

Gestão de Resíduos Sólidos 2

Leonardo Tullio
(Organizador)



Leonardo Tullio
(Organizador)

Gestão de Resíduos Sólidos

2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de resíduos sólidos 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Gestão de Resíduos Sólidos; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-188-6

DOI 10.22533/at.ed.886191403

1. Lixo – Eliminação – Aspectos econômicos. 2. Pesquisa científica – Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 3. Sustentabilidade. I. Tullio, Leonardo. II. Série.

CDD 363.728

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Neste Volume II, são apresentados 18 artigos que analisaram o potencial de uso de diversos materiais em vários setores, propondo destino correto a esses resíduos.

A construção civil apresenta-se como elevado potencial na incorporação desses resíduos industriais, que podem ser utilizados como matéria-prima alternativa, uma vez que disponíveis em grandes quantidades e sem destinação pela indústria que o produz, sua utilização pode levar a vantagens econômicas, técnicas e ecológicas, ademais solução de muitos problemas da indústria.

Também se observa o potencial de utilização de resíduos da atividade agrícola no meio urbano, sendo assim o aproveitamento, além de minimizar os problemas ambientais, é visto como atividade complementar, que pode contribuir para a diversificação dos produtos e para a diminuição do custo final de produtos.

Todavia, a correta destinação de um resíduo deve ser estudada e tratada com cautela, pois o "desleixo" causa impactos ambientais incalculáveis na sociedade.

Bons estudos.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
SUSTENTABILIDADE: USO DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	
<i>Cristine Machado Schwanke</i> <i>Juliana Young</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914031	
CAPÍTULO 2	13
UTILIZAÇÃO DE CARVÃO DE CAROÇOS DE BUTIÁ (<i>BUTIA CAPITATA</i>) COMO MEIO DEPURIFICAÇÃO ALTERNATIVA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	
<i>Beatriz Stoll Moraes</i> <i>Ferdinando Bisogno de Castro</i> <i>Maick Bravo da Silva</i> <i>Paulo Roberto Diniz da Silva</i> <i>Daniela Lilge Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914032	
CAPÍTULO 3	25
USO DE RESÍDUOS DE CELULOSE NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	
<i>Genyr Kappler</i> <i>Carlos Alberto Mendes Moraes</i> <i>Regina Célia Espinosa Modolo</i> <i>Juliana Damasio Waschevicz</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914033	
CAPÍTULO 4	34
REJEITOS RADIOATIVOS DO MAIOR ACIDENTE RADIOLÓGICO DO BRASIL	
<i>Lení Maria de Souza</i> <i>Francisco Itami Campos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914034	
CAPÍTULO 5	46
PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULASE E AVICELASE PELO BACILLUS SP SMIA-2 EM MEIO CONTENIDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Andréia Boechat Delatorre</i> <i>Silvania Alves Ladeira</i> <i>Marcela Vicente Vieira Andrade Gonçalves</i> <i>Cristiane de Jesus Aguiar</i> <i>Thiago Freitas de Almeida</i> <i>Meire Leles Leal Martins</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914035	
CAPÍTULO 6	55
O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO MERCADO DE EQUIPAMENTOS GAMER	
<i>Felipe Elsemann Barreto</i> <i>Ana Júlia Senna Sarmiento Barata</i> <i>Ricardo Ribeiro Alves</i> <i>Djulia Regina Ziemann</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914036	

CAPÍTULO 7 68

ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE CENTROS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO EM SEROPÉDICA

Hélio Fernandes Machado Júnior

Rui de Góes Casqueira

Fabíola Oliveira da Cunha

DOI 10.22533/at.ed.8861914037

CAPÍTULO 8 78

ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA SERICINA EMPÓ RESULTANTE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DESIDRATADA EM “SPRAY DRYER”

Ana Paula Sone

Camilo Freddy Mendoza Morejon

Marcelino Luiz Gimenes

DOI 10.22533/at.ed.8861914038

CAPÍTULO 9 92

ESTUDO DA CONFORMIDADE DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CHAMOTE E CASCA DE ARROZ

Ivando Stein

Maurício Livinali

Éder Claro Pedrozo

Lucas Fernando Krug

DOI 10.22533/at.ed.8861914039

CAPÍTULO 10 103

ESTUDO COMPARATIVO DO LIXIVIADO GERADO POR RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICO E ELETROELETRÔNICO EM SIMULAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Beatriz Rodrigues de Barcelos

Caio Soares Camargos

Gabriel Alves Teixeira

Lorena Silva Pereira

Ygor dos Santos Carneiro

DOI 10.22533/at.ed.88619140310

CAPÍTULO 11 116

DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS

Emanuele Caroline Araujo dos Santos

Alini Luísa Diehl Camacho

Leonardo Daniel Rauber

Carlos Alberto Mendes Moraes

DOI 10.22533/at.ed.88619140311

CAPÍTULO 12 126

CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE

David José Oliveira da Silva

Iago Santos Calábria

Walter de Moraes Calábria Junior

DOI 10.22533/at.ed.88619140312

CAPÍTULO 13 136

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE COMO MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Joana Gomes Meller
Letícia Torres Maia
Oscar Rubem Klegues Montedo
Dachamir Hotza
Hiany Mehl Zanlorenzi
Silvana Meister Sommer

DOI 10.22533/at.ed.88619140313

CAPÍTULO 14 147

ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO PARANÁ

Daniel Poletto Tesser
Luciana Janoni Botelho de Freitas do Nascimento
Antônio Carlos de Francisco
Cassiano Moro Piekarski

DOI 10.22533/at.ed.88619140314

CAPÍTULO 15 160

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO AQUECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE UM AQUECEDOR SOLAR FEITO COM MATERIAL RECICLÁVEL

Maiara Stein Wünsche
Nadine Rech Medeiros Serafim
Rafaela Picolotto

DOI 10.22533/at.ed.88619140315

CAPÍTULO 16 170

ANÁLISE DA MISTURA DO AGREGADO RECICLADO DE RCD ASSOCIADO AO SOLO LATERÍTICO PARA UTILIZAÇÃO NA CAMADA DE BASE DE PAVIMENTOS

Natássia da Silva Sales
Caio César Luz Araújo

DOI 10.22533/at.ed.88619140316

CAPÍTULO 17 182

ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM USINA SUCROALCOOLEIRA NO PIAUI

Lilian de Castro Moraes Pinto
Maria do Socorro Lira Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.88619140317

CAPÍTULO 18 191

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Manoela Paiva de Amorim Santos
Rafael de Freitas Taves
Alexandre Lioi Nascentes
Armando Borges de Castilhos Junior

DOI 10.22533/at.ed.88619140318

SOBRE O ORGANIZADOR..... 203

PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULASE E AVICELASE PELO BACILLUS SP SMIA-2 EM MEIO CONTENTO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Andréia Boechat Delatorre

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus
Macaé
Macaé-RJ

Silvania Alves Ladeira

Instituto Federal de Alagoas
Piranhas, AL

Marcela Vicente Vieira Andrade Gonçalves

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus
Macaé
Macaé-RJ

Cristiane de Jesus Aguiar,

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus
Macaé
Macaé - RJ

Thiago Freitas de Almeida,

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus
Macaé
Macaé-RJ

Meire Leis Leal Martins

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, laboratório de tecnologia de alimentos
Campos dos Goytacazes - RJ

RESUMO: Os estudos foram realizados para investigar a produção de carboximetilcelulase e avicelase pelo termofílico *Bacillus* sp SMIA-2 utilizando substratos sintéticos puros (Avicel e Carboximetilcelulose) e bagaço de cana-de-açúcar (tratados e não tratados). A produção de avicelase e carboximetilcelulase por *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio líquido contendo

0,5% de avicel e 0,5% de carboximetilcelulose como fonte de carbono atingiu o máximo em 120 h (37,38 U/mL) e 144 h (124,84 U/mL), respectivamente. O microrganismo também foi capaz de produzir avicelase e carboximetilcelulase quando cultivado em culturas contendo bagaço de cana. No entanto, menores atividades enzimáticas foram obtidas em comparação com a da celulose sintética. O tratamento do bagaço de cana com 4% de Ca(OH)_2 + 4% NaOH em conjunto com a autoclave, promoveu maior quebra na fibra e aumentou a atividade da carboximetilcelulase e da avicelase.

PALAVRAS-CHAVE: bagaço de cana, avicelase, carboximetilcelulase.

ABSTRACT: Studies were carried out to investigate the carboxymethylcellulase and avicelase production by thermophilic *Bacillus* sp SMIA-2 using pure synthetic substrates (Avicel and Carboxymethylcellulose) as well as sugarcane bagasse in two different statuses (i.e. treated and untreated). Avicelase and carboxymethylcellulase production by *Bacillus* sp SMIA-2 cultivated in liquid cultures containing 0.5% avicel and 0.5% carboxymethylcellulose as a carbon source reached a maximum at 120 h, (37,38 U/mL) and 144 h (124.84 U/mL), respectively. The microorganism was also capable to produce

avicelase and carboxymethylcellulase when grown in cultures containing sugarcane bagasse. However, lower enzyme activities were obtained compared with that from synthetic cellulose. The treatment of the sugarcane bagasse in conjunction with 4% Ca(OH)₂ + 4% NaOH + autoclave promoted more breakage in the fiber and increased the carboxymethylcellulase and avicelase activity.

KEYWORDS: Sugarcane bagasse, avicelase, carboxymethylcellulase.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa um lugar de destaque tanto no setor produtivo quanto no aproveitamento dos resíduos de cana-de-açúcar. Este aproveitamento constitui-se em uma prática bastante generalizada, tanto para os efluentes, principalmente a vinhaça, como também para os descartes sólidos, como as tortas de filtro e o bagaço de cana. Esses resíduos se destacam pela abundância em determinadas regiões do país e pelo baixo custo. De acordo com Pereira (2006), cerca de 350 milhões de toneladas de resíduos agrícolas são produzidos anualmente no Brasil, sendo os resíduos provenientes da cana-de-açúcar os que apresentam o maior volume de geração.

A utilização do resíduo de bagaço de cana como substratos para a produção de enzimas é uma alternativa racional, considerando o elevado teor de carboidratos presente nessa biomassa (Cunha *et al.*, 2005; Pandey *et al.*, 2000). O bagaço de cana contém cerca de 25 a 40% de celulose e o restante de hemicelulose (20 a 35%) e lignina (15 a 35%) (Cowling e Kirk, 1976).

Celulases são enzimas capazes de atuar sobre os materiais celulósicos promovendo sua hidrólise. Neste processo estão envolvidos três principais grupos de enzimas: β -1,4-endoglucanase (EC 3.2.1.4), β -1,4-exoglucanase, que são representadas pelas celobiohidrolases (EC 3.2.1.91) e glucanohidrolases (EC 3.2.1.74) e o grupo representado pelas β -1,4-glicosidases (EC 3.2.1.21) (Lynd, *et al.*, 2002) As carboximetilcelulases (β -1,4-endoglucanase) clivam as ligações das regiões menos compactadas (amorfa) da celulose, diminuindo o comprimento da fibra e gerando novas extremidades livres. Já as avicelases (exoglucanases) agem de maneira progressiva em extremidades reductoras ou não-reductoras da celulose, com maior afinidade por celulose insolúvel ou microcristalina, liberando glicose e principalmente celobiose como produtos. Por outro lado, as β -glicosidases atuam nos resíduos de celobiose liberados e os hidrolisam a glicose (Bisaria e Ghose, 1981; Philippidis e Smith, 1995; Teeri, 1997; Zeilinger, *et al.*, 2000; Lee, *et al.*, 2002; Lynd, *et al.*, 2002; Howard, *et al.*, 2003).

As celulases, juntamente com as hemicelulases constituem um dos mais importantes grupos de enzimas industriais e são amplamente utilizadas em diversos ramos da indústria. Na indústria de alimentos, são empregadas nos processos de extração e clarificação de sucos de frutas. As celulases são também empregadas

na extração de óleos, pigmentos, essências, alcalóides e amido; preparação de alimentos infantis, produtos dermatológicos, produtos estimulantes de digestão, rações animais, produtos estimuladores de ensilagem, adjuvante para o malte da cerveja e no tratamento de lixo orgânico (Bhat, 2000). Também são empregadas em formulações de detergentes domésticos e industriais. Na área energética, as celulasas vêm sendo empregadas em plantas piloto para obtenção de hidrolisado de celulose, que são utilizados na fermentação visando à fabricação de produtos de interesse, tal como etanol (Kubicek, *et al.*, 1993). Celulasas são responsáveis por aproximadamente 20% do mercado mundial de enzimas. Em 2008, estas enzimas movimentaram um montante de USD 1,35 milhões (Pereira e Castro, 2010).

Na natureza, existe uma grande variedade de microrganismos que degradam biomassa, principalmente celulose, produzindo diferentes complexos de enzimas (Lynd, *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2010). A maior parte das bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* sp. apresenta uma variedade de sistemas de enzimas hidrolíticas, incluindo as celulasas, e são capazes de utilizar substâncias orgânicas consistindo de misturas complexas típicas de resíduos. Com exceção do grupo *Bacillus cereus* (que inclui o *Bacillus anthracis*), são saprófitas inofensivos que não produzem toxinas e são incluídos no grupo de organismos geralmente reconhecidos como seguros (GRAS) (Mahmood, *et al.*, 1998).

Atualmente a escolha de novos microrganismos produtores de enzimas é talvez o maior obstáculo na comercialização de novas enzimas. Sendo assim, à escolha de linhagens de microrganismos apropriados, a partir de fontes diversificadas e de baixo custo, como os resíduos agroindustriais, podem levar a uma melhor produção enzimática, além de reduzir os custos de produção. Neste contexto, a bactéria termofílica *Bacillus* sp. cepa SMIA-2, que foi utilizada neste trabalho, foi isolada por Nunes e Martins (2002) de amostras de solo da região norte fluminense do estado do Rio de Janeiro. Neste trabalho foi investigado a habilidade desta bactéria para produzir celulasas em culturas submersas contendo celulose sintética e bagaço de cana de açúcar.

METODOLOGIA

O micro-organismo utilizado neste estudo foi *Bacillus* sp. SMIA-2, uma bactéria termofílica, isolada no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) a partir de amostras de solo do município de Campos dos Goytacazes-RJ. O meio de cultura utilizado para a produção das celulasas continha (g/L): peptona 1,0; e traços de metais em várias concentrações. O pH foi ajustado para 7,5 com 1,0M NaOH e este meio foi esterilizado em autoclave a 121 + 2 0C por 15 minutos. A fonte de carbono (Avicel, Carboximetilcelulose e bagaço de cana de açúcar obtido localmente) na concentração de 0,5% foi esterilizada

separadamente e assepticamente adicionada aos erlenmeyers contendo o meio líquido, depois de resfriado. O meio de cultura (25mL em frascos Erlenmeyers de 250 mL), foi inoculado com 0,5 mL de um pré-inóculo preparado no dia anterior e incubado a 50 °C em um shaker orbital operando a 150 rpm. Frascos em triplicata foram retirados a intervalos de tempo pré-determinados para a determinação do crescimento do microrganismo e da atividade das celulases.

Preparação do bagaço de cana

O bagaço de cana foi lavado com água destilada, seco a aproximadamente 70°C por 48 horas e triturado em moinho de facas tipo Wily, peneira 30 mesh e posteriormente peneirado em peneira de 60 mesh. Em seguida, 10g deste material foram suspensos em uma solução contendo hidróxido de cálcio - 4% (p/v) e hidróxido de sódio – 4% (p/v) e posteriormente autoclavado a 121°C por 30 minutos. Após 12 horas de incubação a temperatura ambiente, o bagaço foi separado por filtração em um funil de Buchner usando papel de filtro Whatman no 1 e lavado com água destilada até atingir pH neutro. O controle consistiu no bagaço de cana adicionado apenas de água destilada.

Microscopia eletrônica de varredura

A análise da morfologia do bagaço foi realizada em microscópio eletrônico de varredura 1450 V operando a 20 kW. As amostras foram metalizadas com ouro e as imagens geradas a partir de elétrons secundários a vácuo. As amostras foram dispostas de forma que possibilitasse observar as modificações superficiais das fibras do bagaço depois do pré-tratamento.

Determinação da produção de celulases através de ensaio enzimático

A produção das celulases foi determinada indiretamente através da avaliação da atividade celulásica de extratos brutos do caldo de fermentação. Quando concluídas as fermentações, os meios de cultura foram centrifugados a 4500 x g por 15 min a 4°C, e o sobrenadante livre de células foi utilizado para dosagem da atividade das enzimas. As atividades da carboximetilcelulase (CMCase) e da avicelase foram determinadas baseando-se na técnica descrita por TANAKA *et al.* (1981) que consistiu em conduzir a hidrólise de uma solução de carboximetilcelulose 1,0% (p/v) em tampão Tris-HCl (0,05M e pH 8,0) para a atividade da fração CMCase e de uma suspensão a 1,0% (p/v) no mesmo tampão, de celulose microcristalina (avicel) para a avicelase. A quantidade de açúcares redutores foi determinada pelo método do DNS. A curva padrão foi feita a partir de glicose, nas concentrações de 0,2 a 1,0 g/L.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento de *Bacillus* sp SMIA-2 e a atividade da CMCase foram observados por 192 horas em meio líquido contendo 0,5% de carboximetilcelulose como fonte de carbono (Figura 1). O crescimento exponencial do microrganismo foi observado por um período longo de tempo, iniciando logo após a incubação da cultura e finalizando após 144 horas. A partir deste tempo, a cultura entrou na fase estacionária. A atividade da CMCase aumentou concomitantemente com a densidade ótica da cultura, alcançando a atividade máxima após 144 horas de incubação do microrganismo, com níveis de 124,84 U/mL, quando o crescimento já havia sido cessado e a cultura se encontrava na fase estacionária. Durante esta fase, quando a cultura já havia alcançado a máxima produtividade enzimática, a atividade da CMCase foi reduzida drasticamente, o que sugere que a produção desta enzima está associada ao crescimento e que a mesma foi produzida, quando a cultura estava metabolicamente ativa.

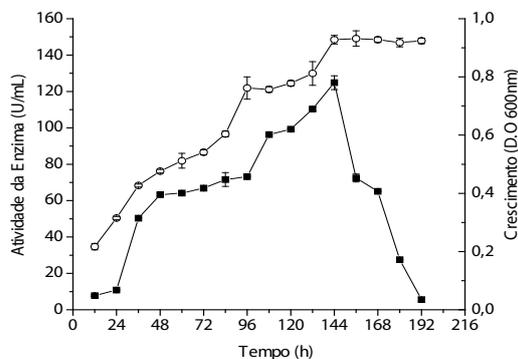


Figura 1. Crescimento (○) e atividade da carboximetilcelulase (■) secretada pelo *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio mineral contendo 0,5% de carboximetilcelulose por 192 horas a 50° C. As barras representam o desvio padrão.

Uma das características interessantes de espécies do gênero *Bacillus* é a sua habilidade para degradar substratos amorfos tais como a carboximetilcelulase, apesar de sua incapacidade para degradar Avicel. Entretanto, *Bacillus* sp SMIA-2 também mostrou capacidade para sintetizar a avicelase, quando cultivado num meio de cultura contendo avicel como fonte de carbono. Como mostrado na Figura 2, a atividade desta enzima aumentou concomitantemente com a densidade ótica da cultura, alcançando a atividade máxima após 120 horas de incubação do microrganismo, com níveis de 37,38 U/mL.

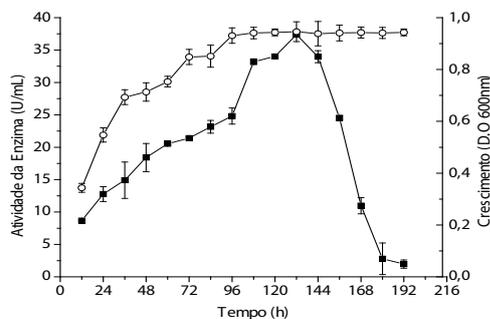


Figura 2. Crescimento (o) e atividade da avicelase (□) secretada pelo *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio mineral contendo 0,5% de avicel por 192 horas a 50° C. As barras representam o desvio padrão. A ausência de barras indica que o erro foi menor do que o símbolo.

Perfil da atividade da Avicelase, e CMCCase secretada por *Bacillus* sp SMIA-2

Um dos critérios importantes considerados na seleção de um microrganismo com potencial biotecnológico para uso industrial é sua habilidade para secretar enzimas, quando cultivado em substratos de baixo custo e localmente disponíveis. Neste sentido, *Bacillus* sp SMIA-2, foi cultivado em meio contendo bagaço de cana de açúcar e a atividade das enzimas CMCCase e avicelase foram determinadas. A secreção da enzima CMCCase iniciou logo após a incubação da cultura, alcançando o valor máximo na fase estacionária de crescimento, com níveis de 21,65 U/mL (Figura 3). A secreção da avicelase também foi iniciada logo após a incubação da cultura, entretanto a atividade máxima desta enzima (20 U/mL) foi mais tardiamente alcançada em relação à CMCCase.

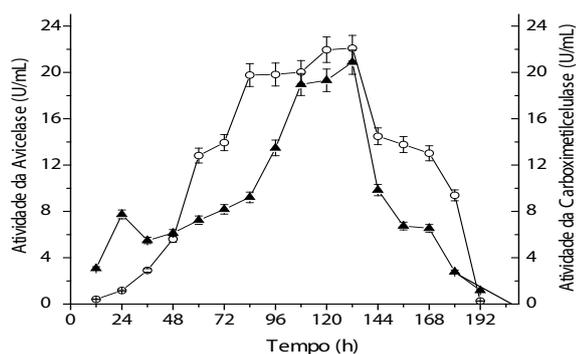


Figura 3. Atividade da carboximetilcelulase (o) e atividade da avicelase (□), secretada pelo *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio mineral contendo 0,5% de bagaço de cana por 192 horas a 50° C. As barras representam o desvio padrão.

O tratamento do bagaço de cana (BCT) com uma solução conjugada de 4% Ca(OH)₂ e 4% de NaOH promoveu um aumento de cerca de 4 vezes na atividade máxima da CMCCase, em relação ao bagaço de cana não tratado (BCNT). Ressaltá-se, entretanto, que o valor da atividade obtida (79 U/mL) ainda foi inferior aquele encontrado quando a carboximetilcelulose foi utilizada como substrato (125 U/mL).

Em relação áavicelase, também foi observado um aumento na sua atividade, quando o bagaço de cana foi tratado com a solução alcalina, entretanto, este aumento foi bem menos pronunciado que o observado para a carboximetilcelulase (Figura 4).

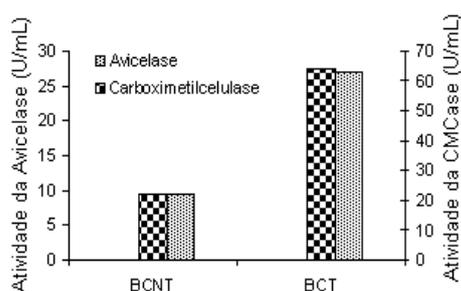


Figura 4. Influência do pré-tratamento do bagaço de cana sobre a atividade da avicelase e da carboximetilcelulase secretadas por *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado por 120h a 50° C

A morfologia das fibras do bagaço de cana tratadas e não tratadas superficialmente com hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio foram analisadas através da técnica de microscopia eletrônica de varredura. Como mostrado na Figura 5, as superfícies das fibras tratadas com a solução alcalina apresentaram características ligeiramente diferentes em relação às das superfícies das fibras não tratadas.

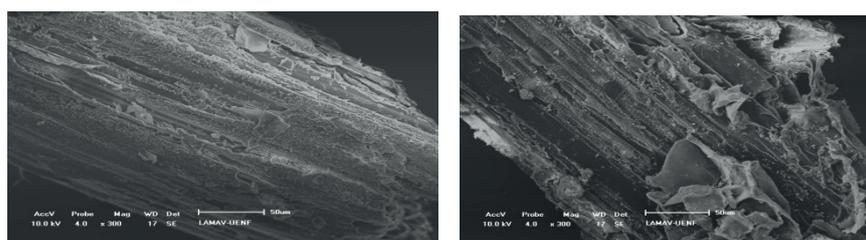


Figura 5. Microscopia eletrônica de varredura para o bagaço de cana não tratado (a) bagaço de cana tratado (b).

No bagaço tratado foi observada uma pequena quebra na estrutura da fibra, indicando perda da consistência fibrilar e desestruturação da lignina. De acordo com Ferreira et al., (2006), o tratamento alcalino, além de remover impurezas e tornar a superfície da fibra mais rugosa, retira parcialmente a lignina da fibra e solubiliza a hemicelulose deixando a celulose mais exposta ao ataque enzimático. A solubilização da hemicelulose em meio alcalino também foi comprovada por Caraschi e Titã (1996).

CONCLUSÃO

Bacillus sp SMIA-2 secretou carboximetilcelulase e avicelase quando cultivado em um meio de cultura contendo como fonte de carbono carboximetilcelulose e avicel, respectivamente. A utilização do bagaço de cana de açúcar como substrato no meio de cultura (em substituição a carboximetilcelulose e avicel) induziu a síntese das enzimas carboximetilcelulase e avicelase. Os níveis de atividade das enzimas foram inferiores

aqueles observados quando carboximetilcelulose e a avicel foram utilizadas como fonte de carbono. O pré-tratamento do bagaço de cana com uma combinação dos álcalis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e NaOH causou uma quebra na estrutura da fibra como evidenciado pela microscopia eletrônica de varredura. Além disso, promoveu um aumento na atividade da avicelase e carboximetilcelulase, sendo mais pronunciado para a última enzima.

REFERÊNCIAS

- Bhat, M.K. **Celulases and related enzymes in biotechnology**. *Biotechnol Adv.* 2000, 18, 355. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14538100>. Acesso em: 09 de março de 2017.
- Bisaria, V. S.; Ghose, T. K. **Biodegradation of cellulosic materials: Substrates, microorganisms, enzymes and products**. *Enzyme and Microbial Technology*. 1981, 3, 90. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141022981900661>. Acesso em: 29 de novembro de 2016.
- Castro, A.M.; Carvalho, M.L.A.; Leite, S.G.F.; Pereira Jr, N.; *J. Ind. Microbiol Biotechnol.* 37, 151, 2010.
- Cowling, E. B.; Kirk, T. K. **Properties of cellulose and lignocellulose materials and substrats for enzymatic conversion processes**. *Biotechnology and Bioengineering Symposium*, 6:95-123, 1976.
- Cunha, M. A. A.; Solva, S. S.; Carvalho, W.; Santos, J. C. **Uso de células imobilizadas em gel de PVA: uma nova estratégia para a produção de xilitol a partir do bagaço de cana de açúcar**. *Ciências Agrícolas*, Terezina, v. 26, p. 61-70, 2005.
- Howard, R. L.; Masoko, P.; Abotsi, E. **Enzyme activity of a phanerochaete chrysosporium cellobiohydrolase (CBHI.1) expressed as a heterologous protein from Escherichia coli**. *African Journal of Biotechnology*. 2003, 2, 296. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/journal/AJB/how-to-cite-article/B35079F10148>. Acesso em: 25 de janeiro de 2017.
- Kubicek, C. P., Messner, R., Gruber, F., Mach, R. L., Kubicek-Pranz, E. M. **The Trichoderma cellulase regulatory puzzle: From the interior life of a secretory fungus**. *Enzyme and Microbial Technology*, 1993, 15, 90. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141022993900306?via%3Dihub>. Acesso em: 18 de janeiro de 2017.
- Lee, T.I., Rinaldi, N.J., Robert, F., Odom, D.T., Bar-Joseph, Z., Gerber, G.K., Hannett, N.M., Harbison, C.T., Thompson, C.M., Simon, I., Zeitlinger, J., Jennings, E.G., Murray, H.L., Gordon, D.B., Ren, B., Wyrick, J.J., Tagne, J.B., Volkert, T.L., Fraenkel, E., Gifford, D.K., Young, R.A. **Transcription a regulatory networks in Saccharomyces cerevisiae**. *Science*. 2002, 298, 799. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12399584>. Acesso em: 16 de janeiro de 2017.
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Van Zyl, W. H., Pretorius, I. S. **Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology**. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2002, 66, 506. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC120791/>. Acesso em 26 de novembro de 2016.
- Pandey, A.; Soccol, C. R. **Economic utilization of crop residues for value addition: a futuristic approach**. *Journal of Scientific & Industrial Research*, v. 59, p. 12–22, 2000.
- Pereira, R. E. **Avaliação do Potencial Nacional de Geração de Resíduos Agrícolas para a Produção de Etanol**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - *Escola de Química*, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- Pereira Jr, N.; Castro, A. M. **Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais**. *Química Nova*. 2010, 33, 181. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n1/31.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2017.

Mahmood, A. U., Greenman, J., Scragg, A. H. **Orange and potato peel extracts: Analysis and use as Bacillus substrates for the production of extracellular enzymes in continuous culture.** Enzyme Microbial Technology. 1998, 22, 130. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141022997001506>. Acesso em: 06 de março de 2017.

Nunes, A.S.; Martins, M.L.L. **Isolation, properties and kinetics of growth of a thermophilic Bacillus.** Brazilian Journal of Microbiology. 2001, 32, 271. Acesso em: 29 de novembro de 2016.

Philippidis, G. P., Smith, T. K. **Limiting factors in the simultaneous saccharification and fermentation process for conversion of cellulosic biomass to fuel ethanol.** Applied Biochemistry and Biotechnology. 1995, 51, 117. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02933416>. Acesso de 15 janeiro 2017.

Teeri, T. T. **Crystalline cellulose degradation: new insight in to the function of cellobiohydrolases.** Trends in Biotechnology. 1997, 15, 160. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/biotechnology/abstract/S0167-7799\(97\)01032-9](https://www.cell.com/trends/biotechnology/abstract/S0167-7799(97)01032-9). Acesso em: 27 de novembro de 2016.

Zeilinger, S., Haller, M., Mach, R., Kubicek, C. P. **Molecular characterization of a cellulase-negative mutante of hypocreajecorina.** Biochemical and Biophysical Research Communications. 2000, 277, 581. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X00937264>. Acesso em: 26 de novembro de 2016.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio - Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2019-2023), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2014-2016), Especialista MBA em Agronegócios – CESCAGE (2010). Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009). Atualmente é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-188-6

