

III-007 - ESTUDO DAS TÉCNICAS DE BIODEGRADABILIDADE E EMISSÃO DE CARBONO PARA RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO BASE DE PROJETOS

Juan Carlos Valdés Serra⁽¹⁾

Professor Doutor do Curso Engenharia Ambiental da Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT).

Antônia Clemilda Nunes⁽²⁾

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará e servidora da Fundação Universidade Federal do Tocantins(UFT).

Endereço⁽¹⁾: Quadra 109 Norte Avenida NS 15 ALCNO 14 Plano Direto Norte – Palmas – TO – CEP 77001-970 - Telefone: (63) 3232-8291 – e-mail: juancs@uft.edu.br.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo mostrar as técnicas de biodegradabilidade e emissão de carbono em resíduos agroindustriais. Sobre as técnicas de biodegradabilidade, verificou-se que os testes aceitos para determinação da biodegradabilidade são: compostabilidade, que simula a degradação em condições naturais; degradação microbiótica com microrganismos cultivados e enzimas purificadas, método ASTM D G21-70; o Teste da Biodegradabilidade Imediata pela Medida do Dióxido de Carbono Desprendido em Sistema Aberto; o *Testing of Plastics – Influence off fungi and bactéria*, além do que simula solo e ambiente marinho, podendo haver outros não citados neste trabalho. Em relação às técnicas para mensuração da emissão de gases de efeito estufa (GEE), verificou-se que o (ODP) - *Ozone Depletion Potential* é o índice que traduz o potencial de uma substância para a depleção da camada de ozônio e que o (GWP) - *Global Warming Potential* mede o impacto de uma substância como gás de efeito estufa, relativo ao efeito de aquecimento global de uma massa similar de dióxido de carbono por um intervalo de tempo específico cujo valor deve ser especificado. Os métodos mais utilizados para determinação dos fluxos de gases nas superfícies de solos e águas são: (1) por meio de torres micrometeorológicas; (2) método baseado em equações matemáticas de cálculo da difusão de gases na interface a ser estudada e (3) câmara estático. Verificou-se que as técnicas mais utilizadas para a análise da biodegradabilidade e emissões de carbono, de maneira geral, são todas específicas e utilizam métodos sofisticados de difícil reprodução. O estudo revelou ainda, as variáveis advindas dos processos em análise que podem servir de base para projetos relacionados com a problemática de biodegradabilidade e emissões de gases de efeito estufa.

PALAVRAS-CHAVE: Biodegradabilidade, Emissão de Carbono, Resíduos Agroindustriais, Sequestro de Carbono; Efeito Estufa.

INTRODUÇÃO

As atividades agropecuárias e de processamento de produtos agropecuários têm proporcionado sérios problemas de poluição no solo, em águas superficiais e em águas subterrâneas. Como os resíduos de atividades agroindustriais (aí incluídas atividades agropecuárias) apresentam, em geral, grande concentração de material orgânico, o seu lançamento em corpos hídricos pode proporcionar grande decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido nesse meio, cuja magnitude depende da concentração de carga orgânica e da quantidade lançada, além da vazão do curso d'água receptor (MATOS, 2005).

Segundo Matos, 2005, os resíduos agroindustriais são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, produção de açúcar e álcool, etc., sendo sua produção, geralmente, sazonal, condicionada pela maturidade da cultura ou oferta da matéria-prima. As águas residuais podem ser o resultado da lavagem do produto, escaldamento, cozimento, pasteurização, resfriamento e lavagem do equipamento de processamento e das instalações. Os resíduos sólidos são constituídos pelas sobras de processo, descartes e lixo proveniente de embalagens, lodo de sistemas de tratamento de águas residuais, além de lixo gerado no refeitório, pátio e escritório da agroindústria.

A biodegradação é um processo natural no qual, substâncias orgânicas presentes no ambiente são convertidas em substâncias simples em condições apropriadas de temperatura e oxigenação. Esse processo é mediado por microrganismos que, por meio de produtos do seu catabolismo, as enzimas, conseguem promover a biodegradação (GABOARDI, 2007). Franchetti e Marconato (2006) acrescentam afirmando que a biodegradação é um processo que consiste na modificação física ou química causada pela ação de microrganismos, sob certas condições de temperatura, umidade, luz, oxigênio, nutrientes orgânicos e inorgânicos. Somente a biodegradação resulta numa degradação completa, ou seja, completa transformação do substrato em CO₂, água e biomassa. Em seguida a biomassa é transformada em sais, seguido por um processo de mineralização. Atualmente, a análise mais aceita para detectar a biodegradabilidade é por emissão de CO₂.

Este trabalho aborda a problemática das técnicas de biodegradabilidade e emissão de carbono em resíduos agroindustriais. Estes tipos de experimentos exigem técnicas específicas, por este motivo, o trabalho tem por objetivo apresentar, resumidamente, algumas das mais utilizadas atualmente, como base de projetos que tratam este tema.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a viabilidade de se avaliar em laboratório a biodegradabilidade e a quantidade de carbono emitida por resíduos agroindustriais. Levantamento bibliográfico com o objetivo de encontrar respostas às questões formuladas, segundo Cervo & Bervian (2004), é o melhor recurso, fazendo uso de consulta à documentos bibliográficos.

Cervo et al. (2010) apontam que a pesquisa bibliográfica parte de referências teóricas, já publicadas, para explicar determinado fenômeno, constituindo, geralmente, o primeiro passo da elaboração de uma pesquisa científica. Para Marconi e Lakatos (2010) a pesquisa bibliográfica não pode ser considerada apenas uma repetição dos fatos ocorridos e já descritos: ela vem propiciar um novo enfoque acerca do assunto em análise, podendo conduzir o pesquisador a conclusões inovadoras.

Neste caso, a busca foi realizada pelos próprios pesquisadores na SciELO - biblioteca eletrônica com periódicos científicos brasileiros, em bases de dados de universidades brasileiras e em livros e revistas especializadas, utilizando-se os termos: biodegradabilidade de resíduos sólidos e sequestro de carbono.

O principal foco da pesquisa foi verificar quais testes mais se adequariam às condições de laboratório e considerando como parâmetros os testes que mensuravam gases que potencializam o efeito estufa como o CO₂.

RESULTADOS

Como resultado deste trabalho foram reveladas vários trabalhos em que as técnicas utilizadas para a execução dos testes de biodegradabilidade e emissão de carbono em resíduos são apresentadas a seguir:

A) Técnicas de Ensaio de Biodegradabilidade

Os testes aceitos para determinação da biodegradabilidade são: compostabilidade, que simula a degradação em condições naturais; degradação microbiótica com microrganismos cultivados e enzimas purificadas, método ASTM D G21-70; entre outros (GHEM, 2006).

Ghem (2006) usou um sistema de reatores para avaliar o processo de biodegradabilidade de produtos a base de mandioca e mamona utilizando a metodologia descrita em ISSO/DIS- 2 17556 (2003), em que se simula um repirômetro. O parâmetro utilizado para aferir a biodegradação dos produtos avaliados foi a produção de CO₂, que era quantificado após sua precipitação na forma de carbonato de bário (BaCO₃) depois de ser absorvido pelo hidróxido de bário (Ba(OH)₂) durante a reação química.

Da mesma forma, Sousa e Paiva (2011) monitoraram a produção de CO₂ gerada na biodegradação, neste caso, de um polímero sintetizado na Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, utilizando composto orgânico (húmus) como inoculante. Para a realização do teste, denominado de teste de *Sturm*, os autores montaram um sistema de digestão em condições de laboratório, conforme preconizaram Coelho et al., (2008). Os autores relatam que esse teste baseia-se na avaliação da capacidade biodegradadora dos fungos, através da

quantificação de CO₂ produzido durante o ensaio de biodegradação. O monitoramento da produção de CO₂ consiste de um sistema composto por um compressor de ar, um reator e dois erlenmeyers contendo solução de hidróxido de bário, um com 400 mL de solução colocado antes e outro com 400 mL de solução colocado após o reator, todos conectados por mangueiras, as quais estavam conectadas a tubos imersos no conteúdo tanto dos erlenmeyers, quanto do reator. A aeração é mantida pelo compressor de ar conectado no primeiro erlenmeyer, onde o CO₂ contido no ar reage com o hidróxido de bário presente na solução. O ar isento de CO₂ passa para o reator, onde os microorganismos ficam em contato com o material a ser testado. A respiração celular dos microorganismos vai produzir CO₂, que deve ser transferido pelo fluxo de ar até o próximo erlenmeyer. No terceiro erlenmeyer o CO₂ da respiração celular reage com hidróxido de bário formando carbonato de bário e precipitando. Por intermédio de uma titulação com ácido clorídrico, a quantidade de CO₂ captado neste último recipiente será determinado. Por meio de cálculos estequiométricos, determina-se a produção de CO₂ no processo de biodegradação, utilizando para isto o programa Microsoft Excel.

Salazar & Leão (2006) também avaliaram a biodegradabilidade medindo o dióxido de carbono desprendido. Neste caso os autores fizeram ensaios com fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva. Como no caso estudado tratava-se de fibras naturais e não se tem conhecimento de testes para esses casos, adaptou-se duas normas utilizadas para plásticos: IBAMA – E.1.1.2 – 1988 – Teste da Biodegradabilidade Imediata pela Medida do Dióxido de Carbono Desprendido em Sistema Aberto (similar à norma ASTM D 5210-92) e DIN 53739 – 1984 – *Testing of Plastics – Influence off fungi and bacteria* (baseado na ISSO 846 – 1978). A primeira norma avalia a biodegradação de uma amostra pela ação de microorganismos aleatoriamente coletados no ambiente e que devem transformar a amostra em gás carbônico (CO₂), medido indiretamente em laboratório, por titulometria. O CO₂ monitorado é calculado para determinar sua produção durante o teste e os valores acumulados são comparados àquele teoricamente esperado a partir da composição, em carbono, da amostra. Já a segunda norma permite a observação visual de corpos de prova de uma amostra submetidos ao ataque direto de fungos e bactérias de referência, selecionados para este fim e adquiridos em coleções de culturas microbianas. Na tabela 1 resume-se técnicas antes explicadas.

Tabela 1: Resumo das Técnicas de Ensaio de Biodegradabilidade.

Autor	Meio biodegradativo ou técnica	Variável monitorada	Conclusão do experimento
Ghem (2006)	Sistema de reatores, utilizando material de compostagem de resíduos de podas de árvores como inoculante.	CO ₂	Biodegradabilidade: Para bandejas com fécula de mandioca, 66,44% e fécula com filme da mamona, 62,36%. Para as bandejas de mamona, 13,82%.
Sousa e Paiva (2011)	Sistema de reatores, utilizando húmus como inoculante.	CO ₂	O Polímero testado mostrou-se facilmente biodegradável, sendo uma alternativa proposta para a substituição do polímero sintético, diminuindo possíveis impactos ambientais causados por plásticos no meio ambiente.
Salazar & Leão (2006)	Sistema Aberto (similar à norma ASTM D 5210-92) e DIN 53739 – 1984 – <i>Testing of Plastics – Influence off fungi and bacteria</i> (baseado na ISSO 846 – 1978).	CO ₂	Aos 90 dias de ensaio, verificou-se a quebra das fibras, principalmente de sisal e de coco sem látex, indicando o ataque por fungos e processos de biodegradação.
Souza (2012)	Solo simulado e ambiente marinho.	Perda de massa; microscopia ótica (MO); microscopia eletrônica de varredura (MEV); calorimetria diferencial de varredura (DSC); análise termogravimétrica (TGA) e espectroscopia na região do infravermelho (FTIR).	A velocidade de biodegradação no ambiente marinho é maior do que no solo simulado.

Já Souza (2012) avaliou a biodegradabilidade de compostos de poliéster e amido com fibra de coco verde em solo simulado e ambiente marinho. Para a avaliação da biodegradabilidade o autor utilizou-se de equipamentos mais sofisticados em que foram feitas análise térmica (calorimetria diferencial de varredura (DSC) e análise termogravimétrica (TGA)) e análise microscópica por meio de microscopia ótica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Além desses, Souza (2012) realizou análise mecânica, em que avaliava propriedades como resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento dos materiais após terem submetidos aos ambientes biodegradantes. A fim de melhorar as condições para biodegradabilidade no solo, o autor aumentou o teor de nitrogênio no meio através da adição de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ na proporção de 0,05% em relação à massa total do solo.

B) Técnicas para Mensuração da Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)

O Ozone Depletion Potential (ODP) é o índice que traduz o potencial de uma substância para a depleção da camada de ozônio. O ODP em regime permanente representa o montante relativo de ozônio destruído pela emissão contínua de um gás ao longo da vida atmosférica deste (PIMENTA et al., 2006).

O Global Warming Potential (GWP) mede o impacto de uma substância como gás de efeito estufa, relativo ao efeito de aquecimento global de uma massa similar de dióxido de carbono por um intervalo de tempo específico cujo valor deve ser especificado. O dióxido de carbono é usado como referência por ter o maior impacto líquido sobre o aquecimento global (PIMENTA et al., 2006). De acordo com os autores, o GWP é calculado pela razão entre o efeito radiante temporal integrado da liberação instantânea de 1 kg de uma dada substância, em relação à liberação de 1 kg de um gás de referência – CO_2 .

Os métodos mais utilizados para determinação dos fluxos de gases nas superfícies de solos e águas são: (1) através de torres micrometeorológicas; (2) método baseado em equações matemáticas de cálculo da difusão de gases na interface a ser estudada e (3) câmara estática (FURTADO, 2001).

Discorrendo sobre os métodos, o autor destaca que o primeiro implica na coleta contínua dos fluxos de emissão dos gases causadores do efeito estufa em pequenas superfícies. Para Furtado (2001) trata-se de um método sofisticado, caro e não é um sistema simples de ser transportado, além de não ser diretamente aplicável na determinação de fluxos de gases para grandes superfícies. O segundo método citado pelo autor é baseado na Lei de Henry citada por Liss & Slater (1974), em que é feita uma rápida estimativa de fluxos do gás, segundo sua concentração sobre a superfície estudada. A câmara estática, terceiro método mencionado, funciona pela captura de gases na interface solo-ar ou solo-água e registra as alterações de concentração do gás no seu interior pelo tempo (DUCHEMIN et al. (1995); OECHTEL et al. (1994); SHÜLTZ et al. (1989)) citados por Furtado (2001). Segundo o autor, através dessa técnica, obtêm-se as taxas de emissão dos gases através de pequenas superfícies num período de tempo limitado. Na tabela 2 observa-se de maneira resumida as técnicas analisadas para Mensuração da Emissão de Gases de Efeito Estufa.

Tabela 2: Resumo das Técnicas para Mensuração da Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)

Autor	Técnica de mensuração	Variável monitorada ou <i>Modus operandi</i>
Pimenta et al., (2006)	<i>Global Warming Potential (GWP)</i>	CO_2
Furtado (2001).	Torres micrometeorológicas.	Coleta contínua dos fluxos de emissão dos gases causadores do efeito estufa em pequenas superfícies.
Furtado (2001).	Equações matemáticas de cálculo da difusão de gases na interface a ser estudada.	Baseado na Lei de Henry citada por Liss & Slater (1974), em que é feita uma rápida estimativa de fluxos do gás, segundo sua concentração sobre a superfície estudada.
Furtado (2001).	Câmara estática.	Captura gases na interface solo-ar ou solo-água e registra as alterações de concentração do gás no seu interior pelo tempo.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Todos os trabalhos aqui apresentados contribuíram sobremaneira para a elucidação de questões de grande relevância para a ciência ambiental, que é de extrema importância, especialmente porque tanto a biodegradação quanto os gases de efeito estufa são temas cruciais na preservação do meio ambiente e requerem muito estudo e aprofundamento. Com este trabalho foi possível verificar que é possível avaliar a biodegradação utilizando métodos relativamente simples como sistema de reatores, assim como utilizando métodos mais sofisticados como fez Souza (2012), sendo possível inclusive computar o tempo de degradação e fazer comparações.

Nos estudos em que se mensura a emissão de gases de efeito estufa, foi possível verificar que se pode lançar mão de alternativas que vão depender do que se pretende com a pesquisa. Os trabalhos apontaram que é possível utilizar-se de meios como estimativas dos fluxos do gás utilizando-se de equações matemáticas até coletas contínuas desses fluxos utilizando equipamentos específicos.

O estudo revelou ainda que as variáveis advindas dos processos em análise podem servir de base para projetos relacionados com a problemática de biodegradabilidade e emissões de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CERVO, A. L. & BERVIAN, P. A. Metodologia Científica. 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2004. 164p.
2. CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. Metodologia Científica. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
3. COELHO, N. S.; ALMEIDA, Y. M. B.; VINHAS, G. M. A biodegradabilidade da blenda de poli(β -Hidroxibutirato-co-Valerato)/amido anfótero na presença de microrganismos. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 3, p. 270-276, 2008
4. FRANCHETTI, S.M.M.; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade de resíduos plásticos. *Química Nova*. v.29, n.4, p.811-816, 2006.
5. FURTADO, C. H. F. Monitoramento de gases causadores do efeito estufa em reservatórios de usinas hidroelétricas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da UNICAMP. Campinas. 2001.
6. GABOARDI, F. Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de biodegradação de blendas de PHB e PEBD com e sem aditivos pró-oxidantes. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Instituto de Engenharia de Ciências, Universidade de São Francisco. 2007.
7. GHEM, J. L. D. Avaliação da biodegradabilidade de produtos à base de mandioca e mamona. 2006. 77p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste. Cascavel – PR – Brasil. 2006.
8. MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Metodologia do trabalho científico. São Paulo: Atlas, 2010.
9. MATOS, A. T de. Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais. Fundação Estadual de Meio Ambiente – Minas Gerais. Apostila. 34p. 2005.
10. PIMENTA, W. J.; PIMENTA, J. M. D.; FINOTTI, M. V. L.; HAUPT, K. I. Avaliação da degradação do desempenho de um compressor operando com hidrocarbonetos. 16º POSMEC. FEMEC/UFU, Uberlândia-MG, 2006.
11. SALAZAR, V. L. P. & LEÃO, A. L. Biodegradação das fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva. *Engenharia Agrícola*. Botucatu, vol. 21, n. 2, 2006, p. 99-133.
12. SOUSA, R. L. P. de & PAIVA, T. Biodegradação de filme polimérico sintetizado nas condições de um laboratório. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*. Vol. 15, n. 2, 2011, p. 77-86.
13. SOUZA, R. P. Avaliação da biodegradação de compósitos de poliéster e amido com fibra de coco verde em solo simulado e ambiente marinho. 2012. 124p. Dissertação de Mestrado em Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Rio de Janeiro – RJ – Brasil. 2012.