

PRODUÇÃO, PROPRIEDADES E APLICAÇÃO DE CELULASES NA HIDRÓLISE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Aline Machado de Castro*

Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, PETRÓLEO BRASILEIRO S.A., Av. Horácio Macedo, 950, Ilha do Fundão, 21941-920 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Nei Pereira Jr.

Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 21945-970 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Tabela 1S. Composição de alguns materiais lignocelulósicos

Material	Composição (%)			Ref.
	Celulose	Hemicelulose	Lignina	
Bagaco de cana (<i>Saccharum officinarum</i>)	36	28	20	1
Palha de cana	36	21	16	2
Palha de milho (<i>Zea mays</i>)	36	28	29	1
Sabugo de milho	36	28	NR	1
Palha de trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	39	36	10	3
Palha de cevada (<i>Hordeum vulgare</i>)	44	27	7	3
Farelo de cevada	23	33	21	4
Palha de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	33	26	7	3
Casca de arroz	36	20	19	5
Palha de aveia (<i>Avena sativa</i>)	41	16	11	3
Palha de algodão (<i>Gossypium hirsutum</i>)	42	12	15	6
Casca de amendoim (<i>Arachis hypogaea</i>)	38	36	16	6
Douglas fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	50	18	28	5
Pinheiro (<i>Pinus</i> sp.)	44	26	29	1
Salgueiro (<i>Salix alba</i>)	37	23	21	1
Capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>)	32	20	9	2
Resíduos sólidos municipais	33	9	17	2
Papel	43	13	6	1
Papelão	47	25	12	1
Jornal	62	16	21	2

NR: Valores não reportados

*e-mail: alinebio@petrobras.com.br

Tabela 2S. Propriedades cinéticas e físico-químicas das celulasas

Fonte e tipo da enzima	T _o (°C); pH _o	K _M ² ; V _{máx} ³	MM (kDa); pI; % carboidrato	Referência
<i>Caldibacillus cellulovorans</i> Endoglucanase	80; 7,0	3,4 ² ; 44,7 ³	85,1; 4,12; NR	7
<i>Bacillus</i> sp. D04 Celulase bifuncional ¹	NR; NR	5,29 ⁴ ; 214 ⁵	35; NR; NR	8
<i>Ceriporiopsis subvermispora</i> Endoglucanase	60; 3,5	NR; NR	NR; NR; NR	9
β-glicosidase	60; 4,5			9
<i>Trichoderma viride</i> Endoglucanase	60; 4,8	NR; NR	NR; NR; NR	10
<i>Myceliophthora thermophila</i> Endoglucanase	65; 4,8	NR; NR	100; NR; NR	11
<i>Talaromyces emersonii</i> Endoglucanase I	75-80; 5,5-5,8	NR; NR	35; NR; 27,7	12
β-glicosidase	70; 4,1	NR; NR	135; NR; 50	13
Celobiohidrolase IA	78; 3,6	2,1 ⁴ ; 9,2 ⁶	66; 4,5; 38,2	14
<i>Humicola insolens</i> Endoglucanase	50; 5,0	NR; NR	57; NR; 39,0	15
Exoglucanase	50; 5,0	NR; NR	72; NR; 26,0	16
β-glicosidase	50; 5,0	NR; NR	250; 4,2; 2,5	17
<i>Humicola grisea</i> var <i>thermoidea</i> β-glicosidase	60; 4,0-4,5	NR; NR	156; NR; NR	18
<i>Humicola lanuginosa</i> β-glicosidase	60; 4,5	0,44 ⁴ ; NR	110; NR; 9,0	19
<i>Sporotrichum thermophile</i> Exoglucanase	63; 4,0-5,0	NR; NR	64; 4,5; 8,0	20
β-glicosidase	65; 5,4	0,83 ⁴ ; NR	240; NR; NR	21
<i>Trichoderma harzianum</i> β-glicosidase	45; 5,0	0,20 ⁴ ; 187 ³	75; 8,7; NR	22
<i>Ruminococcus albus</i> β-glicosidase	37; 6,8	NR; NR	100; 5,3; NR	23
<i>Bacteroides succinogenes</i> β-glicosidase	45-50; 5,9-6,2	0,40 ⁴ ; 11,6 ³	40; 4,9; NR	24
<i>Penicillium funiculosum</i> endoglucanase	58; 4,8	11 ² ; 0,56 ⁷	140-190; NR;NR	25
β-glicosidase	57; 4,9	1,75 ⁴ ; 0,12 ⁷	NR;NR;NR	25
<i>Trichoderma harzianum</i> endoglucanase	47-52; 4,9-5,1	19-22 ² ; 0,07-0,12 ⁷	55-95;NR;NR	26
β-glicosidase	53-54; 5,0	1,5-1,5 ⁴ ; 0,11-0,13 ⁷	NR;NR;NR	26
<i>Aspergillus oryzae</i> β-glicosidase	50; 5,0	0,55 ⁴ ; NR	43; 4,2; NR	27
<i>Aspergillus niger</i> endoglucanase	54; 5,1	46 ² ; 1,04 ⁷	75-105; NR; NR	26
β-glicosidase	54; 5,0	3,28 ⁴ ; 0,11 ⁷	NR;NR;NR	

T_o: Temperatura ótima de atuação; pH_o: pH ótimo de atuação; MM: Massa molecular; pI: Ponto isoelétrico; NR: Valores não reportados. ¹A enzima apresentou comportamento característico tanto de endo- como de exoglucanase; Unidades dos valores apresentados: ² g L⁻¹; ³ μmol min⁻¹ mg⁻¹; ⁴ mM; ⁵ μmol min⁻¹; ⁶ μmol min⁻¹ mL⁻¹; ⁷ μmol min⁻¹ UI⁻¹

Tabela 3S. Produção de celulasas por micro-organismos

Micro-organismo	Fonte celulósica	Forma de operação do cultivo; temperatura (°C); pH	Máximas atividades (tempo de processo)	Ref.
<i>T. reesei</i> Rut C30	Salgueiro pré-tratado a vapor	FS; 30; 5,5-6,0	1390 FPU.L ⁻¹ ; 1450 UI BG.L ⁻¹ (4 d)	28
<i>T. reesei</i> Rut C30	Carvalho pré-tratado a vapor	FS; 30; 5,0	4250 UI PFL ⁻¹ ; 45000 UI EnG.L ⁻¹ ; 140 UI BG.L ⁻¹ (9 d)	29
<i>T. reesei</i> QM 9414	Avicel Bagaço Bagaço tratado com álcali	FS; 30; 4,8	163 UI PFL ⁻¹ (68 h) 85 IU PFL ⁻¹ (68 h) 90 UI PFL ⁻¹ (44 h)	30
<i>T. reesei</i> Rut C30	Solka Floc	FS; 28; 4,8	4250 UI PFL ⁻¹ (7 d)	31
<i>Fusarium oxysporum</i> F3	Sabugo de milho	FES; 30; 6,0	180 UI EG.g ⁻¹ (168 h); 0,08 UI BG.g ⁻¹ (168 h); 4 UI CBH.g ⁻¹ (120 h)	32
<i>Thermoascus aurantiacus</i> IMI 216529	Palha de trigo	FES; 49; 4,0	5,5 FPU.g ⁻¹ ; 79 UI BG.g ⁻¹ ; 1709 UI EnG.g ⁻¹ ; 4 UI CBH.g ⁻¹	33
Cultura mista <i>T. reesei</i> Rut C30 e <i>Aspergillus Phoenicis</i> QM 329	Esterco	FS;27; 5,5	1540 FPU.L ⁻¹ (10 d); 640 UI BG.L ⁻¹ (9 d)	34
<i>Penicillium pinophilum</i> IBT 4186	Solka Floc	FS;30;5,0	280 FPU.L ⁻¹ (221 h)	35
<i>P. persicinum</i> IBT 13226		FS;25;5,0	800 FPU.L ⁻¹ (236 h)	
<i>P. brasilianum</i> IBT 20888		FS;30;5,0	750 FPU.L ⁻¹ (229 h)	
<i>T. reesei</i> ZU-02	Sabugo de milho e farelo de trigo	FES; 30; 4,5	130 FPU.g ⁻¹ (6 d)	36
<i>P. decumbens</i> 1	Palha e farelo de trigo	FES;30;NR ²	15,2 FPU.g ⁻¹ (4 d); 50,6 UI BG.g ⁻¹ (4 d)	37
<i>A. terreus</i>	Bagaço de cana	FS;35;4,0	110 FPU.L ⁻¹ (7 d); 1200 UI EG.L ⁻¹ (7 d)	38
<i>Cellulomonas biazotea</i>	Palha de trigo	FS;30;7,3	3200 UI EG.L ⁻¹ ; 1100 UI PFL ⁻¹ ; 250 UI BG.L ⁻¹ (72 h)	39
			4200 UI EG.L ⁻¹ ; 1250 UI PFL ⁻¹ ; 550 UI BG.L ⁻¹ (80 h)	
<i>Bacillus</i> sp. JCM 9156	CMC	FS;37;10,5	46 UI EnG.L ⁻¹ (30 h)	40
Cultura mista de <i>B. pumilus</i> selvagem e mutante CRI 6	CMC Celobiose	FS;37;6,0	2250 UI EnG.L ⁻¹ (24 h) 1660 UI BG.L ⁻¹ (24 h)	41
<i>T. reesei</i> Rut C30	Solka Floc	FS;28;5,8	1200 FPU.L ⁻¹ (6 d); 1350 UI BG.L ⁻¹ (7 d)	42
<i>T. reesei</i> QM 9414	Fibra de milho pré-tratada	FS;28;4,8	280 UI PFL ⁻¹ ; 9529 UI EnG.L ⁻¹ ; 640 UI BG.L ⁻¹	43
<i>T. reesei</i> Rut C30			350 UI PFL ⁻¹ ; 9350 UI EnG.L ⁻¹ ; 730 UI BG.L ⁻¹ (8 d)	
<i>T. reesei</i> L27			13600 FPU.L ⁻¹ (7 d)	
Cultura mista <i>T. reesei</i> QM 9414 e <i>A. terreus</i> SUK-1	Bagaço de cana	FES;30;5,5	600 UI PFL ⁻¹ (7 d); 40 UI BG.L ⁻¹ (6 d)	45
Cultura mista <i>T. reesei</i> LM-UC4 e <i>A. phoenicis</i> QM 329	Bagaço de cana	FES;30;NR	14 UI PF.g ⁻¹ ; 80 UI EnG.g ⁻¹ ; 17 UI BG.g ⁻¹ (120 h)	46
<i>T. reesei</i> Rut C30	Solka Floc	FS;30;5,0	1300 FPU.L ⁻¹ (50 h)	47
<i>T. reesei</i> ZU-02	Sabugo de milho	FS;30;4,8	5000 UI PFL ⁻¹ ; 240 UI BG.L ⁻¹ (4 d)	48
<i>A. niger</i> ATCC 6275	Torta de palmeira	FES;35;6,1	26,8 UI.g ⁻¹ (12 d)	49

Tabela 4S. Condições de aplicação de celulases na hidrólise de materiais lignocelulósicos

Fonte das celulases	Configuração do processo; temperatura (°C); pH	Carga de enzimas	Fonte celulósica	Teor de produto (g L ⁻¹) (tempo de processo, h)	Ref.
Multifect B ^{®3}	SSF; 50; 5,4	5 FPU g ⁻¹ biomassa	Alfafa	50 ¹ (96)	50
Novozym 188 ^{®4} , SP431 ^{®2}	H; 37; 5,0	25 FPU g ⁻¹ celulose	Bagaço de cana	6 ² (24)	51
Celucast 1.5L ^{®4}	SSF; 42; NR	15 FPU g ⁻¹ biomassa	Eucalipto Palha de trigo Bagaço de sorgo	<1 ¹ (160) 3 ¹ (160) 2 ¹ (160)	52
Celucast 1.5L ^{®4} Novozym 188 ^{®4}	SSF; 40; 4,4-5,3	15 FPU g ⁻¹ biomassa 15 UI g ⁻¹ biomassa	Solka Floc 200	5 ¹ (24)	53
Preparados de <i>Acremonium</i> ^{®5} , Meicellase ^{®5}	SHF; 45; 4,5	20 U g ⁻¹ biomassa	Sabugo de milho	25 ¹ (72) 35 ¹ (72)	54
Celucast 1.5L ^{®4} Novozym 188 ^{®4}	SHF; 45; 5,0	31 UI EG g ⁻¹ biomassa 8 UI BG g ⁻¹ biomassa	Palha de trigo	46 ⁶ (39)	55
Cellulase Y-NC ^{®7}	SHF; 37; 5,0	3,3 mg L ⁻¹	Farelo de arroz	20 ¹ (48)	56
C-1184 ^{®8} de <i>A. niger</i>	H; 60; 5,0	100 µg g ⁻¹ biomassa	Casca de arroz	1,2 ⁹ (5)	57
Celucast ^{®4} Novozym 188 ^{®4}	H; 50; 4,8	40 FPU g ⁻¹ celulose	Softwood	70 ¹ (30)	58
Celucast ^{®4} Novozym 188 ^{®4}	H; 45; 4,8	80 FPU g ⁻¹ celulose	Madeira Douglas fir	1,5 ¹ (72)	59
Rapidase Pomaliq ^{®10}	H; 50; 5,0	26 UI EG g ⁻¹ biomassa	Sabugo de milho	110 ¹ (48)	60
Preparados de <i>T. viride</i> e <i>A. niger</i>	H; 50; 4,8	28 U EG g ⁻¹ biomassa	Bagaço de cana	20 ⁹ (72)	61
Preparado da Novozymes	H; 50; 5,3	322 FPU g ⁻¹ biomassa	Palha de trigo	17 ⁹ (7)	62
Celucast 1.5L ^{®4} Novozym 188 ^{®4}	H; 40; 4,8	15 FPU g ⁻¹ biomassa 20 UI BG g ⁻¹ biomassa	Bagaço de cana	17 ¹ (72)	63
Celucast 1.5L ^{®4} Novozym 188 ^{®4}	SSCF; 30; 5,0	15 FPU g ⁻¹ biomassa 25 UI BG g ⁻¹ biomassa	Resíduos de milho	19 ¹ (8)	64
Celucast 1.5L FG ^{®4}	SSF; 42; NR	15 FPU g ⁻¹ celulose	Sigmacell ⁻¹¹	15,3 ¹ (2-4)	65
Preparados de <i>T. viride</i> e <i>A. niger</i>	H; 50; 4,8	41600 U g ⁻¹ celulose	CMC	0,36 ¹ (3)	66

¹ Concentração de produto expressa como glicose; ² concentração de produto expressa como glicose e celobiose; ³ preparados comercializados pela empresa Genencor; ⁴ preparados comercializados pela empresa Novozymes; ⁵ preparados comercializados pela empresa Meiji Pharmaceutical; ⁶ concentração de produto expressa como açúcares totais; ⁷ preparados comercializados pela empresa Yakult Pharmaceutical; ⁸ preparados comercializados pela empresa Sigma; ⁹ concentração de produto expressa como açúcares redutores totais; ¹⁰ preparado comercializado pela empresa Gist Brocades; ¹¹ celulose microcristalina comercializada pela empresa Sigma Aldrich. NR: Informação não reportada; BG: β-glicosidase; H: processo em que só a hidrólise foi avaliada, sem a etapa de fermentação; SSF: sacarificação simultânea à fermentação; HSF: hidrólise separada da fermentação; SSCF: sacarificação simultânea à cofermentação.

REFERÊNCIAS

1. Olsson, L.; Hahn-hagerdal, B.; *Enzyme Microb. Technol.* **1996**, *18*, 312.
2. <http://www.hawaii.gov/dbedt/info/energy/transportation/ethanol/studies/ethanol94.pdf>, acessada em Maio 2009.
3. Awafo, V. A.; *Tese de Doutorado*, McGill University, Canadá, 1997.
4. Couto, S. R.; Sanromán, M. A.; *Biochem. Eng. J.* **2005**, *22*, 211.
5. Cen, P.; Xia, L.; *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* **1999**, *65*, 70.
6. Ghosh, P.; Singh, A.; *Adv. Appl. Microbiol.* **1993**, *39*, 295.
7. Huang, X. P.; Monk, C.; *World J. Microbiol. Biotechnol.* **2004**, *20*, 85.
8. Han, S. J.; Yoo, Y. J.; Kang, H. S.; *J. Biol. Chem.* **1995**, *270*, 26012.
9. Heidorne, F. O.; Magalhães, P. O.; Ferraz, A. L.; Milagres, A. M. F.; *Enzyme Microb. Technol.* **2006**, *38*, 436.
10. Mandels, M.; Reese, E. T.; *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **1999**, *22*, 225.
11. Roy, S. K.; Dey, S. K.; Raha, S. K.; Chakrabarty, S. L.; *J. Gen. Microbiol.* **1990**, *136*, 1967.
12. Moloney, A. P.; McCrae, S. I.; Wood, T. M.; Couglan, M. P.; *Biochem. J.* **1985**, *225*, 365.
13. Coughlan, M. P.; McHale, A.; *Methods Enzymol.* **1988**, *160*, 437.
14. Tuohy, M. G.; Walsh, D. J.; Murray, P. G.; Claeysens, M.; Cuffe, M. M.; Savage, A. V.; Coughlan, M. P.; *Biochim. Biophys. Acta.* **2002**, *1596*, 366.
15. Hayashida, S.; Ohta, K.; Mo, K.; *Methods Enzymol.* **1988**, *160*, 323.
16. Hayashida, S.; Yoshioka, H.; *Agric. Biol. Chem.* **1980**, *44*, 481.
17. Hayashida, S.; Yoshioka, H.; *Agric. Biol. Chem.* **1980**, *44*, 1721.
18. Filho, E. X. F.; *Can. J. Microbiol.* **1996**, *42*, 1.
19. Bhat, M. K.; Bhat, S.; *Biotechnol. Adv.* **1997**, *15*, 583.
20. Anand, L.; Vithayathil, P. J.; *J. Ferm. Bioeng.* **1989**, *67*, 380.
21. Fracheboud, D.; Canevascini, G.; *Enzyme Microb. Technol.* **1989**, *11*, 220.
22. Yun, S. I.; Jeong, C. S.; Chung, D. K.; Choi, H. S.; *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **2001**, *65*, 2028.
23. Ohmiya, K.; Shimizu, M.; Taya, M.; Shimizu, S.; *J. Bacteriol.* **1982**, *150*, 407.
24. Huang, L.; Forsberg, C. W.; *Appl. Environ. Microbiol.* **1987**, *53*, 1034.
25. Castro, A. M.; Carvalho, M. L. A.; Leite, S. G. F.; Pereira Jr., N.; *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, submetido.
26. Castro, A. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2006.
27. Riou, C.; Salmon, J. M.; Vallier, M. J.; Günata, Z.; Barre, P.; *Appl. Environ. Microbiol.* **1998**, *64*, 3607.
28. Bollók, M.; Réczey, K.; *Acta Aliment.* **2000**, *29*, 155.
29. Shin, C. S.; Lee, J. P.; Lee, J. S.; Park, S. C.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2000**, *84-86*, 237.
30. Aiello, C.; Ferrer, A.; Ledesma, A.; *Bioresour. Technol.* **1996**, *57*, 13.
31. Velkova, S.; Marten, M. R.; Ollis, D. F.; *J. Biotechnol.* **1997**, *54*, 83.
32. Panagiotou, G.; Kekos, D.; Macris, B. J.; Cristakopoulos, B.; *Ind. Crop. Prod.* **2003**, *18*, 37.
33. Kalogeris, E.; Iniotaki, F.; Topakas, E.; Cristakopoulos, P.; Kekos, D.; Macris, B. J.; *Bioresour. Technol.* **2003**, *86*, 207.
34. Wen, Z.; Liao, W.; Chen, S.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2005**, *121-124*, 93.
35. Jorgensen, H.; Morkeberg, A.; Krogh, K. B. R.; Olsson, L.; *Enzyme Microb. Technol.* **2005**, *36*, 42.
36. Xia, L.; Cen, P.; *Proc. Biochem.* **1999**, *34*, 909.
37. Mo, H.; Zhang, X.; Li, Z.; *Proc. Biochem.* **2004**, *39*, 1293.
38. El-Nawwi, S. A.; El-Kader, A. A.; *Biom. Bioen.* **1996**, *11*, 361.
39. Rajoka, M. I.; Malik, K. A.; *Bioresour. Technol.* **1997**, *59*, 21.
40. Zhang, C.; Xing, X. H.; Liu, M. S.; *Biochem. Eng. J.* **2004**, *19*, 181.
41. Kotchoni, O. S.; Shonukan, O. O.; Gachomo, W. E.; *Afr. J. Biotechnol.* **2003**, *2*, 140.
42. Juhász, T.; Egyházi, A.; Réczey, K.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2005**, *121-124*, 243.
43. Li, X. L.; Dien, B. S.; Cotta, M. A.; Wu, Y. V.; Saha, B. C.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2005**, *121-124*, 321.
44. Hayward, T. K.; Hamilton, J.; Tholudur, A.; McMillan, J.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2000**, *84-86*, 859.
45. Massadeh, M. I.; Mohtar Wan Yussof, W.; Omar, O.; Kader, J.; *Biotechnol. Lett.* **2001**, *23*, 1771.
46. Gutierrez-Correa, M.; Tengerdy, R. P.; *Biotechnol. Lett.* **1997**, *19*, 665.
47. Juhász, T.; Szengyel, Z.; Szijártó, N.; Réczey, K.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2004**, *113-116*, 201.
48. Liming, X.; Xueliang, S.; *Bioresour. Technol.* **2004**, *91*, 259.
49. Prasertsan, P.; H-Kittikul, A.; Kungphae, A.; Maneesri, J.; Oi, S.; *World J. Microbiol. Biotechnol.* **1997**, *13*, 555.
50. Sreenath, H. K.; Koegel, R. G.; Moldes, A. B.; Jeffries, T. W.; Straub, R. J.; *Proc. Biochem.* **2001**, *36*, 1199.
51. Teixeira, L. C.; Linden, J. C.; Schroeder, H. A.; *Renew. Energ.* **1999**, *16*, 1070.
52. Ballesteros, M.; Oliva, J. M.; Negro, M. J.; Manzanares, P.; Ballesteros, I.; *Proc. Biochem.* **2004**, *39*, 1843.
53. Kádár, Z.; Szengyel, Z.; Réczey, K.; *Ind. Crop. Prod.* **2004**, *20*, 103.
54. Miura, S.; Arimura, T.; Itoda, N.; Dwiarti, L.; Feng, J. B.; Bin, C. H.; Okabe, M.; *J. Biosci. Bioeng.* **2004**, *97*, 153.
55. Saha, B. C.; Iten, L. B.; Cotta, M. A.; Wu, Y. V.; *Proc. Biochem.* **2005**, *40*, 3693.
56. Tanaka, T.; Hoshina, M.; Tanabe, S.; Sakai, K.; Ohtsubo, S.; Taniguchi, M.; *Bioresour. Technol.* **2006**, *97*, 211.
57. Sharma, A.; Khare, S. K.; Gupta, M. N.; *Bioresour. Technol.* **2001**, *78*, 281.
58. Xiao, Z.; Zhang, X.; Gregg, D. J.; Saddler, J. N.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2004**, *113-116*, 1115.
59. Pan, X.; Zhang, X.; Gregg, D. J.; Saddler, J. N.; *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2004**, *113-116*, 1103.
60. Hang, Y. D.; Woodams, E. E.; *Lebensm. Wiss. Technol.* **2001**, *34*, 140.
61. Aguiar, C. L.; Menezes, T. J. B.; *Biociência & Desenvolvimento* **2002**, *26*, 52.
62. Carrillo, F.; Lis, M. J.; Colom, X.; Lopes-Mesas, M.; Valldeperas, J.; *Proc. Biochem.* **2005**, *40*, 3360.
63. Sendelius, J.; *Dissertação de Mestrado*, Lund University, Suécia, 2005.
64. Öhgren, K.; Rudolf, A.; Galbe, M.; Zacchi, G.; *Biom. Bioen.* **2006**, *30*, 863.
65. Tomás-Pejó, E.; García-Aparicio, M.; Negro, M. J.; Oliva, J. M.; Ballesteros, M.; *Bioresour. Technol.* **2009**, *100*, 890.
66. Imai, M.; Ikari, K.; Suzuki, I.; *Biochem. Eng. J.* **2004**, *17*, 79.