

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-071 – PARÂMETROS AMBIENTAIS OBTIDOS MEDIANTE COMPILAÇÃO EM MATHCAD.**Camilo Miguel Duarte Ribeiro**

Aluno de Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Ives Pacceli Negreiros Guimarães

Graduando em Farmácia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Bolsista PPPg.

Thiago Negreiros Moura⁽¹⁾

Aluno de Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Louise Medeiros Silva

Graduanda em Farmácia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Bolsista CNPq/PIBIC.

Carlos Enrique de Medeiros Jerônimo

Doutorando em Engenharia Química pelo PPGEQ/UFRN. Engenheiro Químico. Consultor Técnico em Engenharia Ambiental e de Processos.

Henio Normando de S. Melo

Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Química/UFRN. Mestre em Química Ambiental (UFPE). Doutor em Engenharia Ambiental (INSA/Toulouse-França). Chefe da Base de Pesquisa de Aplicação da Engenharia Ambiental na Preservação de Recursos Naturais no RN.

Endereço⁽¹⁾: Rua Morais Navarro, 2049 – Lagoa Nova – Natal – RN – CEP 59075-770 – Brasil – Telefone: (55) – 84 – 88072333 – Fax: (55) – 84 – 2017286negreiros@eq.ufrn.br**RESUMO**

Neste trabalho é feito um estudo da biodegradação anaeróbia do efluente proveniente da produção de queijo, ou melhor, o soro residual desse processo. O estudo se realizou pelo acompanhamento da cinética de consumo da matéria orgânica do soro, mediante análises gravimétricas do teor de sólidos voláteis. A partir do conhecimento dos principais constituintes presentes no soro (carboidratos e proteínas) foi elaborado um modelo matemático, e aos dados experimentais foram ajustadas essas equações para obtenção dos parâmetros cinéticos do processo em questão. Para resolução do problema matemático utilizou-se o software Mathcad© 2001, em ambiente Windows©. O algoritmo implementado ajustou ao nível de 97% os dados experimentais, fornecendo as constantes cinéticas requisitadas pelo modelo. O estudo, apesar de preliminar, constatou a aplicabilidade do módulo e do monitoramento experimental proposto, bem como, a eficácia do software e do modelo na simulação do processo de biodigestão do soro residual da produção do queijo tipo "coalho".

PALAVRAS CHAVE: Mathcad, Biodegradação, Efluente Láctico & Anaeróbio.

INTRODUÇÃO

O Mathcad é uma ferramenta de cálculo, das mais poderosas para aplicações matemáticas. É capaz de com rapidez e precisão fornecer soluções rápidas e eficazes para os mais diversos problemas de engenharia. É um aplicativo ao mesmo tempo poderoso e de fácil utilização, o que o torna diferenciado em sua categoria e explica a sua conquista de mais de 1,5 milhão de usuários no mundo.

Dentre alguns de seus recursos, destaque para:

- Operadores Numéricos: realizam somas, produtos, derivadas, integrais e operações Booleanas.
- Funções Numéricas: aplicam funções trigonométricas, exponenciais, hiperbólicas e outras.
- Simbólicas: simplificam, diferenciam, integram, e transformam expressões.
- Vetores e Matrizes manipulam ordens e realizam várias operações de álgebra linear, tais como encontrar eigenvalues e eigenvectors.
- Estatística e Análise de Dados: geram números randômicos ou histogramas, dados interpolares, e modelos de distribuição de probabilidade.
- Variáveis e Unidades reais, imaginárias, e números complexos com ou sem unidades associadas.
- Alta performance de cálculo e manipulação de memória sofisticada.

O Mathcad© pode reduzir o tempo, eliminando o método de solução de problemas através de mecanismos clássicos de resolução, oferecendo a ferramenta que faz tudo através da interface computacional, em ambiente Windows©.

Nas aplicações que compreendem a engenharia ambiental, mais especificamente no tratamento de efluentes domésticos ou industriais, a modelagem matemática é um recurso imprescindível para a obtenção de resultados satisfatórios em projetos economicamente viáveis e tecnicamente eficientes. Dentre os principais usos nos projetos de tratamento, utilizando reatores biológicos, está a estimativa de parâmetros cinéticos de entendimento da degradação de certos componentes; que se faz necessária para o cálculo de variáveis como: o tempo de detenção, a área do reator e a vazão de operação.

Nesse trabalho, foi realizado um estudo para avaliação da cinética de biodegradação do efluente láctico, proveniente da produção de queijos coagulados. Foram estimados modelos matemáticos que simulam a ação dos microorganismos anaeróbicos num processo de biodegradação, tendo-se como respostas as velocidades específicas de degradação anaeróbica, para a matéria orgânica carbonácea e a nitrogenada. Para a resolução e o ajuste dos modelos foi implementada uma rotina de cálculo, aos dados experimentais, em ambiente Mathcad©. Sendo os dados obtidos, estatisticamente testados e validados mediante as técnicas dispostas para qualificação de modelos preditivos.

Os dados experimentais utilizados para o ajuste dos modelos, foram obtidos em módulos rudimentares, com o intuito apenas de validação da metodologia matemática, porém, não necessariamente indicam falta de precisão e ausência de aplicabilidade prática.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Efluentes Lácticos

A definição internacional aceita para o queijo, segundo a FAO/OMS é: "O queijo é um produto fresco ou maturado obtido por coagulação e separação do soro do leite, leite parcialmente desnatado, ou por uma mistura desses produtos. (ALFA LAVAL, 1990)".

A fabricação de queijos no Brasil é de história relativamente recente, firmando-se, do ponto de vista industrial, no início deste século e, sobretudo, a partir da década de 20, com o estabelecimento de imigrantes dinamarqueses no sul de Minas e holandeses na região de Santos Dumont e Barbacena, também em Minas Gerais.

Atualmente tem crescido em muito o número de fábricas e variedades disponíveis no mercado. A liderança na fabricação é do queijo prato, em segundo, tem-se o queijo mussarela e o "Minas Frescal" ocupando a terceira colocação entre os mais comercializados no país.

Cada tipo de queijo tem no tocante a certos pormenores, um ou outro modo especial de fabricação, quer seja caseiro ou industrial. No nordeste do Brasil, o principal tipo de queijo comercializado é o Coalho.

Apesar do grande número de tipos de queijos, em função das diferentes composições, os princípios básicos de fabricação são os mesmos para todos eles e compreendem as seguintes etapas principais:

- a. Coagulação: é a floculação das micelas de caseína, formando um gel que retém o soro. Esta floculação é possível graças à presença de ácido láctico e de coalho.
- b. Dessoramento: é a separação e retirada do soro, parte líquida, da parte sólida formada por caseína e gordura. É um fenômeno de sinerese.
- c. A maturação consiste nas transformações ocorridas na coalhada pela ação de microorganismos e enzimas, em condições apropriadas, necessárias à produção de determinados tipos de queijo.

O soro de queijo ou lactosoro é um líquido obtido da coagulação do leite na elaboração dos queijos, logo após separar a coalhada (caseína) e gordura. Pode-se também definir o soro como sendo a fase aquosa separada da coalhada no processo de produção de caseína, na elaboração do queijo (SPREER, 1991).

A natureza do soro depende do tipo de queijo que lhe dá origem. Basicamente, há três tipos de soro láctico, a saber:

- Soro doce, obtido da coagulação por fermentos lácticos e coalho. Caso do Queijo tipo "coalho"
- Soro ácido, obtido a partir da acidificação do leite
- Soro desproteinado, obtido a partir da coagulação das proteínas a quente (90°C).

O soro doce representa de 80-90% do volume total de leite que entra no processo industrial e contém em torno de 50% dos nutrientes do leite original, como proteínas solúveis, lactose, vitaminas e sais minerais.

A produção mundial de soro é cerca de 102,6 milhões de toneladas, considerando-se que o coeficiente médio de transformação é de cerca de 9 kg de soro para 1 kg de queijo. O potencial de poluição dos efluentes dos laticínios é aproximadamente cem vezes superior ao do esgoto doméstico. Atualmente, constitui uma prática pela maioria das usinas em descartar o soro do queijo, direta ou indiretamente, nos cursos de água. Uma fábrica com produção média de 300000 L de soro por dia polui o equivalente a uma pequena cidade de 150000 habitantes.

Processos Anaeróbicos

O processo anaeróbio baseia-se na utilização de microrganismos na ausência de oxigênio livre, para a degradação da matéria orgânica. Esta degradação refere-se às reações que reduzem as dimensões de partículas, tornando-as solúveis ou, a nível molecular, quebram cadeias ou ligações triplas ou duplas existentes. Os produtos finais do processo anaeróbio são metano e compostos inorgânicos, incluindo o dióxido de carbono e amônia (MCCARTY, 1982).

Sendo um processo biológico, o meio deve oferecer as condições requeridas pelos microrganismos para que realizem as reações de interesse (isto é, convertam o máximo possível da matéria orgânica presente nos produtos finais do processo anaeróbio). Dentre essas condições citam-se, por exemplo: temperatura, pH, energia disponível, reagentes aos quais os microrganismos estejam adaptados, concentrações de reagentes (substratos) e produtos que favoreçam as reações, presença de nutrientes (nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio cálcio e outros) e ausência de inibidores.

As condições necessárias aos microrganismos do processo anaeróbio devem ser otimizadas em um sistema anaeróbio de tratamento de efluentes líquidos, para que haja uma conversão satisfatória da matéria orgânica, o que é verificado através do monitoramento desse sistema.

A concentração da matéria orgânica, para determinação da composição do meio em sistemas anaeróbios é apresentada na literatura em termos específicos, quando as moléculas envolvidas e suas concentrações são determinadas, ou relativas, ao montante de moléculas ou átomos orgânicos ou átomos de carbono, como por exemplo, no caso da determinação de demanda bioquímica de oxigênio - DBO, de demanda química de oxigênio - DQO e de carbono orgânico total - COT. Entretanto, nesse trabalho a matéria orgânica a ser considerada será quantificada pela incineração a 550°C (mediante pré-secagem a 70°C/24h), devido a necessidade da simplificação dos métodos analíticos, para uma estimativa de forma mais rudimentar possível.

Tratamento de Efluentes

O processo de tratamento anaeróbio para tratamento de efluentes, é conhecido há mais de um século. Porém, até a década de 1960, o processo de digestão anaeróbia foi utilizado basicamente para a estabilização do lodo gerado em sistemas de tratamento de águas residuárias (MARAGNO & CAMPOS, 1992).

A aplicação de altas cargas orgânicas volumétricas era impossibilitada devido à configuração dos reatores. Os primeiros reatores anaeróbios (tanques Imhoff, digestores de mistura completa, etc.) apresentavam um tempo de detenção hidráulica igual ao tempo de retenção da biomassa; ou seja, igual ao tempo requerido para que as reações anaeróbias ocorram, o que inviabilizavam o uso de altas cargas.

O desenvolvimento da tecnologia em sistemas anaeróbios para tratamento de efluentes líquidos ocorre basicamente no sentido de: reduzir o tempo de detenção hidráulica, reter o máximo de biomassa, tornar a operação destes sistemas mais simples e prever a eficiência de remoção de matéria orgânica para as características do efluente (incluindo possíveis variações).

Com a evolução do mecanismo de retenção da biomassa foi possível a obtenção de reatores para altas cargas orgânicas, com tempos de detenção mais curtos, isto é, com volumes reduzidos. Nestes reatores, o lodo é retido como agregados de bactérias (reator anaeróbio de manta de lodo), como biofilme sobre o material suporte (filme fixo e reatores de leito fluidificado), ou como ambos, agregados e em biofilme (típico em filtros anaeróbios). No caso do estudo, em questão, a retenção não será realizada por nenhum recheio sólido, sendo a estimativa meramente pelos agregados em suspensão.

A aplicabilidade de processos anaeróbios em efluentes de indústrias de bebidas já é conhecida. HIRATA (1994) comenta outros segmentos industriais para os quais já existe experiência suficiente em tratamento anaeróbio no e que ainda devem ter muito mercado para o futuro. São citados os segmentos de álcool, laticínios, alimentos frigoríficos/abatedouros, e papéis.

Vantagens e Desvantagens

O processo anaeróbio é comparado ao aeróbio, pois também é aplicável a efluentes líquidos com matéria orgânica de características biodegradáveis. Na Tabela 1 apresentam-se vantagens e limitações do processo anaeróbio para tratamento de efluentes.

TABELA 1- Vantagens e limitações do processo anaeróbio para tratamento de efluentes

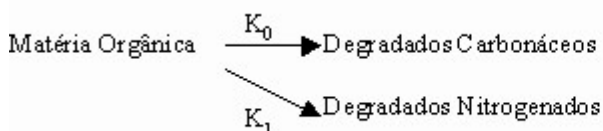
Vantagens	Limitações
1) Baixa produção de sólidos biológicos residuais;	1) processo mais sensível a alguns compostos específicos, como ao triclorometano, ao clorofórmio e ao cianeto, por exemplo;
2) O lodo biológico residual é um produto altamente estabilizado, do qual pode-se extrair água facilmente;	2) Relativos longos períodos de tempo são requeridos para a partida do processo, como resultado da baixa taxa de crescimento das bactérias anaeróbias;
3) Baixo requerimento de nutrientes;	3) A digestão anaeróbia é basicamente um método de pré-tratamento; um pós tratamento adequado é requerido antes que o efluente seja lançado aos cursos d'água;
4) Não requer energia para aeração;	4) Pouca experiência prática.
5) Produção de metano, que é um produto final utilizável;	
6) Pode-se aplicar altas cargas orgânicas, sob condições adequadas;	
7) O lodo anaeróbio mantém-se ativado por vários meses sem alimentação.	

Fonte: Adaptado de LETTINGA et al. (1980).

Apesar de bem delineadas, as vantagens desse tipo de tratamento ainda são limitadas pela ausência do conhecimento específico da digestibilidade de cada tipo de efluente, daí a importância da qualificação de parâmetros que imponham mecanismos cinéticos diferenciados para o projeto de unidades de tratamentos particularizadas.

Modelo Cinético

A degradação da matéria orgânica ocorre segundo duas linhas básicas: a primeira devido à digestão dos compostos carbonáceos (carboidratos para o caso do efluente em questão) e a segunda devido aos compostos nitrogenados (proteínas). Seguindo essa tendência, a cinética de biodegradação é estruturada por duas velocidades específicas, conforme esquema a seguir:



A representação matemática dessa cinética compreende uma equação do tipo:

$$\frac{Sv}{Sv0} := \frac{k_1}{k_0 + k_1} + \frac{k_0}{k_0 + k_1} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t]$$

Para a resolução desse modelo e obtenção dos valores específicos de cada efluente, se fazem necessárias duas novas equações devido às exigências do algoritmo de cálculo, logo, as outras expressões podem ser obtidas pelas derivadas em relação a k_0 e a k_1 , formando o seguinte sistema:

$$\begin{bmatrix} \frac{k_1}{k_0 + k_1} + \frac{k_0}{k_0 + k_1} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \\ \frac{-k_1}{(k_0 + k_1)^2} + \frac{1}{(k_0 + k_1)} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] - \frac{k_0}{(k_0 + k_1)^2} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \cdot \frac{-k_0}{(k_0 + k_1)} \cdot t \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \\ \frac{1}{(k_0 + k_1)} - \frac{k_1}{(k_0 + k_1)^2} - \frac{k_0}{(k_0 + k_1)^2} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] - \frac{k_0}{(k_0 + k_1)} \cdot t \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \end{bmatrix}$$

A partir dos dados experimentais, ajustam-se os parâmetros e tem-se a representatividade matemática do fenômeno em questão. Para a obtenção dos parâmetros, utiliza-se de uma rotina de cálculo (com valores arbitrários para k_0 e k_1), e simula-se até que ocorre a convergência dos dados para o ajuste aos resultados experimentais (diferença a níveis de 0,001). No caso do uso do Mathcad®, a função que define esse ajuste é a **genfit**. O algoritmo a ser implementado, fica definido como na Figura 1.

1. Entrada de dados

$$vxl := \begin{pmatrix} 0 \\ 2.26 \\ 4.17 \\ 17.11 \\ 21.13 \\ 37.17 \\ 44.17 \\ 62.88 \\ 73.88 \end{pmatrix} \quad vyl := \begin{pmatrix} 1 \\ 0.79 \\ 0.75 \\ 0.59 \\ 0.59 \\ 0.43 \\ 0.41 \\ 0.40 \\ 0.36 \end{pmatrix}$$

2. Modelo e suas derivadas parciais

$$F(t, k) := \frac{k_1}{k_0 + k_1} + \frac{k_0}{k_0 + k_1} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t]$$

$$\frac{d}{dk} F(t, k) \rightarrow \frac{\frac{d}{dk} k_1}{(k_0 + k_1)} - \frac{k_1}{(k_0 + k_1)^2} \cdot \left(\frac{d}{dk} k_0 + \frac{d}{dk} k_1 \right) + \frac{\frac{d}{dk} k_0}{(k_0 + k_1)} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] - \frac{k_0}{(k_0 + k_1)^2} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \cdot \left(\frac{d}{dk} k_0 + \frac{d}{dk} k_1 \right) + \frac{k_0}{(k_0 + k_1)} \cdot \left(-\frac{d}{dk} k_0 - \frac{d}{dk} k_1 \right) \cdot t \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t]$$

$$F(t, k) := \begin{bmatrix} \frac{k_1}{k_0 + k_1} + \frac{k_0}{k_0 + k_1} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \\ \frac{-k_1}{(k_0 + k_1)^2} + \frac{1}{(k_0 + k_1)} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] - \frac{k_0}{(k_0 + k_1)^2} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \cdot \frac{-k_0}{(k_0 + k_1)} \cdot t \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \\ \frac{1}{(k_0 + k_1)} - \frac{k_1}{(k_0 + k_1)^2} - \frac{k_0}{(k_0 + k_1)^2} \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] - \frac{k_0}{(k_0 + k_1)} \cdot t \cdot \exp[-(k_0 + k_1) \cdot t] \end{bmatrix}$$

3. Chute inicial

$$wq := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.05 \end{pmatrix}$$

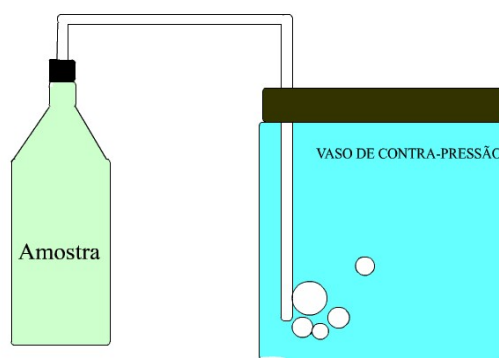
4. Parâmetros

$$Param100 := \text{genfit}(vxl, vyl, wq, F) \quad Param100 \begin{pmatrix} k0 \\ k1 \end{pmatrix}$$

Figura 1: Algoritmo do Mathcad para Ajuste dos Parâmetros**METODOLOGIA**

O efluente estudado foi coletado numa queijaria do município de Parnamirim-RN, estado do Rio Grande do Norte, proveniente do processo de produção do queijo tipo "coalho". A coleta foi realizada logo após a etapa de tratamento da coalhada. E o efluente foi acondicionado em caixas isotérmicas, contendo cubos de gelo, sendo assim, transportado para o laboratório onde se procedeu ao estudo.

Para os ensaios de biodigestão, eram transferidos 330mL do soro homogeneizado para garrafas de polietileno (especialmente preparadas com tampa e mangueira para saída de gases). Foram utilizadas 30 garrafas para acompanhamento em cerca de 75 dias, sem periodicidade de análise pré-definida. A mangueira de contra-pressão era submersa em água de recipientes auxiliares (essa medida visava bloquear o contra-fluxo de gases, e com isso garantir o ambiente anaeróbio ao longo do experimento). O Modelo do Módulo Experimental é mostrado na Figura 2. Os ensaios foram realizados em laboratório com temperatura estabilizada em cerca de 25°C e com ausência de insolação direta, em fase estagnada.

**Figura 2: Esquema do Módulo Experimental**

As determinações analíticas ao longo dos 75 dias foram:

- Teor de Sólidos Totais: Método Gravimétrico, por secagem a 70°C.
- Teor de Sólidos Voláteis: Método Gravimétrico, por calcinação a 550°C (por diferença de massa).
- Teor de Sólidos Fixos: Método Gravimétrico, por calcinação a 550°C.
- pH: Medidas diretas em Potenciômetro Digital.
- Acidez: Método Volumétrico utilizando solução padrão de NaOH 0,01M e fenolftaleína como indicador (expresso em g ácido láctico/g amostra).
- Turbidez: Medição direta em Turbidímetro (diluição de 5% de amostra em água).
- Aspectos Organolépticos: Avaliação em escala específica para a cor e o odor.

Os dados obtidos para a matéria orgânica (Sv) foram ajustados no software Mathcad 2001, para resolução do modelo matemático idealizado.

Os ensaios foram realizados em duplicata, visando a constatação da reprodutibilidade dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento do consumo da matéria orgânica foi acompanhado pelas variações do meio, principalmente em termos da acidez, onde foram observados aumentos significativos nesses índices. Esse aumento prejudicou a eficiência do processo, no entanto, podem ser amenizados em sistemas contínuos, porém não é o enfoque principal desse trabalho e não serão discutidos minuciosamente.

Os dados de Sólidos Voláteis (Sv) foram determinados em altos níveis de precisão (0,0025), e são listados na Tabela 2. Foram calculados os respectivos desvios padrões das análises, o que justificam a boa reprodutibilidade do método

analítico utilizado.

Tabela 2: Dados Experimentais para a Matéria Orgânica ao Longo do Tempo de Degradação

Tempo (dia)	Sv (%) – Ensaio 1	Sv (%) – Ensaio 2	Desvio Padrão
0	6,174	6,174	0,0000
2,26	4,877	4,888	0,0075
4,17	4,631	4,634	0,0025
17,11	3,643	3,651	0,0059
21,13	3,643	3,649	0,0045
37,17	2,655	2,651	0,0027
44,17	2,531	2,531	0,0002
62,88	2,470	2,471	0,0010
73,88	2,223	2,222	0,0005

Os dados experimentais foram implementados no Mathcad®, e ajustados ao modelo idealizado para o sistema, gerando o gráfico do sistema, que é representado na Figura 4.

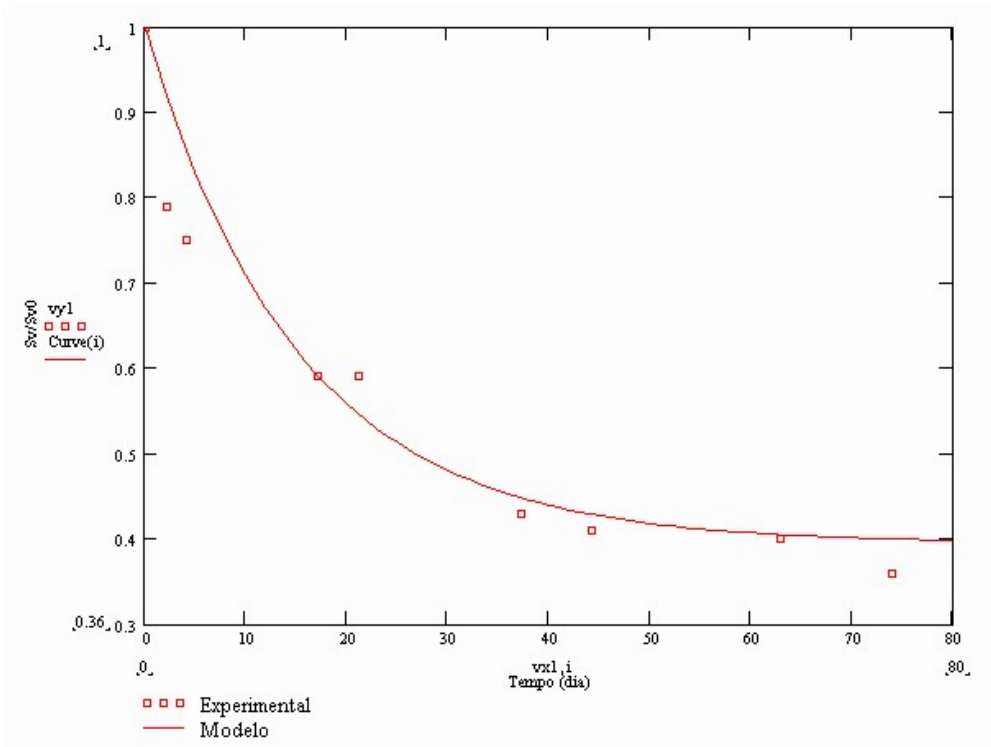


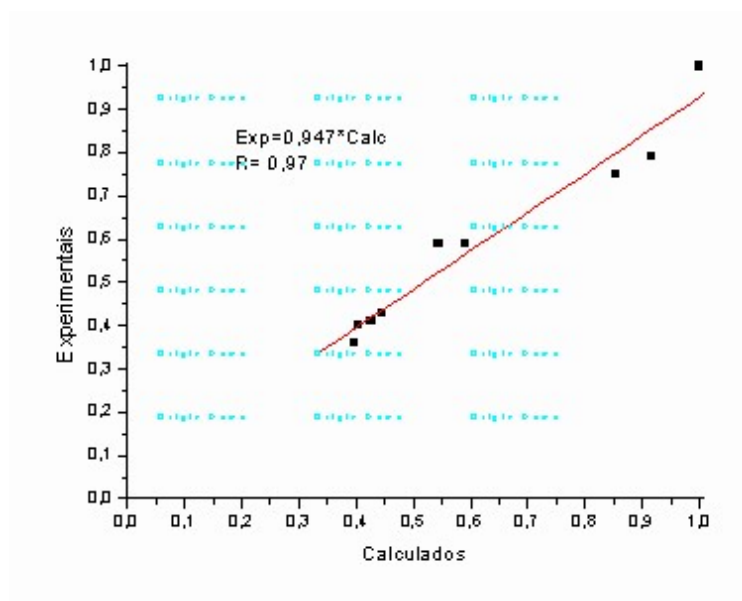
Figura 4: Representação do Modelo Ajustado pelo Mathcad.

O modelo forneceu o ajuste das duas constantes cinéticas, que representam a velocidade específica de consumo dos derivados de carbono e de nitrogênio, na Tabela 3 são listados os valores para os parâmetros ajustados pelo modelo. Nota-se, entretanto, que o consumo da matéria orgânica carbonácea possui uma velocidade específica de uma e meia vezes superior a da matéria orgânica nitrogenada, portanto, pode ser um fator importante para limitar os tempos de detenção hidráulica em certos projetos. Deve-se, entretanto, rever as concentrações e a significância que cada um desses constituintes tem no efluente, na medida que a concentração de carboidratos é quase que cinco vezes superior a de proteínas, no efluente em questão.

Tabela 3: Parâmetros Ajustados pelo Modelo

Parâmetros	Valores (dia ⁻¹)
K ₀	0,040
K ₁	0,026

Um comparativo entre os dados experimentais e os simulados pelo modelo pode ser observado na Figura 5, onde se tem uma boa correlação do modelo (97%), bem como, um baixo valor para o fator de correção, da ordem de 0,95.

**Figura 5: Comparação entre os Dados Experimentais e os Valores Preditos pelo Modelo.**

CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos, pode-se concluir que:

1. O modelo matemático proposto apresenta uma boa correlação com os dados experimentais obtidos, com coeficientes da ordem de 97%.
2. A metodologia experimental de correlação com os dados experimentais de sólidos voláteis mostrou-se satisfatória, requisitando apenas de comparação com outros métodos analíticos mais avançados para constatação e validação, com maiores níveis de precisão da remoção da matéria orgânica.
3. O módulo experimental de simulação da digestão anaeróbica mostrou-se condizente com a expectativa, no entanto, se fazem necessários experimentos complementares em fase contínua e sob agitação, para avaliar as equações de scale-up para o sistema estudado.
4. O soro de queijo mostrou poder ser tratado pelo processo anaeróbio, no entanto, apresentando índices de remoção máximos da ordem de 60% da matéria orgânica, sendo necessários tratamentos prévios ou complementares para sua deposição final em corpos receptores. No entanto, os ensaios foram realizados com o efluente com baixa carga microbiana, sendo a inoculação com efluentes domésticos uma alternativa para o aumento da eficiência e a redução do tempo de degradação.
5. O software Mathcad© apresentou uma boa performance na resolução das equações diferenciais propostas, apresentando uma interface de fácil manipulação e com tempos de respostas satisfatórios.

São necessários estudos complementares para validar a metodologia, porém, os resultados apesar de preliminares apresentam boas perspectivas para o uso do modelo, tanto em sistemas lácticos como em outros efluentes orgânicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFA LAVAL. **Manual de Indústrias Lácteas**. 2ª ed. Editora Iragra. 1990. Madri – Espanha.

HIRATA, Y.S. **Experiências e perspectivas do tratamento anaeróbio no Brasil**. In: Taller y Seminario Latinoamericano Tratamento Anaerobio de Aguas Residuales, 3, 1994, Montevideo. **Proceedings...**Montevideo: Graphis Ltda. Juan C. Gomez, 1994, p.281-291.

LETTINGA, G., VAN VELSEN, A.F.M., HOBMA, S.W. et al. **Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment**. Biotechnology and Bioengineering, v.22, p.699-734, 1980.

MARAGNO, A.L.F.C., CAMPOS, J.R. **Treatment of wastewater with a low concentration of organics using an anaerobic fluidized bed reactor**. Water Science and Technology, Oxford, v.25, n.7, p.179-191, 1992.

SPREER, E. **Lactologia Industrial**. 6ª. Ed. Editora Acríbia S.A. 1991. Zaragoza – Espanha.

YOUNG, J.C., YANG, B. **Design considerations for full-scale anaerobic filters**. Fayetteville: University of Arkansas.1988. 27p. (Apostila).

NOMENCLATURA

K0 – Constante de Velocidade Específica para a Degradação da Matéria Carbonácea

K1 – Constante de Velocidade Específica para a Degradação da Matéria Nitrogenada

Sv – Sólidos Voláteis.

Sv0 – Sólidos Voláteis no início do ensaio.

T – Tempo