

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGRO-INDUSTRIAIS EM PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS COMO PERSPECTIVA DE REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

Lúcia Helena Pelizer¹, Márcia Helena Pontieri¹, Iracema de Oliveira Moraes².

¹ Universidade de Franca – Av. Doutor Armando Salles Oliveira, 201
Parque Universitário, Franca, São Paulo, Brasil – CEP: 14404-600
lucia.pelizer@gmail.com (LHP)

² Universidade de Guarulhos - Pc. Tereza Cristina, nº 1
Centro, Guarulhos, São Paulo, Brasil - CEP: 07023-070

Abstract

Title: Use of agro-industrial residues in biotechnological processes as perspective of reduction of the environmental impact.

The increasing concern about the environment has been mobilizing some market segments. Several governmental bodies and industries are preparing to apply an environment policy that diminishes the negative impacts to the nature. The industrial residue, after being generated, needs an adjusted destination, since, beyond creating potential environment problems, the residues represent losses of raw materials and energy, demanding significant investments in the pollution controlling treatments. The food industry produces a series of residues of high value of (re)utilization. Many works study the residues bioutilization such as the crushed sugar cane for protein enrichment of animal ration. In this work it will be presented a study of a possible usage of the crushed sugar cane for the production of *Spirulina* with satisfactory protein increment results when compared with other results gotten in literature.

Keywords: residue, reutilization, environment impact, bioutilization, sugar cane bagasse.

Resumo

A crescente preocupação com o meio ambiente vem mobilizando vários segmentos do mercado. Inúmeros órgãos governamentais e indústrias estão se preparando para aplicar uma política ambiental que diminua os impactos negativos à natureza. O resíduo industrial, depois de gerado, necessita de destino adequado, pois, além de criar potenciais problemas ambientais, os resíduos representam perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição. A indústria de alimentos produz uma série de resíduos de alto valor de (re)utilização. Muitos trabalhos estudam a bioutilização de resíduos tais como o bagaço de cana-de-açúcar para enriquecimento protéico de ração animal. Neste trabalho será apresentado um estudo sobre a possível utilização do bagaço de cana-de-açúcar para produção de *Spirulina* com resultados de incremento protéico bastantes satisfatórios quando comparados com outros resultados obtidos na literatura.

Palavras-chave: resíduo, reaproveitamento, impacto ambiental, bioutilização, cana-de-açúcar

A crescente preocupação com o meio ambiente vem mobilizando vários segmentos do mercado. Inúmeros órgãos governamentais e indústrias estão se preparando para aplicar uma política ambiental que diminua os impactos negativos à natureza. Os órgãos fiscalizadores têm se mobilizado. Constantes revisões têm ocorrido em resoluções ligadas a resíduos, tais como a RDC 306/04, resolução da ANVISA (Brasil, 2004) e a Res 388/05 do CONAMA (Brasil, 2005) que classificam e propõem tratamentos, forma de manipulação e descarte dos resíduos de serviço da saúde. Muito se fala em Gestão Ambiental e certificação da ISO 14000, conjunto de normas que visa o desenvolvimento de atividades dos mais diversos segmentos, sem transgredir as leis ambientais vigentes. Enfim, o século 21 está preocupado principalmente com o meio ambiente e a sustentabilidade do planeta.

Segundo Demajorovic (1995) resíduos sólidos diferenciam-se do termo lixo porque, enquanto este último não possui nenhum tipo de valor, já que é aquilo que deve apenas ser descartado, aqueles possuem valor econômico agregado, por possibilitarem reaproveitamento no próprio processo produtivo.

De acordo com Timofiecsyk e Pawlowsky (2000), o termo resíduo é utilizado em sentido amplo, englobando não somente sólidos como também os efluentes líquidos e os materiais presentes nas emissões atmosféricas.

O resíduo industrial, depois de gerado, necessita de destino adequado, pois não pode ser acumulado indefinidamente no local em que foi produzido. A disposição dos resíduos no meio ambiente, por meio de emissões de matéria e de energia lançados na atmosfera, nas águas ou no solo deve ocorrer após os resíduos sofrerem tratamento e serem enquadrados nos padrões estabelecidos na legislação ambiental para não causarem poluição (Aquarone, 1990).

Além de criar potenciais problemas ambientais, os resíduos representam perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição. Muitos dos tratamentos “fim de tubo”

não eliminam realmente os resíduos gerados, apenas os transferem para outro meio que não os esperava (Timofiecsyk e Pawlowsky, 2000).

Segundo Laufenberg, et al. (2003), os resíduos podem conter muitas substâncias de alto valor. Se for empregada uma tecnologia adequada, este material pode ser convertido em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários. Numerosas substâncias relacionadas ao processo de produção de alimentos são adequadas para separação e reciclagem. De acordo com os mesmos autores é necessário um inventário completo, baseado numa visão holística da indústria de alimentos contendo dados sobre ocorrência, quantidade e utilização dos resíduos. Neste trabalho, também são apresentados três exemplos de implementação de transformação de resíduos de indústrias de vegetais em produtos de valor agregado: 1) transformação de resíduos em ingredientes para a indústria de sucos e panificação; 2) bioconversão destes resíduos por fermentação em estado sólido, sendo que, neste caso, os resíduos foram usados como substratos para a produção de aroma de frutas; e, 3) uso dos resíduos como bioadsorvente em tratamento de resíduos.

Muliggwe e Kaseva (2006) realizaram uma avaliação da gestão de resíduos sólidos industriais e das práticas de recuperação e reuso dos mesmos, na cidade de Dar es Salaam, Tanzânia. Foram investigados os processos de geração, estocagem, coleta e transporte, processamento e disposição final. Neste estudo os resíduos industriais sólidos foram quantificados e caracterizados. Do total de resíduos gerados anualmente (39000 toneladas), 91,7% são provenientes de indústrias alimentícias. Foi observado também que o material mais comumente reutilizado e reciclado é o vidro e que o estágio mais crítico é a disposição que não é feita de maneira sanitária. Foi concluído que a tecnologia limpa de produção é realizada mais intensivamente do que é reportado e que o reuso e a reciclagem de resíduos tem um potencial de crescimento muito grande, principalmente nos países em desenvolvimento.

French e LaForge (2006) estudaram o reuso de resíduos de alguns tipos de indústria, incluindo a de alimentos. Para a execução do trabalho, realizaram visitas nos locais e aplicação de questionários para coleta de dados.

Maxime et al. (2006) estão desenvolvendo um indicador de eco-eficiência para as indústrias de alimentos do Canadá, levando em conta os seguintes fatores: uso da energia, emissão de gases, uso da água e geração de água residuária, resíduos orgânicos e de embalagens. O projeto ainda está em andamento e será apresentado através de um relatório sobre as indústrias incluindo estudos de impacto ambiental, localização geográfica, tamanho da indústria e divisão por tipos de produtos.

A preocupação com o meio ambiente leva à viabilização de projetos que levam à sustentabilidade do sistema de produção industrial. A indústria de alimentos produz uma série de resíduos com alto valor de (re) utilização. Inúmeros estudos utilizando resíduos industriais do processamento de alimentos têm sido realizados com objetivo de aproveitamento destes. Com isso, minimiza-se o impacto ambiental destes tipos de indústrias na região onde estão situadas e ainda agrega-se valor aos produtos do mercado.

Caracterização e utilização de resíduos industriais

El-Gohary e Abo-Elela (1987) realizaram um trabalho de monitoramento de efluentes de um complexo industrial que inclui indústrias de alimentos e concluíram que estes eram altamente contaminados por compostos orgânicos, segundo os resultados de DBO e DQO obtidos. Baseados nos resultados obtidos, os autores desenvolveram um projeto de manejo de resíduos.

Lallo et al. (2003) estudaram a possibilidade de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduo industrial de abacaxi em ração de gado de corte. Santos et al. (2001) propuseram silagens alternativas de resíduos industriais usando cascas de laranja e partes aéreas da mandioca. Marques et al. (2000) estudaram a substituição do milho por mandioca e resíduos de sua produção como fonte de alimentação de novilhas confinadas.

Ferrari et al. (2004) realizaram um estudo para caracterizar e verificar um melhor aproveitamento das sementes excedentes do processamento do suco do maracujá na alimentação humana. Segundo os autores, cascas e sementes de maracujá, provenientes do processo de corte e extração da fruta para obtenção do suco, são ainda, atualmente, em grande parte descartadas. Como este descarte representa inúmeras toneladas, agregar valor a estes subprodutos é de interesse econômico, científico e tecnológico.

Borges et al. (2004) desenvolveram um estudo sobre a viabilidade da utilização de resíduos das indústrias de conserva de abacaxi da região de Pelotas –RS para a produção de suco. O processamento do suco-base foi feito a partir da obtenção das cascas, centros e aparas da fruta e consistiu das etapas de branqueamento, prensagem e filtragem. Conclui-se que é viável a elaboração de suco de abacaxi a partir de resíduos de sua industrialização.

Kobori e Jorge (2005) realizaram um estudo, cuja finalidade foi caracterizar os óleos extraídos das sementes de laranja, maracujá, tomate e goiaba, como aproveitamento de resíduos industriais. As análises realizadas indicaram que esses óleos possuem características físico-químicas semelhantes a alguns óleos comestíveis, podendo ser uma nova fonte de óleos para o consumo humano.

Reda et al. (2005) fizeram a caracterização dos óleos essenciais de limão rosa e de limão siciliano, considerados resíduos industriais e concluíram que têm propriedades semelhantes aos dos óleos comestíveis com boa perspectiva de utilização na produção de alimentos.

Zhang, et al. (2006) caracterizaram os resíduos gerados pelas indústrias de alimentos na cidade de São Francisco, Califórnia visando avaliar o seu potencial para o processo de digestão anaeróbica para produção de gás e concluíram que este tipo de resíduo pode ser utilizado como substrato para este tipo de processo.

Canakci (2007) avaliou o potencial do uso de lipídios oriundos de restaurantes como matéria-prima para produção de biodiesel e concluiu que o uso de resíduos pode diminuir o custo de produção do biodiesel, que é ainda muito alto em relação aos outros tipos de combustíveis.

Bioutilização de resíduos

Abdullah et al. (1985) estudaram a fermentação da palha de trigo pelo *Chaetomium cellulolyticum* e verificaram que teores de umidade acima de 80%, quantidade de inóculo acima de 2% (p/p) e altura da camada acima de 1,9cm não foram vantajosos para o processo. Nas condições ótimas acima citadas, foi observado um incremento no teor protéico do material cultivado de 2,87% no início para 16,4% e produção de biomassa de 4,53g.

Durand e Chereau (1987) desenvolveram um biorreator em escala piloto para ser utilizado no enriquecimento protéico da polpa de beterraba pelo *Trichoderma viride*. Obtiveram um incremento no teor protéico de 10,8 para 26,6%.

Gumbira-Sa'id et al. (1992) estudaram a produção de ração animal pela fermentação de sagu pelo *Rhizopus oligosporus* e obtiveram um enriquecimento protéico de 20mg.g⁻¹ para 83,9mg.g⁻¹ (peso seco do produto obtido).

Sargantanis et al. (1993) na produção de *Rhizopus oligosporus* em farinha de milho obtiveram rendimento de 0,6g biomassa.g⁻¹ de produto seco.

Yang et al. (1993) verificando em seu trabalho sobre enriquecimento protéico de resíduos de batata doce através de vários microrganismos, concluíram que o teor de umidade do substrato deve estar em torno de 70% e que os microrganismos que apresentaram melhor desempenho foram a *Saccharomyces* e o *Rhizopus*. Os incrementos em teor protéico obtidos foram de 3,2 para 8,4 e 18,5%, respectivamente para cada microrganismo.

Zvauya e Muzondo (1994) fizeram estudos do enriquecimento protéico da farinha de mandioca através de algumas variedades de *Aspergillus*. Verificaram que teores de umidade iniciais acima de 55,0% e concentração de inóculo acima de 10⁷ esporos.g⁻¹ não colaboram para a melhora do processo.

Joshi e Sandhu (1996) produziram ração animal através da fermentação da polpa de maçã residual de indústria de suco por *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis* e *Torula utilis*. Obtiveram um incremento no teor protéico de 5,80% para 16,80; 18,50 e 15,57% para cada microrganismo utilizado, respectivamente.

Pelizer (1997) utilizou resíduos da indústria de beneficiamento do arroz para a produção de bioinseticida a base de *Bacillus thuringiensis*. No processamento de arroz, desde a colheita até o beneficiamento, podem-se destacar os seguintes subprodutos e resíduos: palha de arroz, soca ou soqueira, casca, farelo e quirela (ou quirera), que podem ser considerados resíduos com grande potencial de utilização como substratos. De acordo com Pelizer (1997) ecologicamente, a bioutilização dos rejeitos industriais para a produção de bioinseticidas pode ser considerada muito importante, pois ao mesmo tempo em que significa uma solução para as indústrias, este produto não causa danos ao meio ambiente e pode ser utilizado na agricultura que fornece matérias-primas para produção das mesmas.

Shojaosadati et al. (1999) estudaram o enriquecimento protéico da polpa de beterraba, farelo de trigo e resíduos da indústria de citrus com diferentes conteúdos de umidade usando *Neurospora sitophila*. Observaram incremento no conteúdo protéico de 15,0; 13,0 e 7,0% para 30,0; 30,0 e 18,2%, respectivamente.

Vandenberg et al. (2000) observaram que na produção de ácido cítrico por *A. niger* em bagaço de mandioca, houve um enriquecimento protéico do material cultivado. O teor protéico que no início do processo era de 13,1% passou para 23,1% em 120h de cultivo.

Bravo et al. (2000) pesquisaram a produção de poligalacturonase (enzima amplamente usada na indústria de alimentos, tais como as de sucos de frutas, vinhos, cacau e café) utilizando-se o caldo de cana (resíduos da indústria de sucro-alcóleira). Neste sentido, Coelho et al. (2001) utilizaram resíduos da indústria de coco verde também para a produção de enzimas. Estes trabalhos utilizam

microrganismos de interesse industrial na produção de enzimas por processos fermentativos.

Bioutilização de bagaço de cana-de-açúcar

Segundo Barrios-González et al. (1988) estudos têm explorado diferentes sistemas de fermentação em estado sólido, um deles é a utilização de suportes inertes impregnados com meio líquido. Estes pesquisadores produziram penicilina utilizando o *Penicillium chrysogenum* em bagaço de cana-de-açúcar.

Monteiro et al. (1991) estudaram a produção de biomassa protéica de *Trichoderma reesei* e *Rhizopus* (cultura mista) utilizando-se bagaço de cana-de-açúcar; porém, em fermentação submersa. Após filtração e secagem do material obtido, observou-se que o teor protéico do bagaço de cana-de-açúcar foi aumentado de 1,58 para 7,70%.

Auria et al. (1993) utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar como suporte para produção de protease pelo *A. niger*, utilizando um fermentador tipo coluna.

Trejo-Hernández et al. (1993) utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar para a produção de alcalóides pela *Claviceps purpurea* por fermentação em estado sólido. O uso de um suporte inerte como o bagaço de cana-de-açúcar lavado oferece a facilidade de alterações do meio nutriente. Um total de 16 combinações de meio líquido nutriente impregnado no bagaço de cana-de-açúcar foram testadas. Os resultados indicaram grandes diferenças no espectro de alcalóides obtidos, o que abre a possibilidade de encontrar diferentes alcalóides mudando-se a composição do meio nutriente.

Segundo Bravo et al. (1994) na Venezuela se produz mais de 2 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar como resíduo agro-industrial. Esse material enriquecido com proteína microbiana através da fermentação em estado sólido pode ser utilizado como ração animal. Nesse trabalho, estes autores usaram o bagaço de cana-de-açúcar para produção de proteína, para utilização em ração animal, através do *Chaetomium cellulolyticum*. O bagaço de cana-de-açúcar sofreu diferentes tipos de pré-tratamento e foi enriquecido com meio líquido nutriente de modo que se obtivesse uma umidade de 82%. O conteúdo de proteína inicial do bagaço era 2% e no produto final foi de 8,65% na melhor condição de processo, maior que o mínimo exigido para ração de ruminantes (7%).

De acordo Dueñas et al. (1995) no Peru, são produzidos anualmente 1,8 toneladas de bagaço de cana-de-açúcar. Esta fonte abundante e de baixo custo pode ser convertida em produtos de alto valor agregado, como ração animal ou ser utilizada como substrato na produção de celulase. Nesse trabalho, foi utilizado o bagaço de cana-de-

açúcar para produção de celulase através de uma cultura mista de *Trichoderma reesei* e *Aspergillus phoenics*. Foram utilizadas concentrações de inóculo entre 1 e 2% (p/p) em relação ao meio sólido.

De acordo com Pal et al. (1995) o bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo agro-industrial abundante em vários países e pode ser utilizado como matéria-prima para o desenvolvimento de vários processos biotecnológicos de interesse industrial. Nesse estudo, foi realizada a produção de *Flammulina velutipes* e *Trametes versicolor* em bagaço de cana-de-açúcar.

Solis-Pereyra et al. (1996) utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar como suporte na produção de pectinases pelo *A. niger*. O bagaço de cana-de-açúcar foi impregnado com solução de nutrientes. O meio de cultura foi suplementado com diferentes concentrações de glicose. A umidade inicial do meio era 86%. Os experimentos foram realizados em fermentadores do tipo coluna empacotada.

Pandey et al. (2000) em artigo de revisão da literatura, listam uma série de processos que usaram o bagaço de cana-de-açúcar e os microrganismos utilizados. São citados usos do bagaço de cana-de-açúcar em processos de fermentação submersa e sólida onde este pode servir tanto como nutriente ou suporte inerte para o crescimento microbiano. Os autores concluem que a bioconversão do bagaço de cana-de-açúcar pode ser economicamente vantajosa.

O presente trabalho mostra, a seguir, um exemplo de bioutilização de resíduo industrial.

Foi realizada a produção da *Spirulina platensis* pelo processo de cultivo com substrato em estado sólido, utilizando-se como matriz para o crescimento microbiano, o bagaço de cana-de-açúcar, e soluções de sais inorgânicos como fonte de nutrientes. O produto obtido pode ser utilizado como ração animal. A grande vantagem em se produzir esta biomassa através deste tipo de processo é que, a fase de recuperação do produto apresenta custos drasticamente minimizados, pois a água a ser retirada está presente em quantidade mínima, ou seja, a etapa de separação de produtos é praticamente evitada; o produto obtido na etapa de cultivo, já está na forma quase ideal para uso, necessitando apenas de um processo brando de secagem, que pode ser realizado no próprio reator desenvolvido.

Metodologia

Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar foi adquirido como doação da Usina Ester, situada em Cosmópolis, S.P.. O primeiro tratamento dado a este material foi a lavagem com água destilada. Esta foi realizada em duas etapas, em ambas o bagaço de cana-de-açúcar ficou imerso em água destilada por vinte e quatro horas. Após a retirada da água da última lavagem, o material foi distribuído em bandejas e seco em

estufa com circulação de ar forçado a 40°C por 30 horas. O material seco foi recolhido e moído em moinho de facas com malha de 0,5mm. Com a finalidade de preservar o material até o término dos experimentos para evitar-se a variabilidade de amostra, este foi distribuído em sacos de polipropileno (30x40x0,08cm), que foram selados e autoclavados a 121°C por 20 minutos. Após este pré-tratamento, os sacos de polipropileno contendo bagaço de cana-de-açúcar foram armazenados em câmara fria (4°C).

Microrganismo

O microrganismo utilizado foi a *Spirulina platensis*, proveniente do Laboratório de Microbiologia Zootécnica da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo - Campus de Pirassununga.

Inóculo

O inóculo foi obtido através de cultivo em meio mineral padrão líquido. O cultivo foi realizado em frascos de Erlenmeyer de 500mL, com 200mL de meio de cultura, mantidos em "shaker", com agitação de 160rpm, sob iluminação de 6,0Klux, em sala com temperatura controlada (30°C). O tempo de processo para produção de inóculo foi de 7 dias de acordo com Pelizer et al. (1999a).

Cultivos realizados

Foram realizados ensaios no reator tipo bandejas desenvolvido para este processo, variando-se a concentração de inóculo e a iluminação em cada experimento.

Métodos analíticos

Determinação do teor protéico

A determinação de teor protéico foi realizada pelo método Kjeldahl (Association of Official Analytical Chemists, 1984). O fator de conversão utilizado foi 6,25 (g proteína.g⁻¹ nitrogênio).

Análise dos resultados

Foram analisados:

- Cálculo da quantidade de biomassa produzida ($B_{\text{prod}} = \text{g biomassa.Kg}^{-1} \text{ meio cultivado úmido}$)
- Cálculo da produtividade de biomassa ($P_{\text{Biom}} = \text{g biomassa.Kg}^{-1} \text{ meio cultivado úmido.dia}^{-1}$)
- Cálculo do fator de conversão da fonte de nitrogênio (KNO_3) em proteína e em biomassa ($Y_{\text{B/N}} = \text{g biomassa.g}^{-1} \text{ KNO}_3$)

Resultados

A análise do processo através do teor protéico do material cultivado, apresentada na tabela 1, mostrou-se satisfatória. Pôde-se analisar o desempenho do mesmo por meio destas determinações. A escolha desta maneira de se avaliar o processo foi feita com base na literatura sobre

fermentação em estado sólido, já que em meio líquido o crescimento celular é feito por espectrofotometria e neste tipo de cultivo é difícil separar a biomassa produzida do meio de cultivo (Desgranges et al., 1991a,b; Huang et al., 1978).

Tabela 01: Resultados dos ensaios 01 ao 06 analisados em termos de biomassa produzida (estimada).

Ens.	I	C	T _{Bmáx}	B _{prod}	Pr _{Biom}	Y _{B/N}
01	6,0	0,15	06	7,02	1,17	1,82
02	8,2	0,15	06	6,84	0,98	1,46
03	6,0	0,05	06	6,44	1,07	1,75
04	8,2	0,05	07/06	5,20	0,74	1,36
05	6,0	0,25	07/06	6,18	0,88	1,54
06	8,2	0,25	07/06	4,57	0,65	1,30

I = Iluminância (Klux)

C = concentração do inóculo (g biomassa.Kg⁻¹ meio de cultura úmido)

T_{Bmáx.} = tempo em que se obteve a máxima quantidade de biomassa (dias)

B_{prod} = biomassa produzida (g biomassa.Kg⁻¹ meio cultivado úmido)

Pr_{Biom} = produtividade de (g biomassa.Kg⁻¹ meio cultivado úmido.dia⁻¹)

Y_{B/N} = fator de conversão da fonte de nitrogênio (KNO₃) em proteína e em biomassa (g biomassa.g⁻¹ KNO₃)

Discussão dos resultados

Comparando-se os resultados obtidos em termos de incremento protéico com os obtidos em literatura em cultivos com o bagaço de cana-de-açúcar e outros meios de cultivo com vários tipos de microrganismos observou-se

que os valores obtidos neste tipo de processo desenvolvido (221,7% - baseado no teor de proteína inicial do meio de cultivo) foi satisfatório (Tabela 02).

Tabela 02: Comparação do melhor resultado obtido de teor protéico do produto com a literatura em termos de incremento protéico.

Referência	Meio de cultivo	Microrganismo	Incremento protéico (%)
trabalho atual	bagaço de cana-de-açúcar	<i>S. platensis</i>	221,6% (de 2,3 para 7,2%)
Bravo <i>et al.</i> , 1994	bagaco de cana-de-açúcar	<i>C. cellulolyticum</i>	332,5% (de 2,0 para 8,7%)
Monteiro <i>et al.</i> , 1991	bagaço de cana-de-açúcar (cultivo submerso)	<i>T. reesei</i> e <i>Rhizopus</i> (cultura mista)	387,3% (de 1,6 para 7,7%)
Dueñas <i>et al.</i> , 1995	bagaco de cana-de-açúcar	<i>T. reesei</i> e <i>A. phoenics</i> (cultura mista)	300% (de 3,0 para 12,0%)
Vanderberg <i>et al.</i> , 2000	bagaço de mandioca	<i>A. niger</i>	76,3% (de 13,1 para 23,1%)
Joshi e Sandhu, 1996	polpa de maçã	<i>S.cerevisiae</i>	189,6% (de 5,8 para 16,8%)
		<i>C. utilis</i>	219,0% (de 5,8 para 18,5%)
		<i>T. utilis</i>	168,4% (de 5,8 para 15,6%)
Shojaosadati <i>et al.</i> , 1999	polpa de beterraba farelo de trigo	<i>N. sitophila</i>	100% (de 15,0 para 30,0%)
	resíduos de citros		130,8% (de 13,0 para 30,0%)
			160% (de 7,0 para 18,2%)
Duran e Chereau, 1988	polpa de beterraba	<i>T. viride</i>	146,2% (de 10,8 para 26,6%)
Adbullah <i>et al.</i> , 1985	palha de trigo	<i>C. cellulolyticum</i>	471,4% (de 2,9 para 16,4%)
Yang <i>et al.</i> , 1993	resíduos de batata doce	<i>Saccharomyces</i>	220,0% (de 3,2 para 8,4%)
		<i>Rhizopus</i>	478,1% (de 3,2 para 18,5%)

Nos processos onde se utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar, os teores protéicos obtidos foram parecidos. Segundo Bravo *et al.* (1994) o teor protéico mínimo exigido para ração para ruminantes é de 7,0%. Portanto, nesse quesito, o produto obtido neste trabalho estaria de acordo para uso como ração para este tipo de animal, por exemplo.

Verificou-se que, neste processo, a produção de biomassa foi extremamente superior (considerando o melhor resultado) a obtida no processo em meio líquido. O processo aqui estudado atingiu 7,17g biomassa.Kg⁻¹ meio cultivado úmido, enquanto que, no processo tradicional chega-se com esta mesma cepa a aproximadamente 1,5g.L⁻¹

(Pelizer *et al.*, 1999b). Para termos de comparação, foram determinadas as densidades dos dois meios de cultivo, determinando o peso dos mesmos em um recipiente de volume conhecido a temperatura ambiente. O valor obtido foi de 1,09g.L⁻¹ para o meio sólido e 1,01g.L⁻¹ para o meio líquido

Com relação à produtividade, a vantagem apresenta-se ainda maior, pois, neste processo o tempo de cultivo é de apenas 7 dias, aproximadamente; enquanto que em meio líquido é de 15 dias, em média. A produtividade máxima atingida em meio sólido foi de 1,17g biomassa.Kg⁻¹ meio de cultivo úmido.dia⁻¹, enquanto que no outro tipo de processo é de 0,1g biomassa.L⁻¹.dia⁻¹.

Rangel (2000) verificou, em seus experimentos, que a produção de biomassa foi aumentada com o aumento da iluminação, sendo que estudou valores de iluminância de 2,0 a 12,0 Klux, não observando o ponto de saturação luminosa. No presente trabalho a iluminância maior que 6,0Klux mostrou-se prejudicial para o processo. O máximo de biomassa foi 1,8g.L⁻¹ e a produtividade respectiva foi de 0,11g biomassa.L⁻¹.dia⁻¹ com a iluminância de 12,0Klux. Esta comparação torna-se interessante pois estes dois trabalhos foram realizados com a mesma cepa de *S. platensis*.

O reator desenvolvido mostrou-se bastante interessante para este tipo de aplicação. O produto final obtido deve sofrer somente um processo brando de secagem, o que pode ser realizado no próprio reator através de passagem de ar seco, estando pronto para o consumo.

Outros tipos de reatores típicos de fermentação em estado sólido, talvez, não fossem adequados para a produção de *S. platensis*, devido à dificuldade de iluminação.

Referências Bibliográficas

- Abdullah, A. L., Tengerdy, R.P., Murthy, V.G., 1985. Optimization of solid substrate fermentation of wheat straw. *Biotechnol. Bioeng.*, 27, pp.20-27.
- Aquarone, E, Borzani, W., Lima, U.A., 1990. *Biocologia: tópicos de microbiologia industrial*. v. 2. São Paulo: E. Blücher.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists, 1984. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 14.ed. Arlington: AOAC, 500p
- Auria, R., Morales, M., Villegas, E., Revah, S., 1993. Influence of mold growth on the pressure drop in aerated solid state fermentor. *Biotechnol. Bioeng.*, 41, pp.1007-1013.
- Barrios-González, J., Tomasini, A., Viniestra-González, J. López, J., 1988. Penicilin production by solid state fermentation. *Biotechnol. Lett.*, 10 (11), pp.793-798.
- Borges, C. D., Chim, J. F.; Leitão, A. M.; Pereira, E; Luvielmo, M. M., 2004. Produção de Suco de Abacaxi Obtido a Partir dos Resíduos da Indústria Conserveira. *B. CEPPA*, 22 (1), pp.23-34.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 358 de 29 de abril de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2005. *Diário Oficial da União*. Brasília, 04 de maio de 2005.
- Brasil, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - ANVISA. RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004. *Diário Oficial da União*. Brasília, 10 de dezembro de 2004
- Bravo, C. E. C., Carvalho, E. P.; Schwan, R. F.; Gómez, R. J. H. C.; Pilon, L., 2000. Determinação de Condições Ideais para Produção de Poligalacturonase por *Kluyveromyces Marxianus*. *Ciênc. agrotec.*, 24 (Edição Especial), pp.137-152.
- Bravo, O., Ferrer, A., Aiello, C., Ledesma, A., Dávila, M., 1994. Growth of *Chaetomium cellulolyticum* in solid-state fermentation of sugar cane bagasse treated with water in alkali at several liquid/solid ratios. *Biotechnol. Lett.*, 16 (8), pp.865-870.
- Canakci, M., 2007. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. *Bioresource Technology*, 98, pp.183-190.
- Coelho, M. A. Z., 2001. Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais: Produção de Enzimas a Partir da Casca de Coco Verde. *B.CEPPA*, 19 (1), pp. 3342.
- Demajorovic, J., 1995. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. *Revista de Adm. De Empresas*, 35 (3), pp. 88-93.
- Desgranges, C., 1991a. Biomass estimation in solid state fermentation. I. Manual biochemical methods. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 35, pp.200-205.
- Desgranges, C., 1991b. Biomass estimation in solid state fermentation. II. On-line measurements. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 35, pp.206-209.
- Dueñas, R., Tengerdy, R.P., Gutierrez-Correa, M., 1995. Cellulase production by mixed fungi in solid-substrate fermentation. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 11, pp.333-337.
- Durand, A. and Chereau, D., 1988. A new pilot reactor for solid-state fermentation: application to the protein enrichment of sugar beet pulp. *Biotechnol. Bioeng.*, 31, pp.476-486.
- El-Gohary, F. A. and Abo-Elala, S. I., 1987. Management of wastewater from soap and food industries: a case study. *The Science of Total Environment*, 66, pp.203-212.

- Ferrari, R. A., Colussi, F.; Ayub, R.A., 2004. Caracterização de Subprodutos da Industrialização do Maracujá - Aproveitamento das Sementes. *Rev. Bras. Frutic.*, 26 (1), pp. 101-102.
- French, M. L. and Laforge, R. L., 2006. Closed-loop supply chains in process industries: an empirical study of producer re-use issues. *Journal of operations Management*, 24, pp. 271-286.
- Gumbira-Sa'id, E., Mitchell, D.A., Greenfiels, P.F., Doelle, H.W.A, 1992. A packed bed solid-state cultivation system for the production of animal feed: cultivation, drying and product quality. *Biotechnol. Lett.*, 14 (7), pp.623-628.
- Huang, S.Y., Wang, H., Wei, C., Malaney, G.W., Tanner, R.D., 1978. Kinect response of the Koji solid state fermentation process. In: WISEMAN, A., ed. Topics in enzyme and fermentation biotechnology. Chichester: Ellis Horwood, 10 (4), pp.89-108.
- Joshi, V. K. and Sandhu, D. K., 1996. Preparation and evaluation of an animal feed byproduct produced by solid-state fermentation of apple pomace. *Bioresour. Technol.*, 56, pp.251-255.
- Kobori, C. N. and Jorge, N., 2005. Caracterização dos Óleos de Algumas Sementes de Frutas como Aproveitamento de Resíduos Industriais. *Ciênc. agrotec.*, 29 (5), pp. 1008-1014.
- Lallo, F. H., Prado, I.N., Nascimento, W.G., Zeoula, L.M.; Moreira, F.B.; Wada, F.Y. , 2003. Níveis de Substituição da Silagem de Milho pela Silagem de Resíduos Industriais de Abacaxi sobre a Degradabilidade Ruminal em Bovinos de Corte. *R. Bras. Zootec.*, 32 (3), pp.719-726.
- Laufenberg, G., 2003. Transformation of vegetable waste into added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology*, 87, pp.167-198.
- Marques, J. A. Prado, I.N., Zeoula, L.M., Alcade, C.R. , 2000. Avaliação da Mandioca e Seus Resíduos Industriais em Substituição ao Milho no Desempenho de Novilhas Confinadas. *Rev. Bras. Zootec.*, 29 (5), pp. 1528-1536.
- Maxime, D., Marcotte, M., Arcand, Y., 2006. Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry. *Journal of Cleaner Production*, 14, pp.636-648.
- Monteiro, J. B. R., Silva, D. O., Moraes, C. A., 1991. Produção de biomassa protéica de *Trichoderma reesei* e *Rhizopus oligosporus* em bagaço de cana-de-açúcar. *Rev. Microbiol.*, 22 (2), pp.164-169.
- Muliggwe, S. E. and Kaseva, M. E., 2006. Assessment of industrial solid state waste management and resource recovery practices in Tanzania. *Resources, Conservation and Recycling*, 47, pp.260-276.
- Pal, M., Calvo, A. M., Terrón, M. C., González, A. E. , 1995. Solid-state fermentation of sugarcane bagasse with *Flammulina velutipes* and *Trametes versicolor*. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 11, pp.541-545.
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., Soccol, V. T. , 2000. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I. Sugarcane bagasse. *Bioresour. Technol.*, 74, pp.69-80.
- Pelizer, L.H., 1997. Estudo da influência da atividade de água na fermentação em estado sólido de *Bacillus thuringiensis*. São Paulo, 104p. (Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – USP).
- Pelizer, L. H., Danesi, E. D. G., Rangel, C. O., Carvalho, J. C. M., Sato, S., Moraes, I. O., 1999a. Estudio de la influencia de la edad del inóculo en el cultivo de *Spirulina platensis*. In: *Memorias del Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*, 8, Huatulco, y *Congreso Latinoamericano de Biotecnología y Bioingeniería*, 4, Huatulco. Anais. Huatulco. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C., p.276.
- Pelizer, L. H., Danesi, E. D. G., Rangel, C. O., Sassano, C. E. N., Carvalho, J. C. M., Sato, S., Moraes, I. O., 1999b. Influência da concentração de inóculo na produção da microalga *Spirulina platensis*. In: *Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos*, 3, UNICAMP, p.101.
- Rangel, C. O., 2000. Influência da luz e da uréia no crescimento e conteúdo de clorofila da biomassa de *Spirulina platensis*, São Paulo, 127p. (Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – USP).
- Reda, S. Y., Leal, E. S., Batista, E. A. C, Barana, A. C., Schnitzel, E., Carneiro, P. I. B., 2005. Caracterização dos Óleos das Sementes de Limão Rosa (*Citrus Limonia* Osbeck) e Limão Siciliano (*Citrus limon*), um Resíduo Agroindustrial. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 25 (4), pp.672-676.
- Santos, G. T., Ítavo, L. C. V., Modesto, E. C., Jobim, C. C., Damasceno, J. C., 2001. Silagens alternativas de resíduos agro-industriais. Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas (2001 – Maringá) Anais do *Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas* / Editores Clóves Cabreira Jobim, Ulysses

Cecato, Júlio César Damasceno e Geraldo Tadeu dos Santos. – Maringá :UEM/CCA/DZO, p. 262-285.

Sargantanis, J., Karim, M. N., Murphy, V. G., Ryoo, D., 1993. Effect of operating conditions on solid substrate fermentation. *Biotechnol. Bioeng.*, 42, pp. 149-158.

Shojaosadati, S. A., Faraidouni, R., Madadi-Nouei, A., Mohamadpour, I., 1999. Protein enrichment of lignocellulosic substrates by solid state fermentation using *Neurospora sitophila*. *Resour., Conserv. Recycl.*, 27 (1/2), pp.73-87.

Solis-Pereyra, S., Favela-Torres, E., Gutiérrez-Rojas, M., Saucedo-Castañeda, G., Gunaseparan, P., Viniestra-González, G., 1996. Production of pectinases by *Aspergillus niger* in solid state fermentation at high initial glucose concentrations. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 12, pp.257-260.

Timofiecsyk, F. R. and Pawlowsky, U., 2000. Minimização de Resíduos na Indústria de Alimentos: Revisão. *B. CEPPA*, 18 (2), pp. 221-236.

Trejo-Hernández, M. R., Lonsane, B. K., Raimbault, M., Roussos, S., 1993. Spectra of ergot alkaloids produced by *Claviceps purpurea* 1029c in solid-state fermentation system: influence of composition of liquid medium used for impregnating sugar-cane pith bagasse. *Process Biochem.*, 28, pp.23-27.

Vandenberg, L. P. S., Soccol, C. R., Pandey, A., Lebeault, J. M., 2000. Solid-state fermentation for the synthesis of citric acid by *Aspergillus niger*. *Bioresour. Technol.*, 34, pp.175-178.

Yang, S. S., Jang, H. D., Liew, C. M., Du Preez, J. C., 1993. Protein enrichment of sweet potato residue by solid-state cultivation with mono na co-cultures of amyolytic fungi. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 9, pp. 258-264.

Zhang, R., El-Mashad, H. M., Hartman, K., Fengyu, W., Liu, G., Choat, C., Gamble, P., 2006. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*.

Zvauya, R. and Muzondo, M. I., 1994. Some factors affecting protein enrichment of cassava flour by solid state fermentation. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 27 (6), pp.590-591.

Sobre os autores:

Iracema de Oliveira Moraes

Graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas, graduação em Matemática pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, especialização em Fermentation Technology pela Massachusetts Institute Of Technology, mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas, doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas e pós-doutorado pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é Orientadora de Mestrado e Doutorado da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, co-orientadora da Universidade Estadual de Campinas, pesquisador do Fundação Tropical André Tosello, Presidente da Probiom Tecnologia - Ind. e Com. de Bioprodutos, membro da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Diretora de Relações Institucionais do Associação Brasileira de Engenheiros de Alimentos, Orientador de Mestrado e doutorado na USP/FCF da Universidade de São Paulo e Conselheiro do Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia - SP. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Engenharia de Alimentos. Atuando principalmente nos seguintes temas: Bacillus Thuringiensis, mini fermentador, Bacterias Entomopatogenicas, Fermentacao Submersa, Endo e Exo Toxins e Substratos Alternativos.

Lúcia Helena Pelizer

Graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, mestrado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica pela Universidade de São Paulo e doutorado em Tecnologia Bioquímico Farmacêutica pela Universidade de São Paulo. Atualmente é docente da Universidade de Franca no Programa de Mestrado em Promoção de Saúde. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Márcia Helena Pontieri

Graduação em Bacharel em química com atribuições tecnológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, mestrado em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, doutorado em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é Docente da Universidade de Franca nos cursos de graduação em Farmácia e Ciências Biológicas e no curso de especialização em Ciência Ambiental. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Analítica e Química Ambiental.