



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP
Telefona: (018) 274 2477 - Fax: (018) 272 5958 - e-mail: postmaster@cnpdia.embrapa.br

ISSN 1413-6244

PESQUISA EM ANDAMENTO

Nº 7, dez/96, p.1-4

INSTRUMENTAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSO DE FERMENTAÇÃO SEMI-SÓLIDA

Victor Bertucci Neto¹
Sônia Couri²

O mercado mundial de enzimas industriais foi estimado em 625 milhões de dólares, em 1990. Cerca de 62% das enzimas produzidas são usadas pela indústria de alimentos, 33% em detergentes e 5% nas indústrias têxtil e de couro. Das enzimas produzidas, 80% são hidrolíticas, utilizadas para a despolimerização de produtos naturais. Destas, 60% são proteases, 30% carboidrases, 3% lipases e o restante enzimas especializadas tais como as pectinases. Na indústria de alimentos o maior uso está no processamento do amido seguido pela produção de queijos, processamento de sucos de frutas e vegetais, clarificação de sucos e vinhos, panificação e cervejaria.

Muitos produtos alimentícios fermentados no Oriente são obtidos em substrato sólido como o *tempeh*, *nato*, *miso*, que freqüentemente utilizam soja e cereais como substratos. Foram esses processos de produção de alimentos fermentados no Oriente que deram origem às técnicas modernas de Fermentação Semi-Sólida (FMSS). Posteriormente, a FMSS passou a ser utilizada para a obtenção de vários produtos, desde que se dispusesse do microrganismo adequado. Para a produção de enzimas são utilizados basicamente dois tipos de processo: a fermentação semi-sólida e a fermentação líquida submersa.

O processo em meio semi-sólido apresenta as seguintes vantagens: utiliza substratos simples, necessitando em muitos casos somente da adição de água; permite reciclar resíduos sólidos; ocupa pouco espaço operacional; menor custo de operação (energia, água, mão-de-obra e manutenção); menor custo do equipamento (os custos de reatores para fermentações submersas são altos); reduz o índice de contaminação devido ao baixo teor de umidade; produto final mais concentrado (o que facilita sua recuperação) e menor produção de resíduos indesejáveis. Apresenta, porém, limitações: exige inoculação maciça e perfeita homogeneização do meio; limitação geométrica do crescimento do micélio no material, principalmente nos poros intersticiais; dificuldade de colher amostras representativas para o acompanhamento do processo, além de reduzida oferta de publicações técnicas sobre o assunto.

Nos anos 70, quando houve uma retomada nas pesquisas em FMSS, já havia um consenso entre autores que as dificuldades encontradas na fermentação

¹ Eng. Eletricista, MSc., pesquisador da EMBRAPA - CNPDIA

² Doutora Eng. Bioquímica, pesquisadora da EMBRAPA - CTAA

PA/7, CNPDIA, dez/96, p.2

semi-sólida estão, principalmente, em se fazer o escalonamento dos modelos de bancada, a sua instrumentação, automação e construção de biorreatores adequados. Observa-se, também, uma tendência para fermentadores do tipo tambor rotativo. Algumas demandas por Pesquisa e Desenvolvimento na área de FMSS são:

- métodos econômicos de mistura, aquecimento, esterilização, inoculação e incubação do substrato sólido;
- melhoria na instrumentação para monitoramento, controle e automação dos parâmetros do processo e
- desenvolvimento de modelos matemáticos para predição efetiva e otimização dos dados.

A fermentação em meio semi-sólido (FMSS) pode ser processada em dois tipos de reatores estáticos (leito fixo ou bandejas) e dinâmicos (tambor rotativo). A principal desvantagem dos reatores estáticos está associada à remoção de calor, que ocorre apenas por condução, tornando o processo caro quando se opera em escala comercial, necessitando de equipamentos grandes e com elevada fração de vazios. A principal desvantagem dos reatores dinâmicos está associada ao impacto sobre o micélio, que é frágil. Não existem, portanto, princípios estabelecidos para a seleção de biorreatores. Cada sistema substrato-microorganismo requer um projeto e condições específicas.

Os reatores convencionais usados na FMSS são classificados em seis tipos principais: reatores com bandejas; sistema Windrow; torre; leito com aeração forçada; tambor rotativo e tanque agitado. Os primeiros três tipos são sistemas de operação descontínua, de menor custo de capital e operação, porém não possibilitam um controle adequado dos parâmetros envolvidos no processo. Os demais podem ser usados em operação contínua e descontínua, têm maior custo de capital e, se necessário, permitem um controle mais adequado do processo.

A aplicação de modernos conceitos de reatores rotativos e de instrumentação para controle e simulação de processos é indispensável para o aperfeiçoamento técnico dos biorreatores disponíveis para FMSS assegurando, assim, a sua utilização em plantas industriais. A automação é imprescindível para o controle do processo. O desenvolvimento do reator com automação e controle em escala comercial poderá ser utilizado para produção de diferentes metabólitos de interesse da agroindústria. O primeiro passo para se consolidar a automação do sistema exige a concepção e construção de um biorreator com aplicação de instrumentação adequada para aquisição de dados de vários parâmetros do processo para posterior definição e solução de uma lei de controle que possa otimizá-lo. A otimização do processo deve visar diminuição de custos com energia e insumos, além de maximizar o produto obtido. Os modelos fenomenológicos aplicados à FMSS trazem dificuldades de análise e validação, devido às poucas simplificações matemáticas que podem ser feitas. Os balanços de energia e massa acarretam em um tempo excessivo de cálculo, que muitas vezes não levam a soluções satisfatórias. Uma das maneiras de se evitarem os modelos fenomenológicos é a de aplicar metodologia de sistemas especialistas, ou seja, baseados no conhecimento adquirido sobre o processo. Outra tendência é a de aplicar modelagem híbrida, baseada, em parte, em modelo fenomenológico, e outra em rede de aprendizagem, ou apenas modelamento via rede de aprendizagem.

PA/7, CNPDIA, dez/96, p.3

Neste trabalho realizado no subprojeto 10.0.94.743, com financiamento da EMBRAPA, cujo título é "Estabelecimento de Controle e Automação de um Biorreator para o Processo de Fermentação Semi-Sólida", está sendo desenvolvido um biorreator do tipo tambor rotativo (esquematizado na Figura 1), tendo como corpo um cilindro de vidro PIREX e extremidades (tampo) em aço inox, conectadas ao corpo por um sistema tipo flange, onde se fixam os eixos para rotação do tambor. Um eixo é fixo, girando sobre um rolamento no tampo, e vazado internamente para permitir a adaptação das conexões de entrada (água, ar e inoculação) e saída (ar, sensores de temperatura e umidade). A vedação do acoplamento do corpo de vidro PIREX aos dois tampos do reator se dá por anéis de TEFLON PTFE, mantendo-se o conjunto (corpo e tampos) unido e vedado com o uso de tirantes. Assim, eventuais desvios de planicidade e circunferência, devido ao corte do corpo de vidro, são compensados graças à maleabilidade do teflon, garantindo uma vedação adequada. O rolamento montado no eixo fixo vazado terá vedação dupla e retentor bilabial de TEFLON PTFE, para garantir que não haja vazamento pelo eixo e que líquidos ou gases possam afetá-lo. Permite-se a retirada e colocação de todo o conjunto do tambor na base, de forma que se possa esterilizá-lo em autoclave. Na parte interna do reator se encaixa, no eixo fixo vazado, uma peça de distribuição das entradas e saídas. A geometria dessa peça não é definitiva, pois será necessário que se façam várias fermentações para determinar as melhores condições de rotação, vazão de fluidos, infiltração de ar e água e retirada de calor do meio. Assim, a tendência é que sejam construídas peças de distribuição com diferentes formatos, determinando seus respectivos desempenhos para definir a opção final. Todos os componentes do tambor rotativo serão em aço AISI 316L, exceto o cilindro de vidro pirex, devido a sua excelente resistência à corrosão. O conjunto motor, eixo móvel e correia é montado na base do sistema. O motor para transmissão do movimento de rotação é do tipo de passo, evitando-se custos extras com medida e realimentação do sinal de rotação, além de maior complexidade no circuito eletrônico de controle. Será instalado um circuito de aquisição de dados, que possibilita, via interface com computador, armazenar as medidas obtidas nas variáveis consideradas no processo. Como características principais, este circuito, desenvolvido na EMBRAPA-CNPDIA, apresenta grande versatilidade quanto ao número de entradas analógicas e saídas digitais, de forma a que se possa medir e registrar vários parâmetros, tais como: temperatura do meio em vários pontos, umidade, fluxo de ar, pH etc. Esses dados serão armazenados de forma programada em cada processo realizado e serão transferidos para um computador conectado ao sistema de aquisição de dados. Nesse mesmo circuito haverá um programa de controle de rotação para o motor de passo, que será acionado via teclado e programado conforme a necessidade do operador. Um dos gargalos desse tambor rotativo é o controle de temperatura e umidade do meio de fermentação. Apesar de vários trabalhos da literatura insistirem no controle de temperatura por meio de condução de calor, sabe-se que essa maneira apresenta um rendimento muito baixo, como foi demonstrado por Mariano Gutierrez-Rojas, do Departamento de Biotecnologia da Universidade Autônoma Metropolitana do México, durante um curso sobre fermentação semi-sólida, realizado na EMBRAPA-CNPMA (Centro Nacional de Pesquisa em Monitoramento Ambiental) em agosto de 1992. A melhor maneira é a de se controlar a temperatura por convecção de calor, ou seja, fazendo o arraste

PA/7, CNPDIA, dez/96, p.4

de calor através de outro fluido, no caso, ar umidificado. Dessa forma, garantindo-se uma agitação adequada (que inclui a colocação de aletas de agitação na parte interna do reator), uma transferência de ar e umidade suficiente e uniforme, pode-se além de fornecer oxigênio ao meio, controlar a temperatura. Portanto, para superar as dificuldades encontradas nos reatores dinâmicos com relação à fragilidade do micélio, serão introduzidas duas modificações já descritas. A primeira, ligada à geometria, trata-se da inclusão de aletas inclinadas na superfície interna do tambor, com vistas a reduzir o impacto durante a agitação. A segunda, está ligada ao processo, cuja meta é modificar a etapa de agitação impondo um movimento rápido desde o início do crescimento, visando obter células imobilizadas.

Como os processos de fermentação apresentam modelos matemáticos complexos, devido ao fato de serem não-lineares, não-determinísticos e até mesmo não-causais, torna-se muito difícil implementar uma lei de controle do sistema sem conhecer a fundo suas características. A abordagem usual tem sido repetir várias vezes o processo, registrando-se o comportamento das principais variáveis segundo uma faixa de trabalho, criando-se, assim, uma base de dados, a qual será ponto de partida para a tomada de decisão quanto à automação do processo, que por sua vez será do tipo sistema especialista.

A instrumentação para o reator é constituída de sensores e sistemas de medida e aquisição de dados para variáveis como: umidade e temperatura do ar de entrada e saída; análise de O₂ e CO₂; temperatura do meio e do banho de aquecimento/resfriamento do circuito de ar e fluxo de ar.

Os resultados iniciais do produto de FMSS obtidos em escala de laboratório, na EMBRAPA-CTAA, estão apresentados nos anais do I SIAGRO (Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, novembro de 1996, no prelo) sob o título : Fermentação Semi-Sólida com Aeração Forçada: Acompanhamento do Consumo de Oxigênio e Síntese de Enzimas por *Aspergillus niger* 3T5B8.

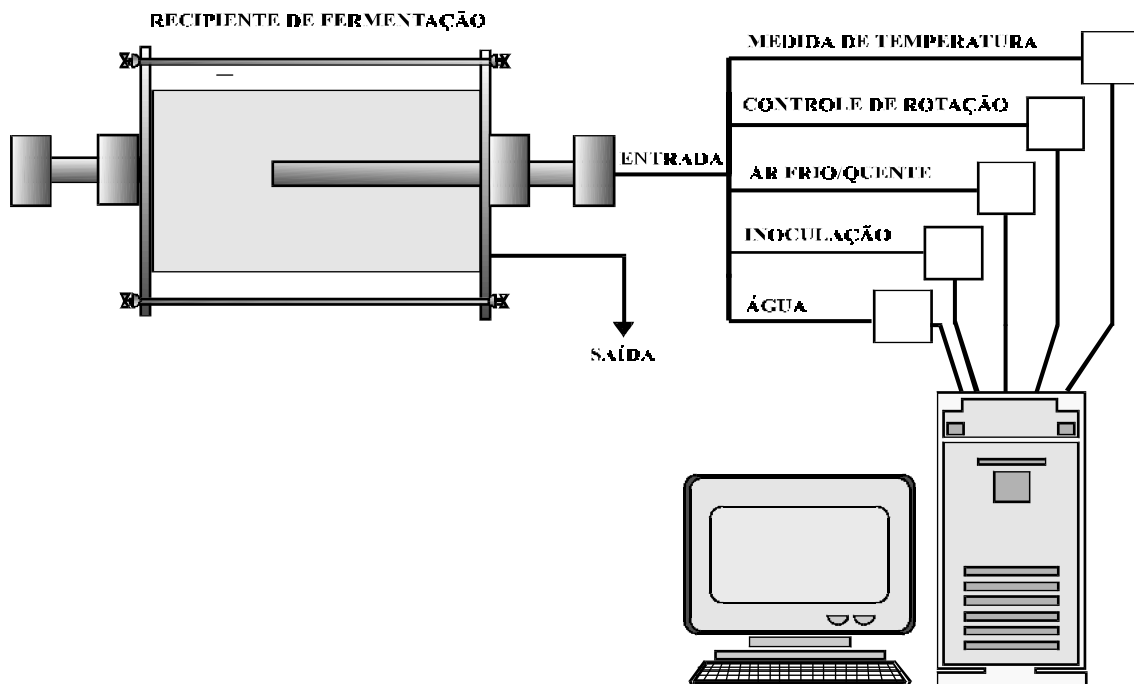


Figura 1: Esquema de instrumentação para aquisição de dados e controle dos parâmetros envolvidos na FMSS