30,00	6,60	6,93 6,00 – 8,50	NÃO

Quadro 4.5 – Classificação do Sistema UASB após análise dos Parâmetros pelo Projeto do Reator e Legislação.

4.2 Treinamento da Rede Neural para Avaliação do Sistema

Para se avaliar os dados obtidos foi utilizada a ferramenta de Redes Neurais Artificiais, para isto se utilizou um Software específico, neste caso o *Brainmaker Professional for Windows – Neural Simulation Software – Versão 3.72* da *California Scientific*. Este Software utiliza os dados em formato de arquivo de entrada, sendo necessária a formatação dos dados e criação do arquivo de treinamento utilizando-se uma Planilha Eletrônica, neste caso o *Microsoft Office Excel 2003* da *Microsoft Corporation*.

Outra alteração feita foi a passagem dos parâmetros para o sistema binário, onde o Programa utiliza como critérios de análise “0” para “NÃO” e “1” para “SIM”, a partir daí ele fará as interações necessárias até achar um valor com menor erro possível, conforme Figura 4.2, sendo esta planilha salva no *Microsoft Excel* versão 3.0.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	DQO_E	DQO_S	SÓLIDOS_E	SÓLIDOS_S	TEMP_E	TEMP_S	pH_E	Ph_S	AVAL
2	1466	412	1	0,3	32	30,6	6,62	7,07	0
3	1167	284	1,3	0,2	31,9	30,6	6,87	7,02	0
4	730	353	0,9	0,4	31,9	31	6,98	7,53	0
5	1446	339	1,3	0,5	32,4	31,3	6,97	7,49	0
6	1343	284	1	0,4	31,2	29,6	6,57	6,9	1
7	1557	427	1,2	0,5	32	30,6	6,42	6,98	0
8	1105	382	0,8	0,5	31,2	29	6,32	6,98	0
9	1234	325	1,9	0,6	31	28,7	6,36	6,87	1
10	613	258	0,9	0,4	28,6	27,4	7,08	7,25	1
11	1657	613	1,3	0,7	28,9	26,1	6,85	7,37	0
12	1423	631	1,3	0,5	25,3	24,6	9,84	7,03	0
13	1269	613	1,5	0,2	27,1	24,7	6,9	7,03	0
14	1382	427	0,5	0,6	25	23	6,94	7,02	0
15	1018	339	0,7	0,5	26,6	24,4	6,77	7,01	1
16	1105	353	0,3	0,4	24,6	23,4	6,65	6,97	1
17	1200	576	0,6	0,3	26,8	24,6	6,87	6,97	0
18	1557	507	0,3	0,6	28	25,9	6,6	6,93	0

Figura 4.2 – Montagem da Planilha de Treinamento no Excel

Posteriormente a planilha foi aberta no *NetMaker*, onde foi criado o arquivo de treinamento da RNA, conforme mostrado na Figura 4.3, nesta etapa são estabelecidos os dados de treinamento – entrada do sistema - designados como *Inputs* e o parâmetro de avaliação do sistema, designados como *Pattern*.

Neste caso os dados de Input informados foram os dados de entrada do Sistema UASB e os dados de *Pattern* que gerarão a saída do sistema foram os dados de saída bem como a avaliação de “SIM” e “NÃO” da operação do sistema.

	Input	Pattern	Input	Pattern	Input	Pattern	Input	Pattern	Pattern
	DQO_E	DQO_S	SÓLIDOS	SÓLIDOS	TEMP_E	TEMP_S	pH	Ph_S	AVAL
1	1466	412	1	0.3	32	30.6	6.62	7.07	0
2	1167	284	1.3	0.2	31.9	30.6	6.87	7.02	0
3	730	353	0.9	0.4	31.9	31	6.98	7.53	0
4	1446	339	1.3	0.5	32.4	31.3	6.97	7.49	0
5	1343	284	1	0.4	31.2	29.6	6.57	6.9	1
6	1557	427	1.2	0.5	32	30.6	6.42	6.98	0
7	1105	382	0.8	0.5	31.2	29	6.32	6.98	0
8	1234	325	1.9	0.6	31	28.7	6.36	6.87	1
9	613	258	0.9	0.4	28.6	27.4	7.08	7.25	1
10	1657	613	1.3	0.7	28.9	26.1	6.85	7.37	0
11	1423	631	1.3	0.5	25.3	24.6	9.84	7.03	0
12	1269	613	1.5	0.2	27.1	24.7	6.9	7.03	0
13	1382	427	0.5	0.6	25	23	6.94	7.02	0
14	1018	339	0.7	0.5	26.6	24.4	6.77	7.01	1
15	1105	353	0.3	0.4	24.6	23.4	6.65	6.97	1
16	1200	576	0.6	0.3	26.8	24.6	6.87	6.97	0
17	1557	507	0.3	0.6	28	25.9	6.6	6.93	0

Figura 4.3 – Criação do Arquivo de Treinamento da RNA no NetMaker.

Após a definição dos dados utilizados para treinamento e teste da rede, foram estipulados os parâmetros de operação do programa. O funcionamento adequado de uma rede neural é altamente dependente do caminho pelo qual os sinais são propagados através da rede. Durante o treinamento do programa vários ajustes podem ser feitos no sentido de aumentar a capacidade de aprendizagem e conseqüentemente melhorarem a previsibilidade do programa conforme descrito no Item 2.4.12. Em geral, a escolha dos parâmetros é empírica, e baseia-se em observações práticas através de testes preliminares. Para este estudo, a partir de ensaios preliminares, estipularam-se os valores apresentados na Tabela 4.1.

PARÂMETROS DO PROGRAMA DE REDE*	VALORES
<i>Number of hidden layers</i>	1,0
<i>Base smothing factor</i>	0,9
<i>Learning rates</i>	1,0
<i>Noise</i>	0,01
<i>Testing tolerance</i>	0,4
<i>Training tolerance</i>	1,0 ~ 0,0001

* Brainmaker Professional

Tabela 4.1 – Parâmetros do BrainMaker

Durante o treinamento a janela “Network Press”, conforme mostrado na figura 4.4 mostra todo o andamento do treinamento, mostrando o comportamento da RNA conforme as interações vão sendo feitas. Outros dados também podem ser acompanhados, como as estatísticas do processo que aparecem na segunda linha, onde se tem o “fato” que está sendo analisado naquele momento, o total de interações feitas, as boas e ruins e o número de vezes que a RNA teve de ser rodada para que o treinamento tivesse êxito.

O treinamento conforme mostra a Figura 4.4. obteve os seguintes resultados, após treinar a rede por 8 minutos e 07 segundos e fazer 797.760 interações, rodando a rede por 53.184 vezes, com as entradas e parâmetros de saída que foram oferecidos ao sistema, obtiveram-se os seguintes dados de saída do sistema:

DQO de Saída	552,85 mg/L
Sólidos Sedimentáveis de Saída	0,61 mg/L
Temperatura de Saída	26,38 °C
pH de Saída	6,92
Critério de Avaliação Obtido	“NÃO” – 0,00

A partir desta primeira avaliação pode-se perceber que o Sistema UASB não opera em condições satisfatórias segundo seus dados de monitoramento, o próximo passo foi avaliar o comportamento do mesmo mediante vários aspectos, como por exemplo, número de animais abatidos – pode-se prever a carga lançada no sistema através de cálculos e estimativas, avaliando-se assim o comportamento do sistema mediante oscilações severas podendo-se prever um número ideal de animais a serem abatidos diariamente para não comprometer o sistema.

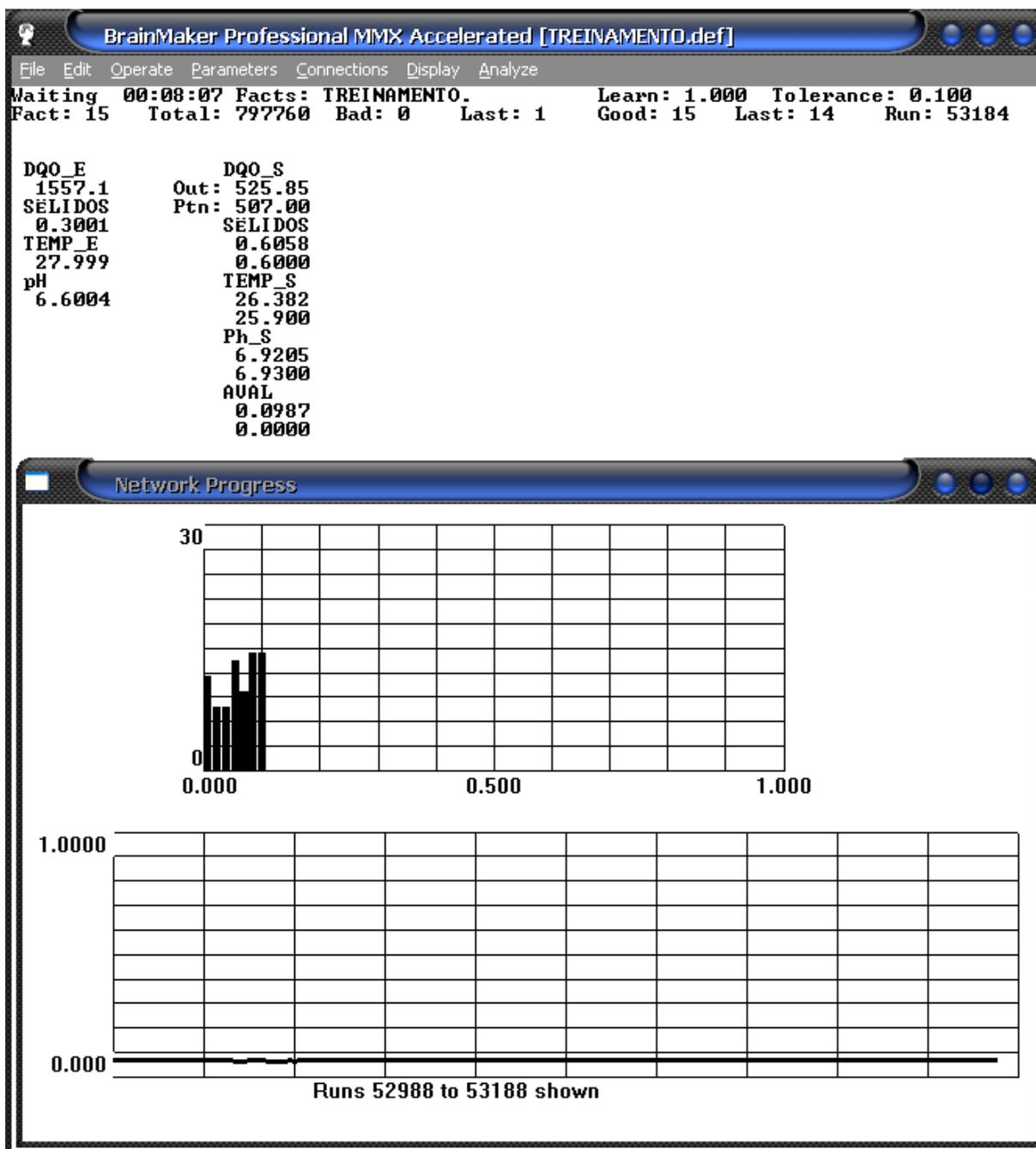


Figura 4.4 – Treinamento da RNA no BrainMaker

4.3 Avaliação do Sistema UASB através da RNA Treinada

Após o treinamento da RNA a próxima etapa foi a simulação de dados aleatórios para o sistema.

Com os dados obtidos pelo monitoramento obteve-se os seguintes intervalos para os parâmetros analisados.

DQO entrada	613 – 1657 mg/L
SS entrada	0,2 – 0,7 mg/L
Temperatura entrada	24,6 – 32,4 °C
pH entrada	6,32 – 9,84 °C

Como não há uma regra para os lançamentos, ou seja, para entradas com cargas poluentes altas no Sistema UASB não há necessariamente saídas altas, não havendo portanto uma correlação entre os dados satisfatória, procurou-se criar situações com as mais variadas emissões, até mesmo extrapolando-se o intervalo verificado no processo de monitoramento.

Para os dados de temperatura e pH os quais tem uma variação muito menor procurou-se trabalhar sempre com a média dos mesmos a fim de focalizar-se somente os critérios nas cargas poluentes.

Outro ponto que se procurou avaliar é que ao se ter uma carga de DQO alta na entrada do sistema não necessariamente se tem uma carga de SS alta, este ponto deve variar aleatoriamente também.

Sendo assim os dados de trabalho utilizados para os 9 Testes realizados, foram os mostrados no Quadro 4.6, onde se procurou utilizar aleatoriamente dados para alimentar a RNA previamente treinada para avaliação do seu comportamento diante de adversidades ou variabilidades passíveis de ocorrer ao Sistema UASB.

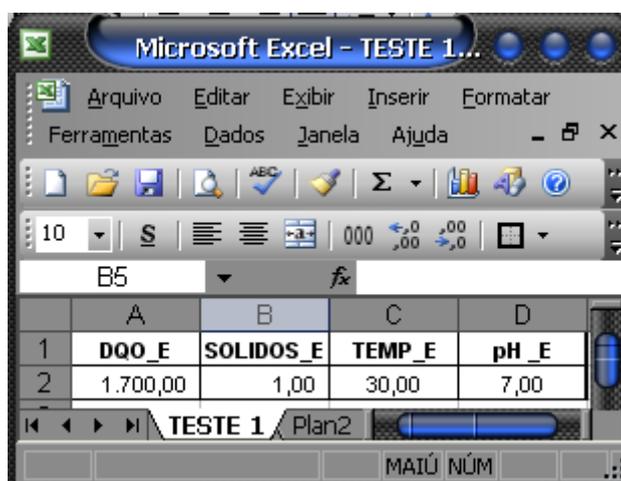
DQO_E	SOLIDOS_E	TEMP_E	pH_E
1.700,00	1,00	30,00	7,00
600,00	1,00	30,00	7,00
600,00	1,90	30,00	7,00
1.700,00	0,30	30,00	7,00
1.700,00	1,90	30,00	7,00
1.000,00	0,30	30,00	7,00
1.000,00	1,00	30,00	7,00
1.000,00	1,90	30,00	7,00
600,00	0,30	30,00	7,00

Quadro 4.6 – Dados de trabalho utilizados para rolagem da RNA previamente treinada.

Os referidos dados foram formatados e empregados um a um à RNA treinada a fim de se poder avaliar isoladamente os acontecimentos como uma forma de previsão do que possivelmente possa vir a ocorrer na prática.

4.3.1 Teste 1 – DQO Máxima e SS com valor médio

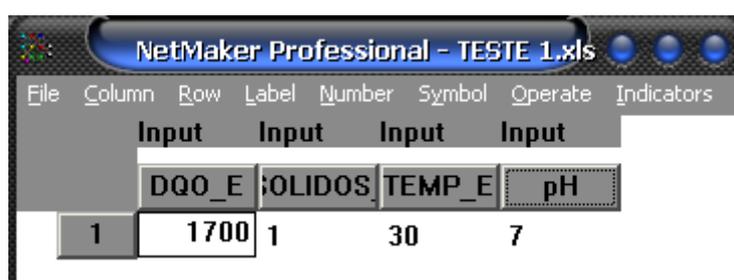
Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.5) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.6).



	A	B	C	D
1	DQO_E	SOLIDOS_E	TEMP_E	pH_E
2	1.700,00	1,00	30,00	7,00

Figura 4.5 – Montagem do 1º Teste no Microsoft Excel

Nesta etapa há algumas modificações, ao se trabalhar no NetMaker agora todos os dados são referenciados com Inputs e para o caso do arquivo o mesmo deve ser salvo como “Running Fact”, ou seja, arquivo que irá rodar sobre a RNA já previamente treinada.



	Input	Input	Input	Input
	DQO_E	SOLIDOS	TEMP_E	pH
1	1700	1	30	7

Figura 4.6 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.7):

DQO Saída 583,86 mg/L
 SS Saída 0,6780 mg/L
 Temperatura Saída 27,633 °C

pH Saída7,5058
 Avaliação do Sistema0,0005 – NÃO SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema não apresentou resultado satisfatório, estando à avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB apenas com 0,05% de eficácia em relação ao atendimento do parâmetro de avaliação.

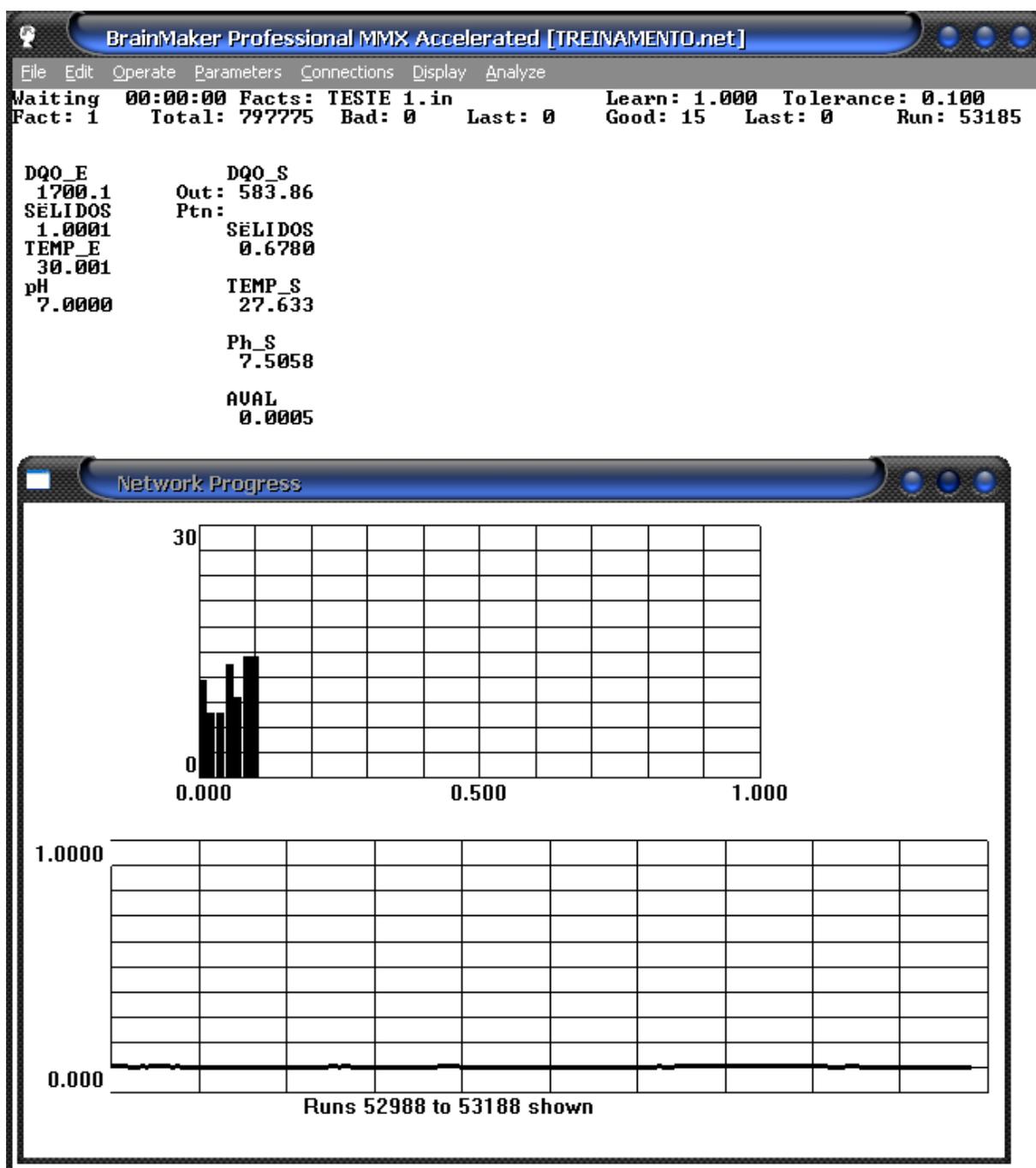


Figura 4.7 – RNA após rolagem dos dados do Teste 1

Posteriormente foi feita a adição destes dados “Fact Files” aos dados de treinamento iniciais a fim da RNA ir se aprimorando e aprendendo continuamente, num processo de melhoria, base do SGA como sugere o estudo de caso em questão, para tanto a mesma foi adicionado com o comando “Add This Fact To Fact File” no menu do BrainMaker.

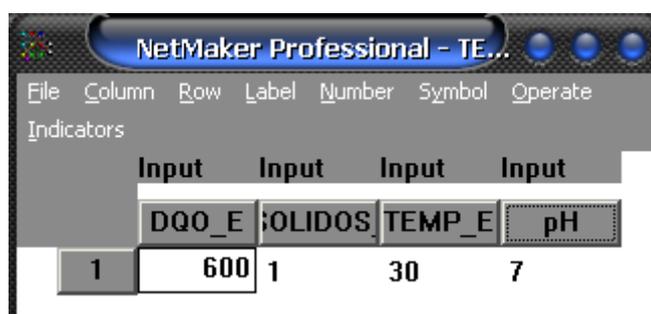
4.3.2 Teste 2 – DQO Mínima e SS com valor médio

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.8) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.9).



	A	B	C	D
1	DQO_E	SOLIDOS_E	TEMP_E	pH_E
2	600,00	1,00	30,00	7,00

Figura 4.8 – Montagem do 2º Teste no Microsoft Excel



	Input	Input	Input	Input
	DQO_E	SOLIDOS_E	TEMP_E	pH
1	600	1	30	7

Figura 4.9 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua adição á RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.10):

DQO Saída 274,42 mg/L
 SS Saída 0,3340 mg/L
 Temperatura Saída 28,690 °C
 pH Saída 7,3679
 Avaliação do Sistema 0,6468 – NÃO SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema não apresentou resultado satisfatório, porém muito mais próximo de estar, com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com 64,68% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação.

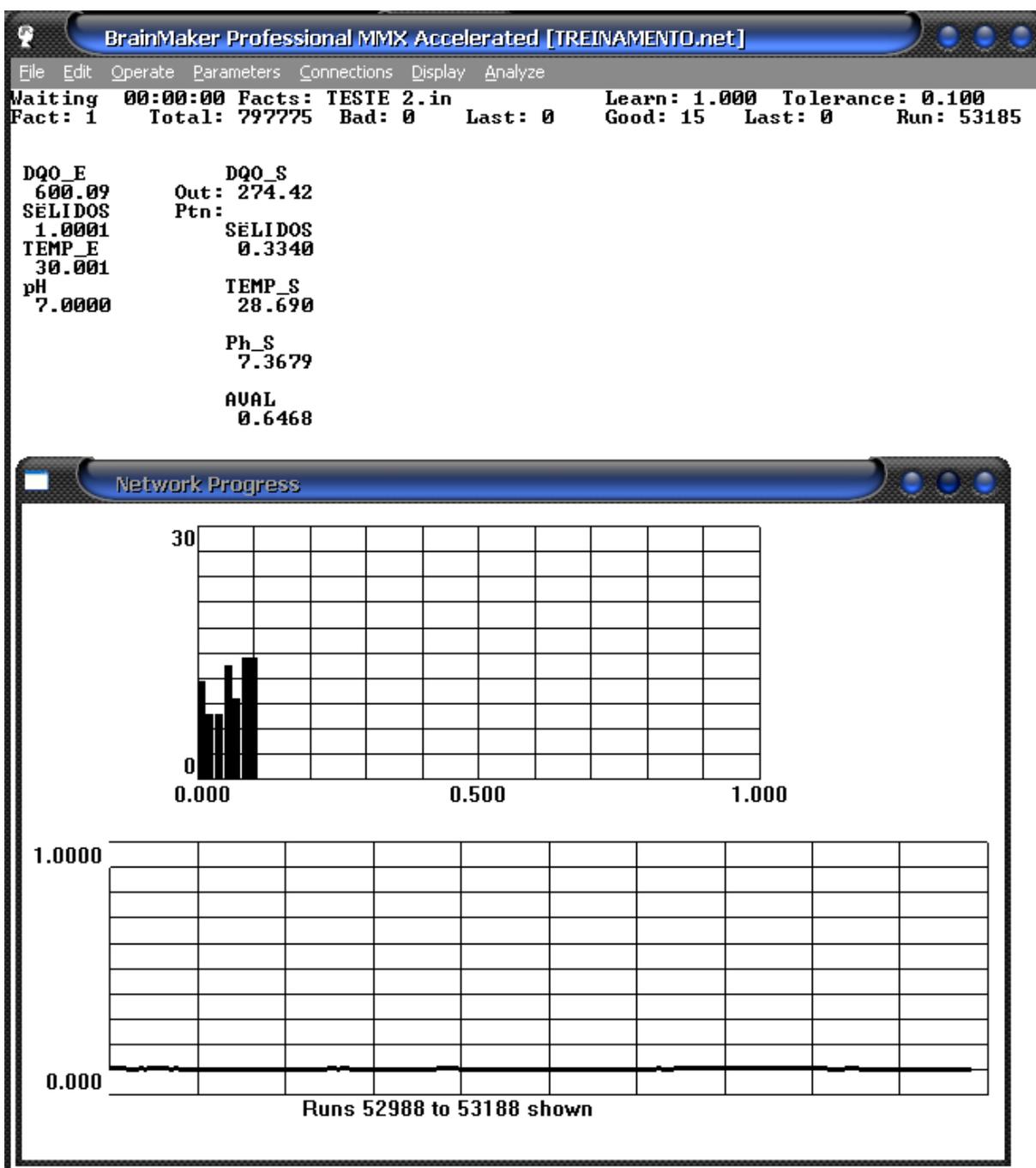


Figura 4.10 – RNA após rolagem dos dados do Teste 2

4.3.3 Teste 3 – DQO Mínima e SS com valor máximo

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.11) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.12).

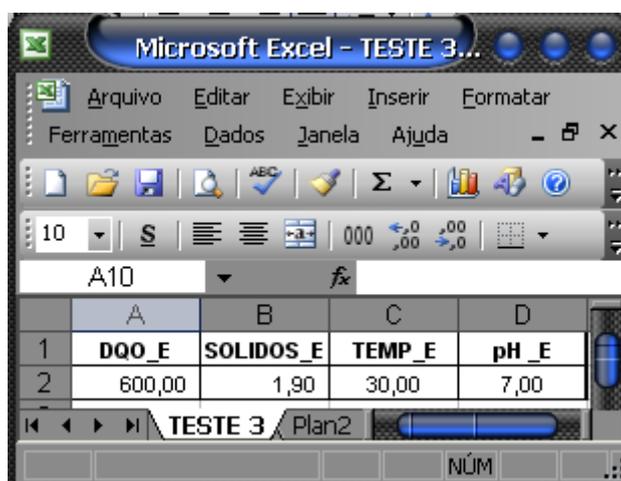


Figura 4.11 – Montagem do 3º Teste no Microsoft Excel

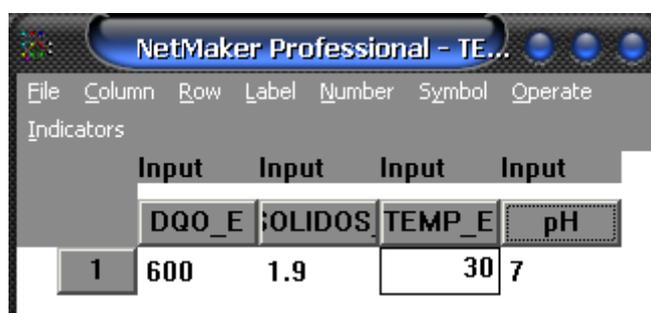


Figura 4.12 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua posterior adição à RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.13):

DQO Saída 261,58 mg/L

SS Saída 0,2140 mg/L

Temperatura Saída 28,834 °C

pH Saída 7,4203

Avaliação do Sistema 0,9974 – SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema apresentou resultado satisfatório, com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com 99,74% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação, muito próxima de 100%.

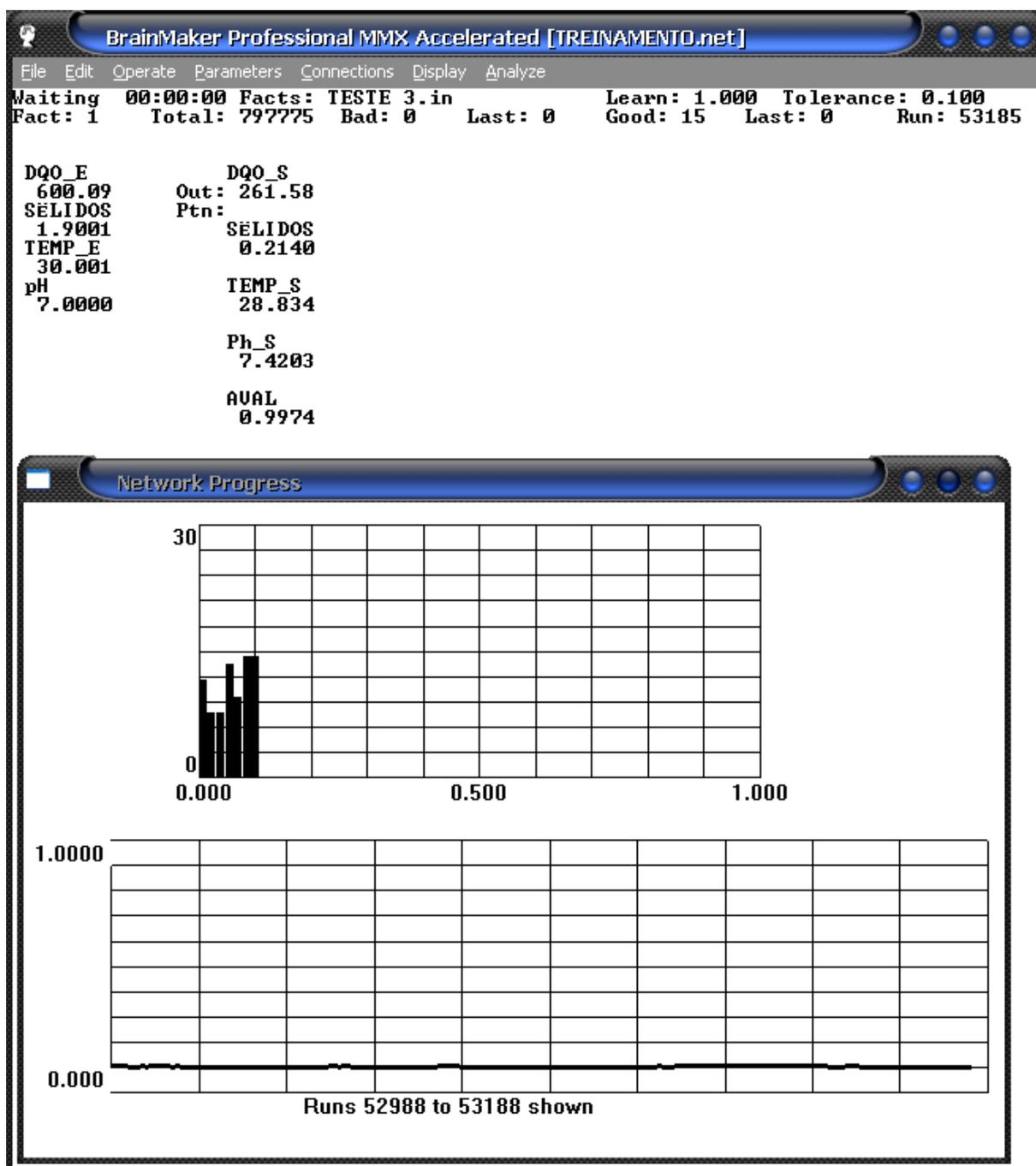
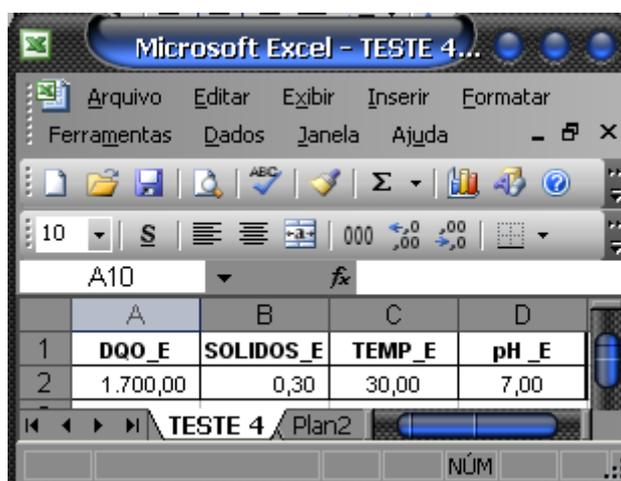


Figura 4.13 – RNA após rolagem dos dados do Teste 3

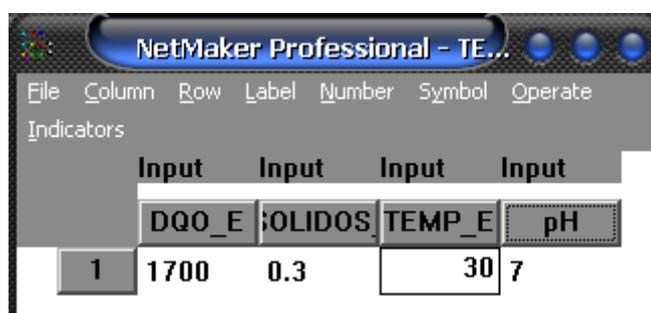
4.3.4 Teste 4 – DQO Máxima e SS com valor mínimo

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.14) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.15).



	A	B	C	D
1	DQO_E	SOLIDOS_E	TEMP_E	pH_E
2	1.700,00	0,30	30,00	7,00

Figura 4.14 – Montagem do 4º Teste no Microsoft Excel



	Input	Input	Input	Input
	DQO_E	SOLIDOS	TEMP_E	pH
1	1700	0.3	30	7

Figura 4.15 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua posterior adição á RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.16):

DQO Saída	623,29 mg/L
SS Saída	0,6783 mg/L
Temperatura Saída	27,744 °C
pH Saída	7,4486
Avaliação do Sistema	0,0003 – NÃO SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema apresentou um resultado não satisfatório com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com apenas 0,03% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação.

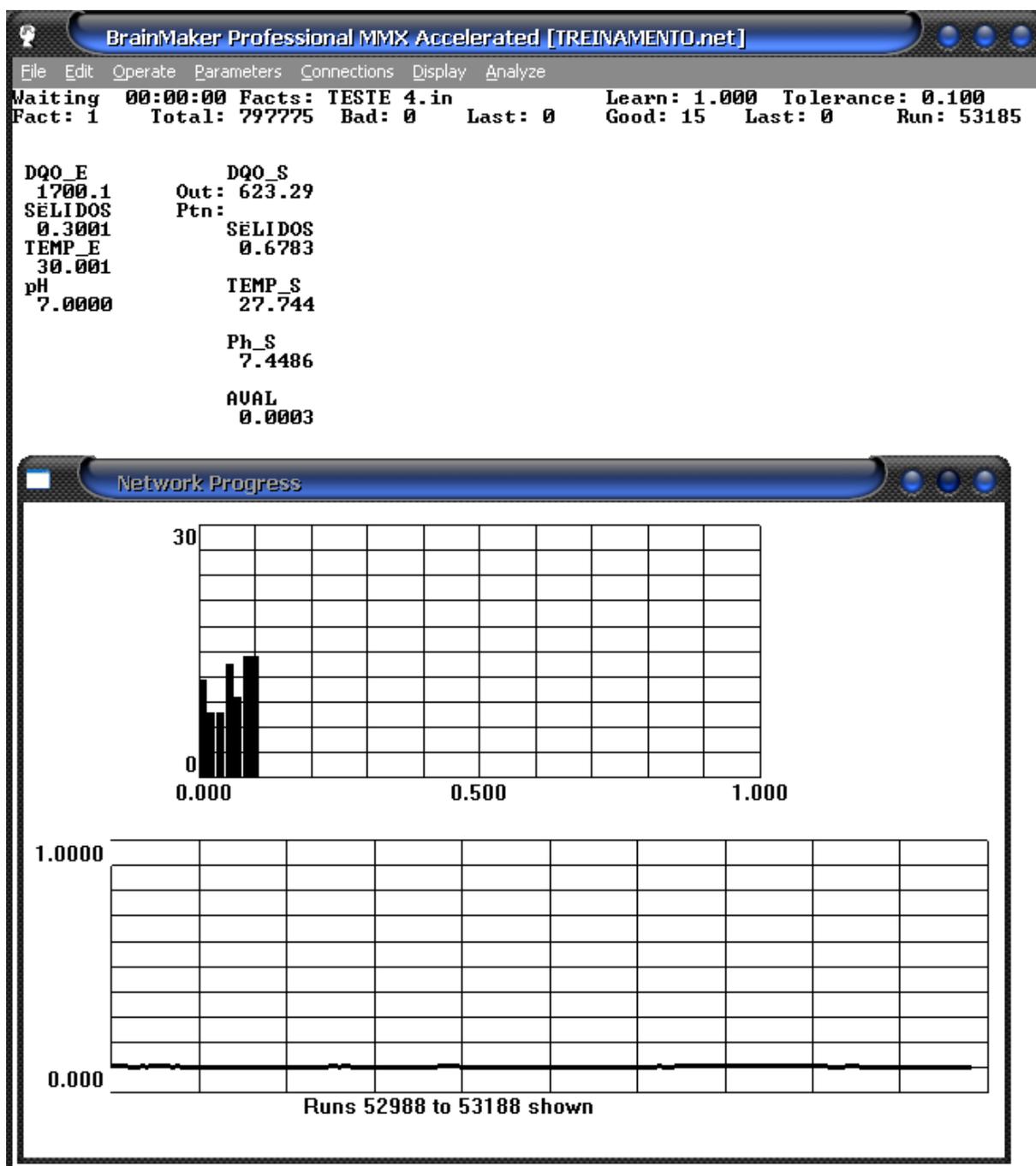
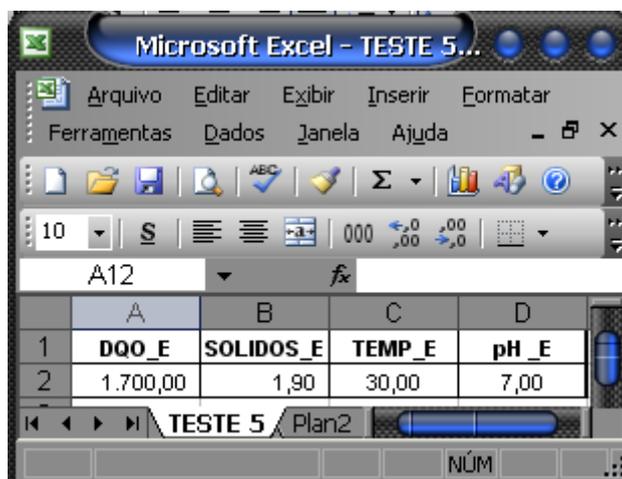


Figura 4.16 – RNA após rolagem dos dados do Teste 4

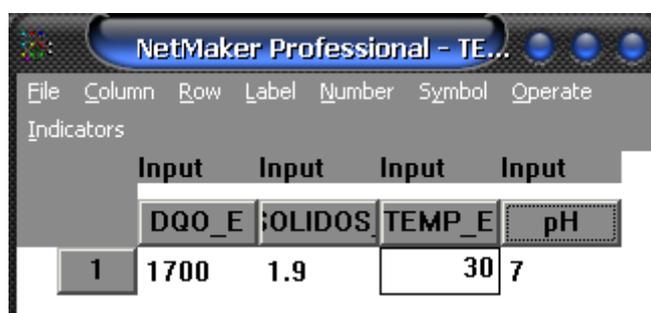
4.3.5 Teste 5 – DQO Máxima e SS com valor máximo

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.17) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.18).



	A	B	C	D
1	DQO_E	SOLIDOS_E	TEMP_E	pH_E
2	1.700,00	1,90	30,00	7,00

Figura 4.17 – Montagem do 5º Teste no Microsoft Excel



	Input	Input	Input	Input
	DQO_E	SOLIDOS	TEMP_E	pH
1	1700	1.9	30	7

Figura 4.18 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua posterior adição à RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.19):

DQO Saída	630,39 mg/L
SS Saída	0,3254 mg/L
Temperatura Saída	25,367 °C
pH Saída	6,9005
Avaliação do Sistema	0,0003 – NÃO SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema apresentou um resultado não satisfatório com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com apenas 0,03% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação.

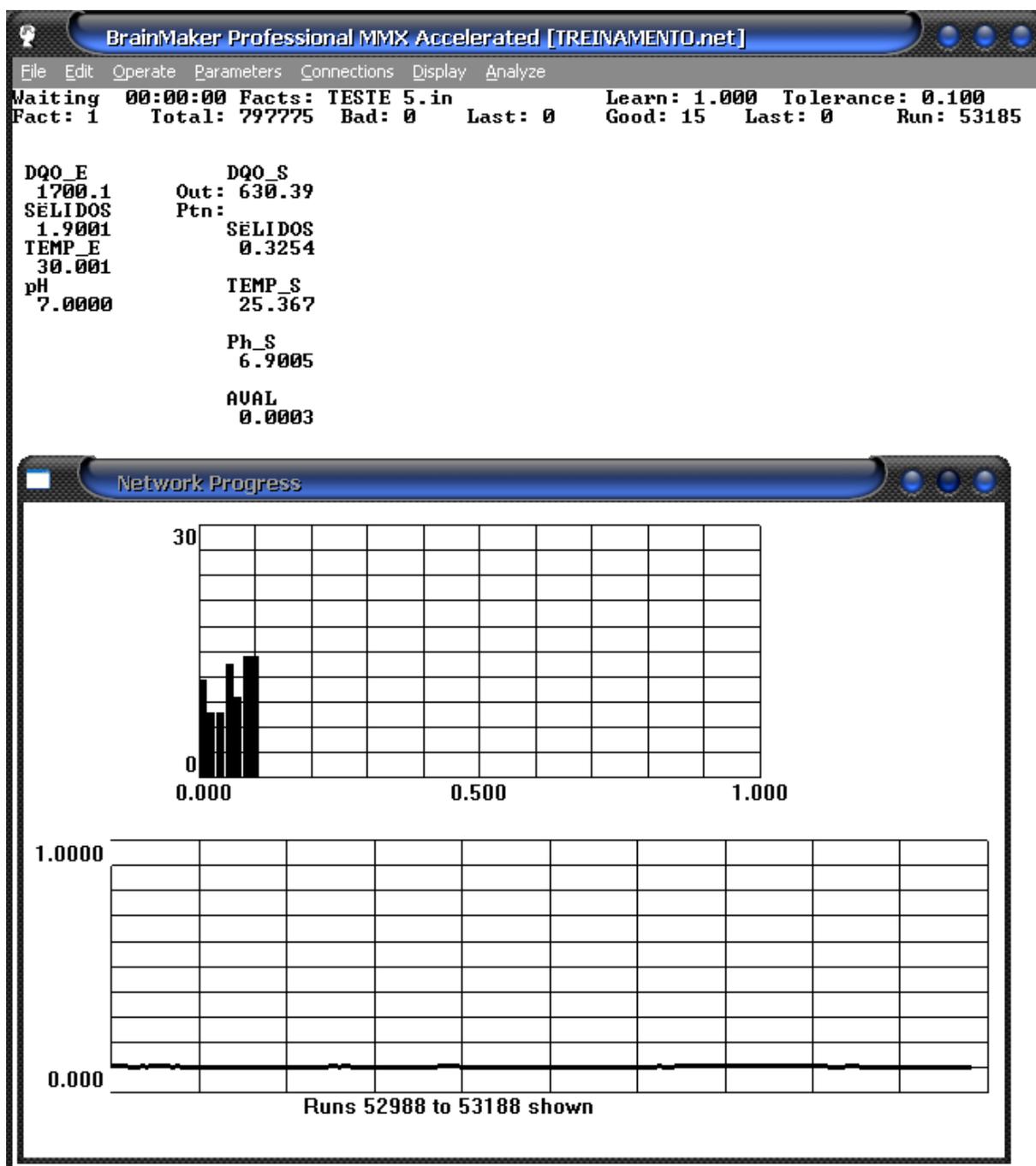


Figura 4.19 – RNA após rolagem dos dados do Teste 5

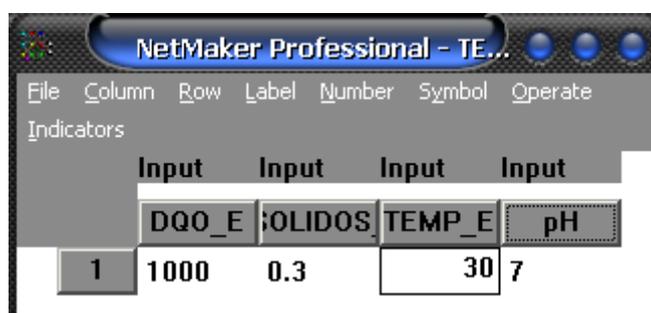
4.3.6 Teste 6 – DQO Média e SS com valor mínimo

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.20) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.21).



	A	B	C	D
1	DQO_E	SOLIDOS_E	TEMP_E	pH_E
2	1.000,00	0,30	30,00	7,00

Figura 4.20 – Montagem do 6º Teste no Microsoft Excel



	Input	Input	Input	Input
	DQO_E	SOLIDOS	TEMP_E	pH
1	1000	0.3	30	7

Figura 4.21 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua posterior adição á RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.22):

DQO Saída	480,86 mg/L
SS Saída	0,3757 mg/L
Temperatura Saída	30,812 °C
pH Saída	7,5089
Avaliação do Sistema	0,0003 – NÃO SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema apresentou um resultado não satisfatório com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com apenas 0,03% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação.

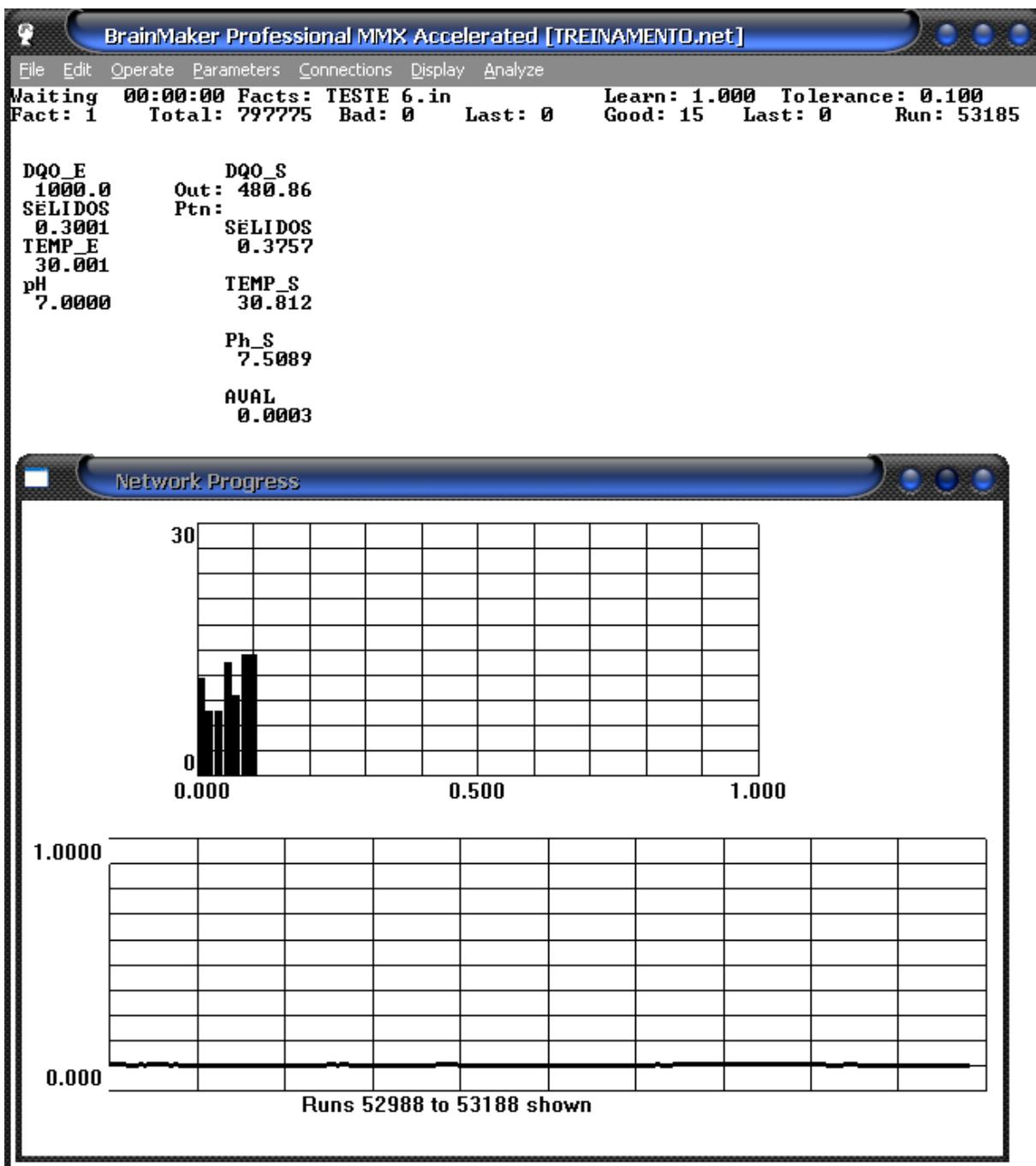


Figura 4.22 – RNA após rolagem dos dados do Teste 6

4.3.7 Teste 7 – DQO Média e SS com valor médio

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.23) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.24).



Figura 4.23 – Montagem do 7º Teste no Microsoft Excel

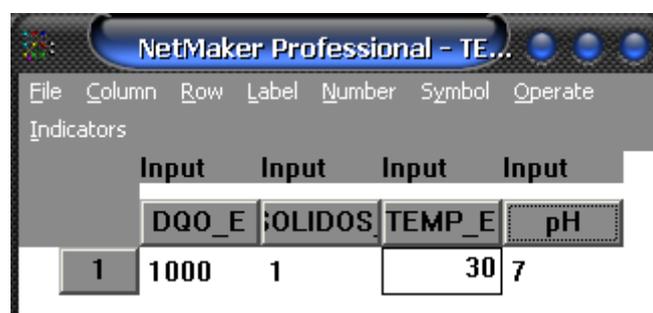


Figura 4.24 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua posterior adição à RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.25):

DQO Saída	327,88 mg/L
SS Saída	0,5104 mg/L
Temperatura Saída	29,092 °C
pH Saída	7,1933
Avaliação do Sistema	0,0044 – NÃO SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema apresentou um resultado não satisfatório com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com apenas 0,44% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação.

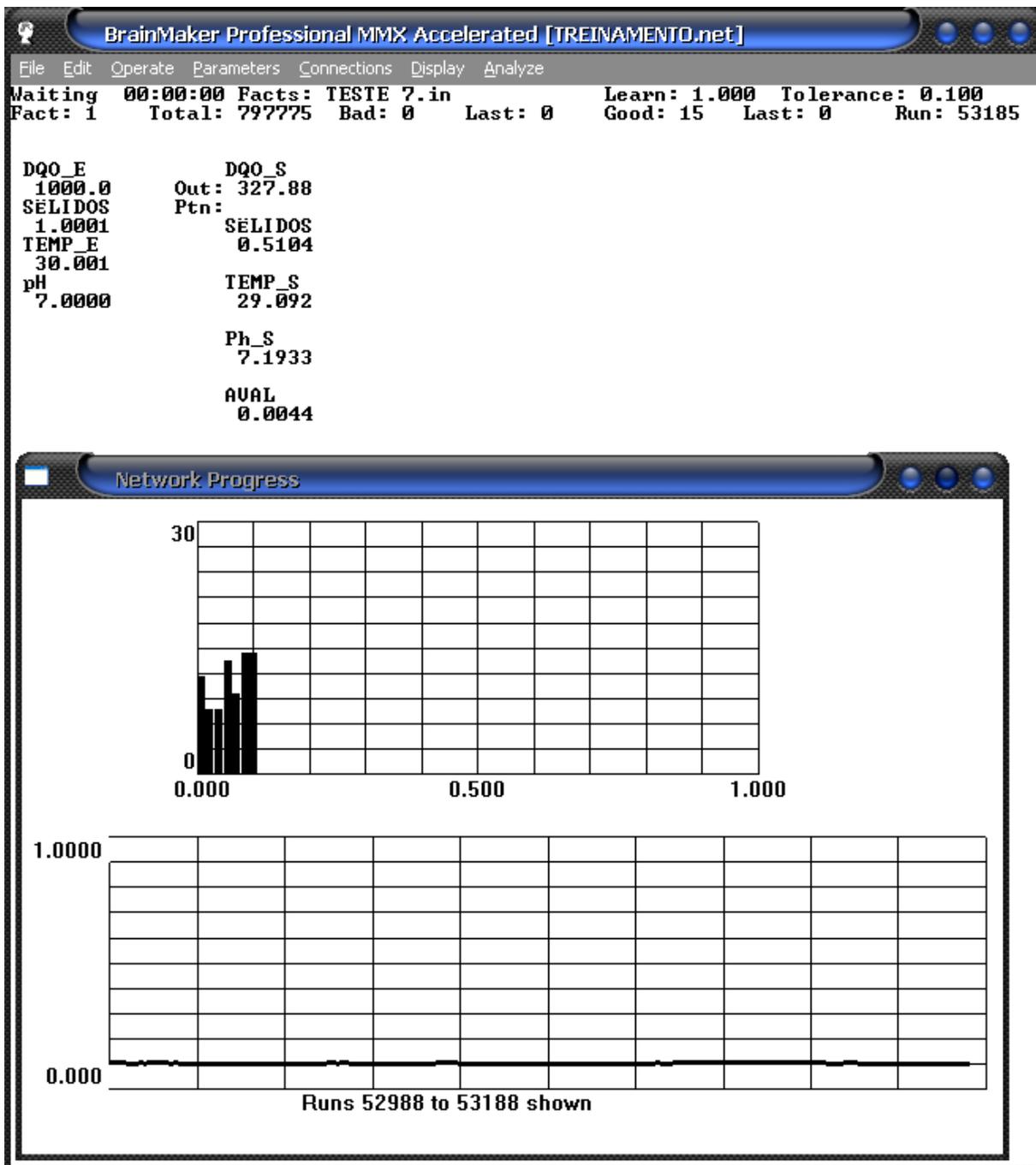


Figura 4.25 – RNA após rolagem dos dados do Teste 7

4.3.8 Teste 8 – DQO Média e SS com valor máximo

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.26) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.27).

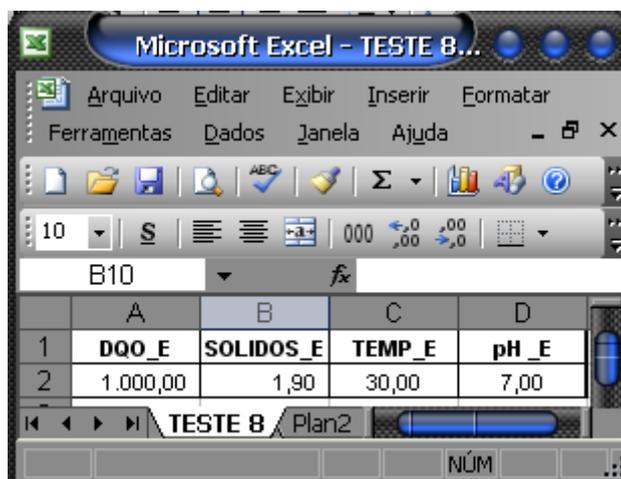


Figura 4.26 – Montagem do 8º Teste no Microsoft Excel

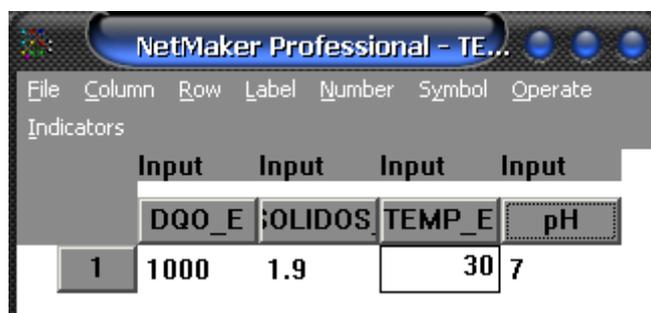


Figura 4.27 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua posterior adição á RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.28):

DQO Saída314,58 mg/L
 SS Saída0,3116 mg/L
 Temperatura Saída29,266 °C
 pH Saída7,3362
 Avaliação do Sistema0,9393 – SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema apresentou um resultado satisfatório com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com 93,93% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação, também muito próxima de 100%.

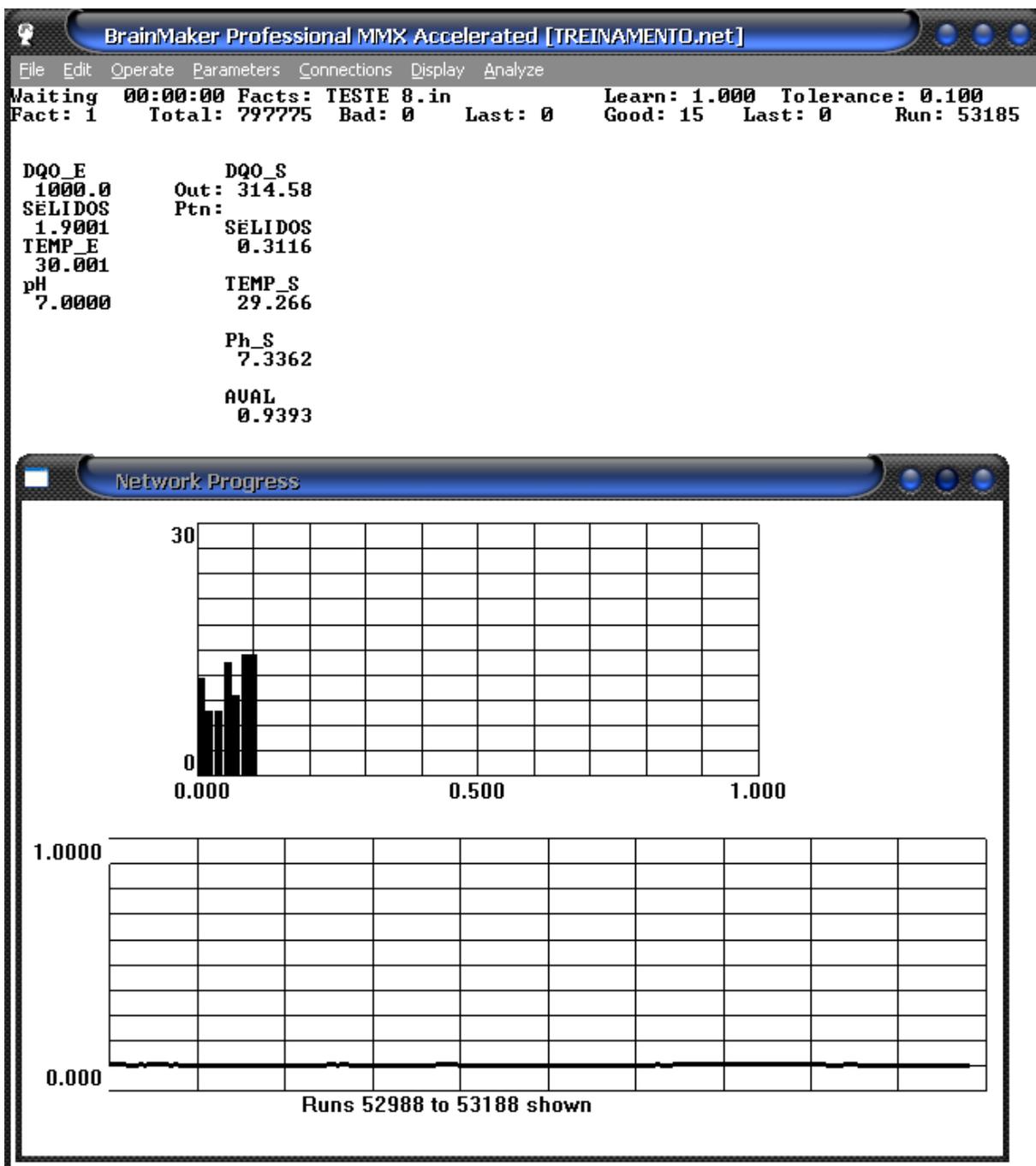


Figura 4.28 – RNA após rolagem dos dados do Teste 8

4.3.9 Teste 9 – DQO Média e SS com valor máximo

Foi feita a montagem do arquivo no Microsoft Excel (Figura 4.29) para posterior formatação no NetMaker (Figura 4.30).



Figura 4.29 – Montagem do 9º Teste no Microsoft Excel

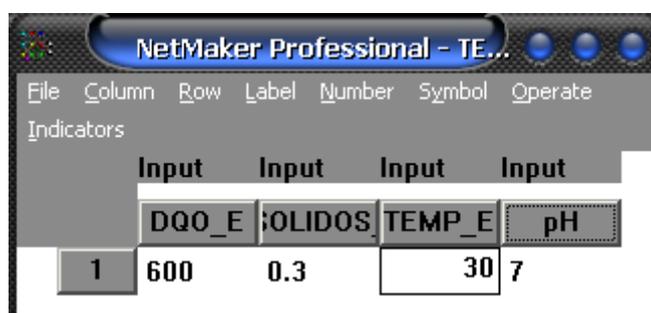


Figura 4.30 – Arquivo de Running Fact gerado no NetMaker

O próximo passo é a rolagem do arquivo gerado sobre a RNA treinada no BrainMaker Professional, sempre com sua posterior adição á RNA treinada.

Após a rolagem dos dados obtiveram-se os seguintes resultados (Figura 4.31):

DQO Saída	286,62 mg/L
SS Saída	0,2685 mg/L
Temperatura Saída	30,313 °C
pH Saída	7,4854
Avaliação do Sistema	0,0096 – NÃO SATISFATÓRIO

Neste teste o Sistema apresentou um resultado não satisfatório com uma avaliação da RNA sobre o funcionamento do Reator UASB com 0,96% de eficácia em relação ao parâmetro de avaliação.

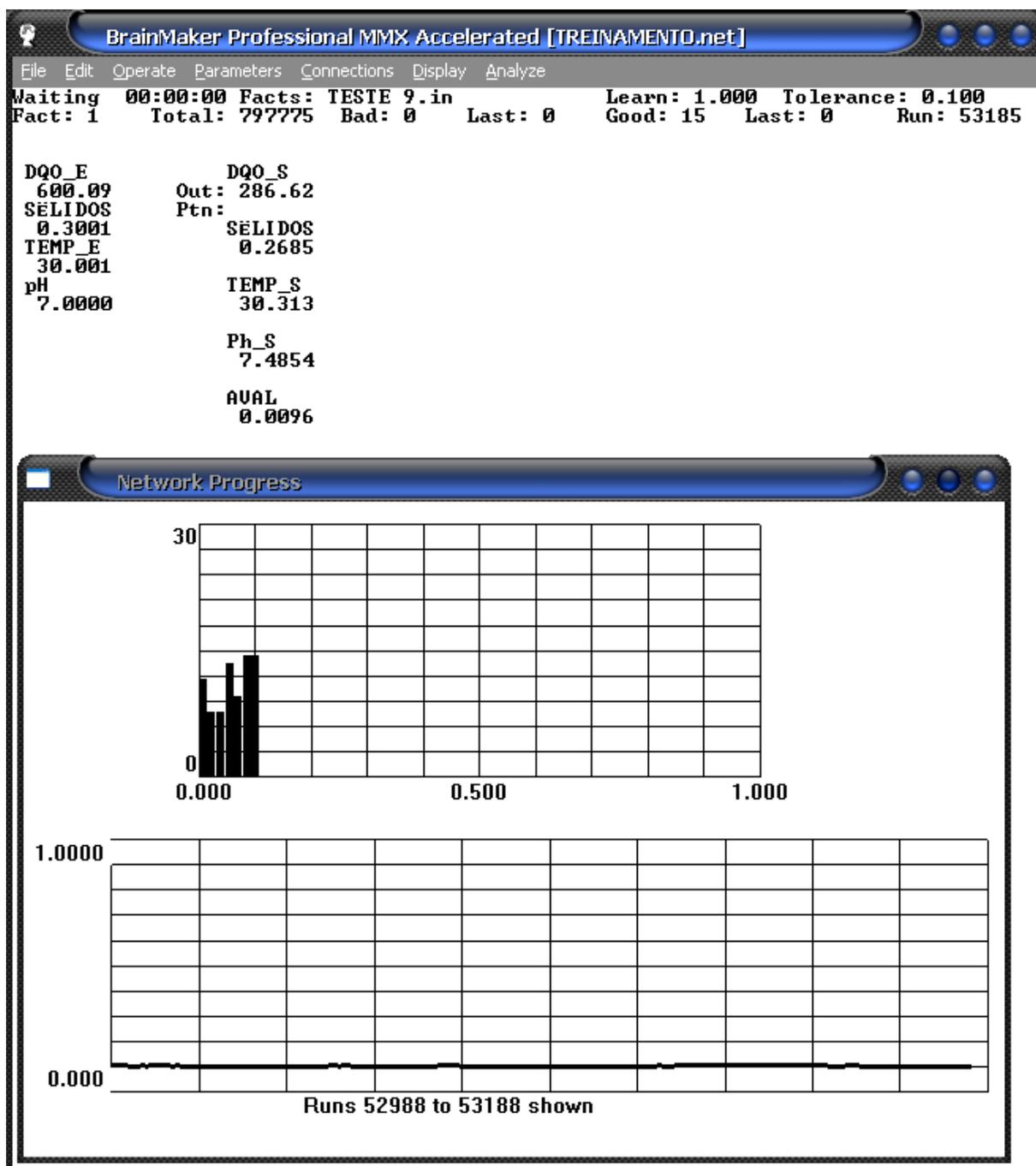


Figura 4.31 – RNA após rolagem dos dados do Teste 9

4.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a avaliação tanto da RNA treinada, quanto dos 9 testes realizados, chegou-se aos seguintes resultados mostrados na tabela 4.2.

	DQO ENTRADA	DQO SAÍDA	SS ENTRADA	SS SAÍDA	TEMPERATURA ENTRADA	TEMPERATURA SAÍDA	pH ENTRADA	pH SAÍDA	AValiação
TREINAMENTO	-	552,82	-	0,61	-	26,38	-	6,92	0,0987
TESTE 1	1.700	583,86	1,00	0,6780	30,00	27,633	7,00	7,5058	0,0005
TESTE 2	600	274,42	1,00	0,3340	30,00	28,690	7,00	7,3679	0,6468
TESTE 3	600	261,58	1,90	0,2140	30,00	28,834	7,00	7,4203	0,9974
TESTE 4	1.700	623,29	0,30	0,6783	30,00	27,744	7,00	7,4486	0,0003
TESTE 5	1.700	630,39	1,90	0,3254	30,00	25,367	7,00	6,9005	0,0003
TESTE 6	1.000	480,36	0,30	0,3757	30,00	30,812	7,00	7,5089	0,0003
TESTE 7	1.000	327,88	1,00	0,5104	30,00	29,092	7,00	7,1933	0,0044
TESTE 8	1.000	314,58	1,90	0,3116	30,00	29,266	7,00	7,3362	0,9393
TESTE 9	600	286,62	0,30	0,2685	30,00	30,313	7,00	7,4854	0,0096
PADRÃO		360		0,60		30,00		6,00 – 8,50	

Tabela 4.2 – Resultados Obtido durante o Estudo de Caso

A comparação dos resultados obtidos com os dados de Padrão que usados como referência no início deste trabalho se mostrou extremamente satisfatória, apontando é claro dados fora do padrão, mas que poderão no futuro ser sanados com algumas alternativas como diluição do efluente ao se verificar que o mesmo dará resultado insatisfatório, portanto medidas mitigatórias podem ser tomadas mesmo antes de se efetivar um abate superior ao estimado para não sobrecarregar o sistema de tratamento.

Uma vez que há uma grande flutuação na carga de efluentes lançada à ETE, a qual se deve a grande variação na quantidade de animais abatidos, sendo que, no início da semana de Segunda a Quarta-feira tem-se uma grande quantidade até mesmo extrapolando o limite previsto quando do projeto da ETE, já no final da semana (Quinta e Sexta-feira) há um número bem menor de animais abatidos, uma vez que não há muita saída no final de semana o que acaba por gerar um fluxo descontínuo ao Sistema UASB o qual continua em operação.

Outro dado bastante relevante é quanto a Avaliação da RNA, neste caso ela objetiva chegar o mais próximo possível do valor dado como padrão, logo, não pode

ser levada em consideração para o caso de avaliação do funcionamento do sistema UASB, uma vez que dados abaixo do padrão também são avaliados como positivos para este Estudo de Caso e para a RNA estes dados estão fora do critério de avaliação.

5 CONCLUSÕES

Foi realizada uma avaliação no desempenho de um Reator UASB dentro de uma unidade frigorífica de suínos, o qual possui uma oscilação bastante significativa na sua emissão de efluentes industriais o que é conseqüência do processo de abate possuir uma variação significativa no número de animais abatidos.

Os resultados confirmaram com um caso prático que é possível avaliar o funcionamento do Sistema UASB utilizando Redes Neurais Artificiais, podendo-se ter uma prévia dos resultados antes dos fatos realmente ocorrerem.

Pode-se prever oscilações, bem como realizar testes para possíveis ampliações da capacidade de abate do estabelecimento em um tempo muito menor e sem custos ou perdas.

Concluindo-se, observou-se que a RNA torna-se uma poderosa ferramenta para avaliar os processos previstos em um SGA, visto que dados que são obtidos no monitoramento da mesma podem ser constantemente usados em etapas do treinamento e re-treinamento da RNA, resultando em melhores previsibilidades para evitar possíveis situações de desconformidade ou danos ambientais.

5.1 Considerações e Sugestões

A formatação dos dados, bem como o treinamento da RNA são simples de serem feitos, desde que haja conhecimento na área de informática e uma base de RNA para interpretação dos dados do programa (BrainMaker), sendo indispensável um bom treinamento dos usuários.

Muito ainda tem de ser estudado e avaliado para que a RNA possa tornar-se uma efetiva ferramenta integrante do SGA, outros parâmetros podem ser considerados, bem como o uso dos demais monitoramentos e simulações para melhorar a performance dos sistemas estudados.

6 BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, G. B. **Indicadores de Competitividade para a Indústria Brasileira no Período 1974/91**. In “Economia Brasileira em Perspectiva”. Rio de Janeiro. IPEA. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR ISO 14001**, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR ISO 14004**, Rio de Janeiro, 1996.

CAMACHO, R. D. P.; BERNARDO, L. Di; FRAGIACOMO, P.; VIUDEZ, M. A. P. **Emprego de Reator Anaeróbio de Fluxo ascendente com Manto de Lodo para tratamento de Despejos Líquidos Provenientes de Laticínios**, Anais do 15º Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental, 17 a 22/09/89, v. 2, Tomo III, Belém, 1989.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**, Belo Horizonte DESA/UFMG, 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, **RESOLUÇÃO Nº. 357**, de 17 de Março de 2005, Brasília, DOU, 2005.

DMA – RS, **Departamento do Meio Ambiente**, Rio Grande do Sul, Divisão de Controle da Poluição, Controle da Poluição Hídrica para matadouros de inspeção estadual, Porto Alegre, 2005.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, **Lei nº. 10.533**, Programa Carne de Qualidade, Porto Alegre; Diário Oficial do Estado, p. 149. 03 de agosto de 1995.

GASPAR, P. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB**. Dissertação (mestrado), São Paulo, Escola politécnica. USP, 2003.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**, São Paulo, Atlas, 1996.

HENZE, M.; HARREMOES, P.; ARVIN E. **Wastewater treatment: biological and chemical process**, 2^a ed. Springer, 1990.

IMHOFF, K. e K. R., **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**, Oldenbourg Verlag GmbH, Alemanha, 1985, Tradução Editora Edgard Blücher Ltda., 1996.

LETTINGA, G. **Sustainable Integrated Biological Wastewater Treatment**, *Water Sci. Tech.*, 1996.

MARÇAL JUNIOR, E. **Remoção de fósforos por adição de cloreto férrico em reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) seguido de reator anaeróbio seqüencial em batelada (RSB)**, Tese (Mestrado), São Carlos, Escola de Engenharia São Carlos, USP, 2001.

METCALF & EDDY, INC. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**, 3rd ed. McGraw-Hill, 1991.

NASCIMENTO JÚNIOR, C.L.; YONEYAMA, T. **Inteligência Artificial em controle e automação**, São Paulo, Edgard Blücher: FAPESP, 2004.

NASCIMENTO, R. A., **Desempenho de Reator Anaeróbio de manto de Lodo Utilizando Efluentes Líquidos de Indústria Alimentícia**, Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento), Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 1996.

OLIVA, L.C.H.C., **Tratamento de Esgotos Sanitários com Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) Protótipo: Desempenho e Respostas Dinâmicas as Sobrecargas Hidráulicas**, Tese (Doutorado) São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.

PALMA NETO, L. G.; NICOLETTI, M. C., **Introdução às Redes neurais Construtivas**, São Carlos, EdUFSCar, 2005.

RICH, E.; KNIGHT, K., **Inteligência Artificial**, Tradução RATTO, M.C.S.R., revisão técnica ANTUNES, A., São Paulo, Makron Books, 1993.

SAYRE, Don. **Inside ISO 14000: The Competitive Advantage of Environmental Management**. Delray Beach/USA, St. Lucie Press, 1996.

SECRETARIA DA SAÚDE E DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RS, **PORTARIA N.º 05/89** de 16 de Março de 1989, Porto Alegre, Diário Oficial do Estado do RS, 1989.

SILVA, S. M. C. P. **Desenvolvimento de uma Nova Concepção de Tratamento de Águas Residuárias pela Associação de Processos Anaeróbios e Aeróbios**, Tese (mestrado), São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

TAFNER, M. A.; XEREZ, M.; RODRIGUES FILHO, I. W., **Redes Neurais Artificiais: Introdução e princípios de Neurocomputação**, Blumenau, Blumenau: EKO. Ed. da FURB, 1995.

TIBOR, T. & FELDMAN, I. **ISO 14000: um guia para as normas de gestão ambiental**, Tradução: Bazán Tecnologia e Lingüística, São Paulo, Futura, 1996.

VAN HANDEL, A. C.; LETTINGA G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**, Campina Grande: Epgraf, 1994.

VAN HAANDELL, A.; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações para projetos e aplicações**, Campina Grande, Epgraf, 1999.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 2ª ed., Belo Horizonte, DESA/UFMG, 1966.

VON SPERLING, M. **Princípios Básicos do Tratamento de esgotos**, 2ª ed., Belo Horizonte, DESA/UFMG, 1966.

GLOSSÁRIO

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

É a quantidade de oxigênio elementar consumida por microorganismos durante a degradação de matéria orgânica.

DQO – Demanda Química de Oxigênio

O teste de DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. O valor obtido é, portanto, uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente.

SS – Sólidos Sedimentáveis

Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em 1 hora no cone de Imhoff. Indicação aproximada da sedimentação em um tanque de decantação.

FONTE: VON SPERLING