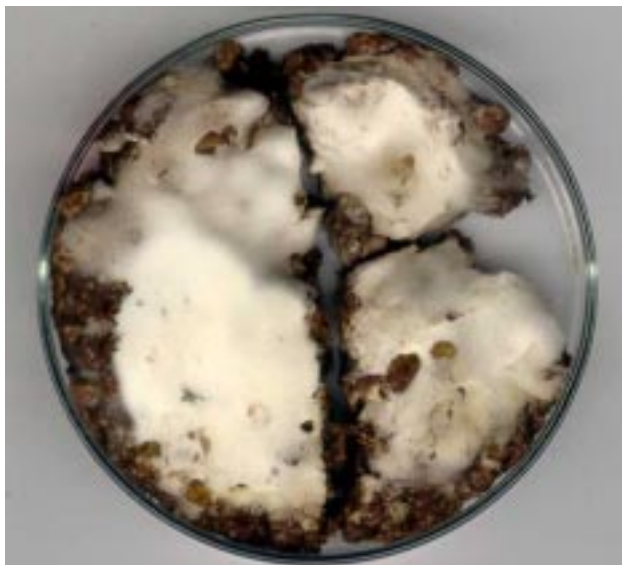


Foto: Cláudio Norões Rocha



Fermentação em Estado Sólido: Uma Alternativa para o Aproveitamento e Valorização de Resíduos Agroindustriais Tropicais

Gustavo Adolfo Saavedra Pinto¹
Edy Sousa de Brito¹
Andrea Maria Rodrigues Andrade²
Sandra Lúcia Pinheiro Fraga³
Renata Beltrão Teixeira³

A geração de resíduos e subprodutos é inerente a qualquer setor produtivo. O aumento da conscientização ecológica, iniciado no final do Século XX, deixou claro que o grande desafio da humanidade para as próximas décadas é equilibrar a produção de bens e serviços, crescimento econômico, igualdade social e sustentabilidade ambiental.

Os setores agroindustrial e de alimentos produzem grandes quantidades de resíduos, tanto líquidos como sólidos. Esses resíduos podem apresentar elevados problemas de disposição final e potencial poluente, além de representarem, muitas vezes, perdas de biomassa e de nutrientes de alto valor. Ao contrário do que acontecia no passado, quando resíduos eram dispostos em aterros sanitários ou empregados sem tratamento para ração animal ou adubo, atualmente, conceitos de minimização, recuperação, aproveitamento de subprodutos e bioconversão de resíduos são cada vez mais difundidos e necessários para as cadeias agroindustriais (Laufenberg et al., 2003).

Particularmente, a bioconversão dos resíduos agrícolas e da indústria de alimentos está recebendo crescente atenção, uma vez que essas matérias residuais representam recursos possíveis e utilizáveis para a síntese de produtos

úteis. Nesse contexto, a fermentação em estado sólido (FSS) desempenha um papel de destaque no aproveitamento de resíduos sólidos, pois, em virtude do crescimento microbiano, ocorre a síntese de diversos compostos, dos quais muitos apresentam grande interesse para segmentos industriais, além de elevado valor agregado.

Mundialmente, as atuais linhas de pesquisa em FSS são o **enriquecimento protéico de resíduos agroindustriais**, onde microrganismos selecionados aumentam o teor protéico desses materiais, de modo a serem utilizados na alimentação humana ou animal; a **destoxificação de resíduos**, por meio da eliminação de substâncias recalcitrantes que impedem sua aplicação intensiva; e a **produção de compostos de alto valor agregado**, como enzimas e diferentes metabólitos (Raimbault, 1998; Pandey, 2003).

O termo fermentação em estado sólido, ou fermentação semi-sólida, ou fermentação em meio semi-sólido aplica-se ao processo de crescimento de microrganismos sobre substratos sólidos sem a presença de água livre. A água presente nesses sistemas encontra-se ligada à fase sólida, formando uma fina camada na superfície das partículas (Raimbault, 1998).

¹ Químico, D.Sc., Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita 2.270, Pici, Caixa Postal 3761, CEP 60511-510, Fortaleza, CE.
E-mail: gustavo@cnpat.embrapa.br

² Eng. de Alimentos, B.Sc., Universidade Federal do Ceará.

³ Eng. Química, B.Sc., Universidade Federal do Ceará.

A FSS, também, apresenta as seguintes características:

- A fase sólida atua como fonte de carbono, nitrogênio e demais componentes, além de servir como suporte para o crescimento das células microbianas.
- O ar, necessário ao desenvolvimento microbiano, deve atravessar os espaços vazios do meio a pressões relativamente baixas. O substrato não deve apresentar aglomeração das suas partículas individuais.
- O crescimento microbiano ocorre em condições mais próximas às dos habitats naturais.
- O meio apresenta alta heterogeneidade e os substratos não estão completamente acessíveis ao microrganismo.

Diferentes tipos de microrganismos como bactérias, leveduras e fungos filamentosos podem crescer em substratos sólidos (Aidoo et al., 1982). Contudo, são os fungos filamentosos os mais adaptáveis a esse tipo de processo, pois são capazes de crescerem com pouca água e muitos sólidos presentes, além de sua forma de crescimento, por meio de hifas, favorecer a colonização do meio (Durand, 2003). Esse fato se traduz na grande quantidade de aplicações e produtos obtidos pelo emprego desses microrganismos (Tabela 1).

De todos os parâmetros que influenciam o processo fermentativo, a água apresenta papel de destaque na FSS, em virtude do seu elevado grau de interação com as substâncias que compõem a fase sólida (Gervais & Molin, 2003). Na FSS, a água está relacionada a dois parâmetros: o primeiro, a umidade, diz respeito à porcentagem de água na massa total do meio; o segundo, a atividade de água (a_w), de compreensão um pouco mais complicada, é um parâmetro termodinâmico relacionado ao potencial químico da água, ou seja, à quantidade de moléculas de água disponíveis nas vizinhanças imediatas das partículas do substrato. Para o entendimento da FSS, a umidade tem se mostrado menos elucidativa que a atividade de água, pois esta última afeta diretamente o crescimento microbiano e a síntese de metabólitos.

Os substratos para FSS são, em geral, resíduos ou subprodutos da agroindústria (Pandey, 2003). Farelos, cascas, bagaços e outros são materiais considerados viáveis para a biotransformação (Tabela 1). São recursos naturais renováveis e produzidos em grandes quantidades, o que, algumas vezes, faz com que se tornem um problema ambiental.

A estrutura desses materiais tem como seus principais componentes celulose, hemicelulose, lignina, amido, pectina e proteínas, o que os caracteriza como materiais

extremamente heterogêneos, e que servem tanto como fonte de carbono e energia quanto de suporte para o crescimento microbiano (Pandey, 2003). A heterogeneidade dos substratos não diz respeito apenas a variações existentes entre diferentes lotes de matéria-prima utilizada, mas também às variações na estrutura química de cada uma das moléculas presentes e à proporção entre os diferentes componentes, que podem variar de acordo com a espécie e o tecido vegetal. Dessa forma, cada substrato, com potencial de uso em FSS, deve ser cuidadosamente avaliado.

Considerando-se o grande potencial do Brasil para a produção agrícola, há uma grande geração de resíduos ou subprodutos agroindustriais. Nesse sentido, a fermentação em estado sólido se apresenta como uma tecnologia capaz de propor caminhos alternativos para os resíduos gerados, diminuindo possíveis problemas ambientais, bem como, de agregar valor a essas matérias-primas, por meio da produção de substâncias de interesse econômico, como enzimas, hormônios, ácidos orgânicos, aromas, pigmentos e agentes de controle biológico de pragas (Tabela 1), entre outros, e com isso contribuir para uma maior diversificação do agronegócio nacional. Em escala comercial, uma das principais aplicações da FSS é a produção de ácido cítrico a partir de farelo de trigo. Esse processo, conhecido por "Koji", representa um quinto de todo o citrato produzido anualmente no Japão (Pandey et al., 2001).

Para demonstrar a potencialidade de matérias-primas tropicais produzidas no Estado do Ceará, foi avaliada a capacidade de produção de poligalacturonase por *Aspergillus niger*, em película de amêndoa de caju e em casca de maracujá.

Primeiro, avaliou-se como a adição de diferentes volumes de água aos substratos influencia os parâmetros umidade e atividade de água. Na Tabela 2 observam-se os resultados obtidos para casca de maracujá triturada e película da amêndoa de caju.

Em virtude das características particulares de cada substrato, como composição química, estrutura, umidade inicial, entre outras, os mesmos volumes de água adicionados levaram à obtenção de valores similares de umidade nos meios, mas a isoterma de saturação da matriz, representadas pela a_w distintas.

Em uma segunda etapa, foi acompanhado o crescimento da linhagem e avaliada a produção de poligalacturonase, onde os diferentes valores de atividade de água dos meios tiveram grande impacto.

Tabela 1. Produtos que podem ser obtidos por fermentação em estado sólido a partir de diferentes resíduos e fungos filamentosos (Adaptado de Pinto, 2003).

Produto / Processo	Microrganismos principais	Substratos
Enzimas		
Pectinases	<i>Lentinus edodes</i>	Resíduos de frutas
	<i>Aspergillus carbonarius</i>	Farelo de trigo
	<i>Aspergillus niger</i>	Polpa de café
Hemicelulases	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Farelo de trigo
	<i>Aspergillus tamaritii</i>	Farelo de trigo / Sabugo de milho / Bagaço de cana
Celulases	<i>Trichoderma reesei</i>	Palha de trigo
Amilases	<i>Aspergillus niger</i>	Farelo de trigo
	<i>Aspergillus niger</i>	Resíduos de chá
Protease	<i>Rhizopus oryzae</i>	Farelo de trigo
Lipases	<i>Penicillium restrictum</i>	Torta de babaçu
Fitase	<i>Aspergillus niger</i>	Farelo de trigo / Farinha de soja
Tanase	<i>Aspergillus niger</i>	Farelo de trigo
Substâncias orgânicas		
Ácido cítrico	<i>Aspergillus niger</i>	Resíduo de maçã
	<i>Aspergillus niger</i>	Bagaço de cana
	<i>Aspergillus niger</i>	Resíduos de goiaba
	<i>Aspergillus niger</i>	Resíduos de abacaxi
Ácido giberélico	<i>Gibberella fujikoroii</i>	Farelo de trigo
Pigmentos	<i>Monascus purpureus</i>	Arroz
Carotenóides	<i>Penicillium sp.</i>	Sabugo de milho
Enriquecimento protéico	<i>Penicillium decumbens</i>	Palha de milho
	<i>Rhizopus oligosporus</i>	Farinha de colza
Biorremediação	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Materiais lignocelulósicos
Biopolpação	<i>Pleurotus sp.</i>	Farelo de trigo

Tabela 2. Umidade e a_w dos meios esterilizados obtidos para cada volume de água adicionado a 100 g de dois resíduos agroindustriais tropicais.

Volume de água adicionado a 100 g de resíduo (mL)	Casca de maracujá triturada		Película de amêndoa de caju	
	Umidade (%)	a_w	Umidade (%)	a_w
50	38,0	0,911	36,3	0,968
100	53,5	0,962	52,2	0,978
150	62,8	0,975	61,8	0,982
200	69,0	0,980	68,2	0,986
250	73,4	0,985	72,7	0,993

As Figuras 1 e 2 mostram o crescimento da linhagem *A. niger* CNPAT 001 nos dois meios avaliados. Observou-se que os maiores níveis de crescimento foram obtidos quando a a_w inicial foi entre 0,96 e 0,97. Valores de a_w inicial muito baixos (0,911), ou muito elevados (0,985), foram desfavoráveis ao crescimento. Baixos níveis de a_w significam baixa disponibilidade de moléculas de água nas

proximidades das células, dificultando a troca de solutos na fase sólida e, com isso, diminuindo o metabolismo e acarretando menores taxas de crescimento ou de síntese de metabólitos. Em contrapartida, elevados níveis de a_w dificultam a difusão de ar pelas partículas sólidas; como a linhagem é aeróbica, esse efeito, também, leva à redução no crescimento.

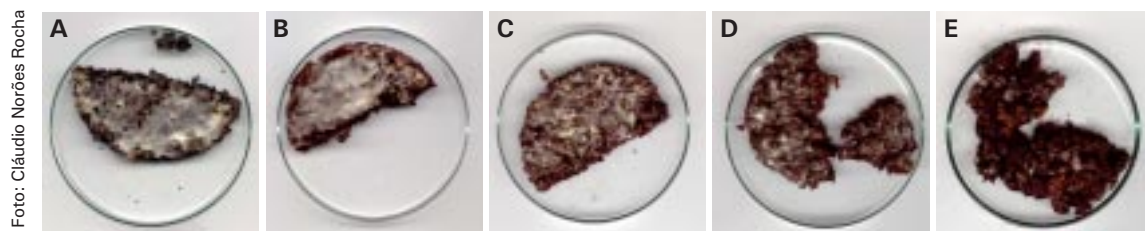


Fig. 1. Crescimento da linhagem *A. niger* CNPAT 001 após 96 horas de crescimento em meio de película de amêndoa de caju. As fotografias A, B, C, D e E representam, respectivamente, os meios com 50, 100, 150, 200 e 250 mL de água adicionados a 100 g de matéria sólida.

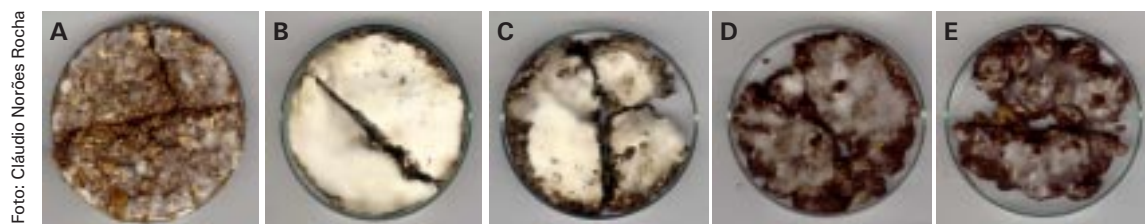


Fig. 2. Crescimento da linhagem *A. niger* CNPAT 001 após 96 horas de crescimento em meio de casca de maracujá triturada. As fotografias A, B, C, D e E representam, respectivamente, os meios com 50, 100, 150, 200 e 250 mL de água adicionados a 100 g de matéria sólida.

A produção da poligalacturonase, também, foi afetada pelos diferentes níveis de a_w inicial (Fig. 3). A resposta de síntese teve seu ótimo, quando esse parâmetro ficou entre 0,96 e 0,97. Nos meios onde foram adicionados 50 e 250 mL de água por 100 g de fase sólida, apesar de se observar crescimento, não foi possível observar a síntese da enzima. Os perfis de produção foram diferentes para cada meio. Os maiores rendimentos (21,85 U/g) e produtividade (0,91 U/g/h) foram obtidos com casca de maracujá triturada.

Este trabalho mostrou a viabilidade do uso de duas dessas matérias-primas testadas, contudo outros experimentos

serão realizados, de forma a maximizar a síntese de poligalacturonase.

Outros resíduos agroindustriais produzidos na Região Nordeste, como torta de mamona, casca de coco, torta de babaçu, cascas, películas e bagaços de frutas tropicais obtidas após despolpamento, também, podem ser utilizados na FSS. Outras enzimas e substâncias, de interesse de diferentes segmentos industriais, podem ser obtidas por esse tipo de processo, em fábricas de menor porte, porém de elevado nível tecnológico, com matérias-primas regionais. Esse fator pode se tornar uma vantagem competitiva, em comparação com empresas que utilizam a fermentação submersa.

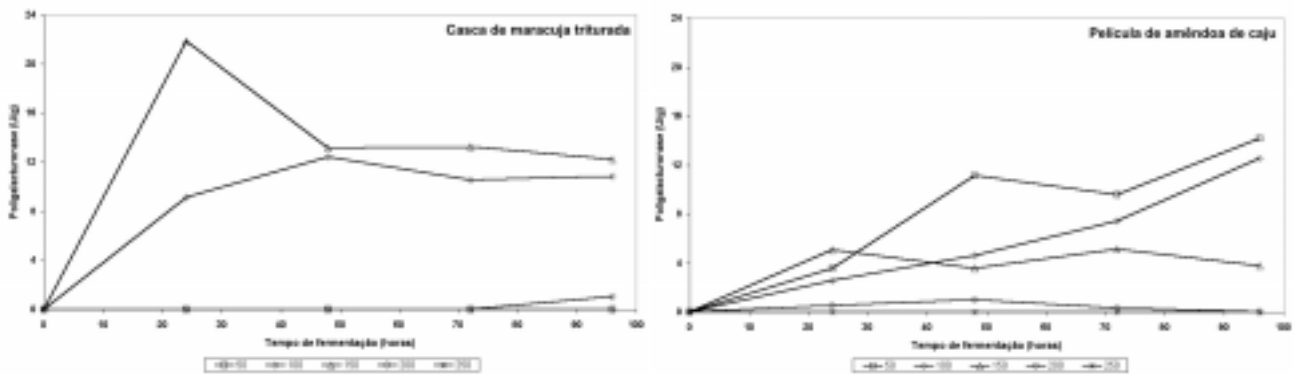


Fig. 3. Atividade de poligalacturonase sintetizada por *A. niger* CNPAT 001 por FSS de casca de maracujá triturada e película de amêndoa de caju.

Referências

AIDOO, K.E.; HENRY, R.; WOOD, B.J.B. Solid state fermentations. **Advances in Applied Microbiology**, v.28, p.201-237, 1982.

DURAND, A. Bioreactors desings for solid state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, n.2/3, p.113-125, 2003.

GERVAIS, P.; MOLIN, P. The role of water in solid state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, n.2/3, p.85-101, 2003.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) The uppgarding concept; (B) Pratical implementations.

Bioresource Technology, v.87, n.2, p.167-198, 2003.

PANDEY, A. Solid state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, n.2/3, p.81-84. 2003.

PANDEY, A.; SOCCOL, C.R.; RODRIGUEZ-LEON, J.A.; NIGAM, P. **Solid state fermentation in biotechnology**. Nova Deli: Asiatech, 2001. 221p.

PINTO, G.A.S. **Produção de tanase por *Aspergillus niger***. 2003. 207p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RAIMBAULT, M. General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. **Eletronic Journal of Biotechnology**, v.1, n.3, 1998.

Comunicado Técnico, 102

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Agroindústria Tropical
Endereço: Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici,
 CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (0xx85) 3299-1800
Fax: (0xx85) 3299-1803 / 3299-1833
E-mail: negocios@cnpat.embrapa.br

1ª edição *on line*: agosto de 2005

Comitê de Publicações

Presidente: Valderi Vieira da Silva
Secretário-Executivo: Marco Aurélio da Rocha Melo
Membros: Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo,
 Marlos Alves Bezerra, Levi de Moura Barros, José
 Ednilson de Oliveira Cabral, Oscarina Maria Silva
 Andrade e Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira.

Expediente

Supervisor editorial: Marco Aurélio da Rocha Melo
Revisão de texto: Maria Emília de Possídio Marques
Editoração eletrônica: Arilo Nobre de Oliveira
Normalização bibliográfica: Ana Fátima Costa Pinto.