

Artigo

Rumo a uma Química Renovável Brasileira a partir da Biomassa Vegetal

Vaz Jr., S.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (1), 238-247. Data de publicação na Web: 8 de fevereiro de 2017<http://rvq.sbq.org.br>**Towards a Renewable Brazilian Chemistry from Vegetal Biomass**

Abstract: The transition from the current dependence on non-renewable raw materials of the chemical industry to vegetable biomass as an oil substitute has become a strategic challenge to the twenty-first century. Chemicals have the highest potential to add value on a biomass chain because of the importance of conventional chemical industry and fine chemical chemistry for different sectors of economy. This article deals with the economic potential of the vegetable biomass as a source of raw material to support the production of renewable chemicals. The focus is on illustrating the perspectives and challenges for the development of a Brazilian renewable chemical industry, considering that Brazil is one of the largest global producers of agro-industrial biomass for several purposes, especially for food and biofuels.

Keywords: Renewable resources; Green chemistry; Biorefineries; Bioeconomy.

Resumo

A transição da atual dependência da indústria química por matérias-primas não renováveis, como o petróleo, para matérias-primas renováveis como a biomassa vegetal, tornou-se um desafio estratégico para o século XXI. Produtos químicos têm o maior potencial para agregar valor às cadeias da biomassa vegetal, devido à importância da indústria química convencional e da química fina para diferentes setores da economia. Este artigo trata do potencial econômico da biomassa vegetal como fonte de matéria-prima para apoiar a produção de produtos químicos renováveis. O foco é demonstrar as perspectivas e os desafios para o desenvolvimento de uma indústria química renovável brasileira, considerando que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de biomassa agroindustrial para diversos fins, especialmente para alimentos e biocombustíveis.

Palavras-chave: Recursos renováveis; Química verde; Biorrefinarias; Bioeconomia.

* Embrapa Agroenergia, Parque Estação Biológica, s/n, Av. W3 Norte, Asa Norte, CEP 70770-901, Brasília-DF, Brasil.

✉ silvio.vaz@embrapa.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170016](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170016)

Rumo a uma Química Renovável Brasileira a partir da Biomassa Vegetal

Sílvio Vaz Jr.*

Embrapa Agroenergia, Parque Estação Biológica, s/n, Av. W3 Norte, Asa Norte, CEP 70770-901, Brasília-DF, Brasil.

* silvio.vaz@embrapa.br

Recebido em 6 de outubro de 2016. Aceito para publicação em 7 de fevereiro de 2017

1. Introdução
2. Biomassa Residual Agroindustrial e Agroenergética como Fonte de Matéria-prima
3. Tecnologias de Conversão Disponíveis e em Desenvolvimento
4. Cenário Brasileiro para uma Química Renovável
5. Conclusões

1. Introdução

A utilização da biomassa vegetal em cadeias produtivas semelhantes à do petróleo vem se tornando, nos últimos anos, foco de investimento de grandes recursos financeiros. Conceitos relativamente recentes como biorrefinarias¹ e química verde² vêm estimulando e promovendo o desenvolvimento da química renovável (Figura 1), a qual baseia-se, sobretudo, na utilização da biomassa como matéria-prima renovável para processos sustentáveis. Observa-se uma grande sinergia entre as biorrefinarias e a química verde, principalmente em relação à minimização de resíduos e de impactos ambientais para a criação de uma economia verde ou bioeconomia.^{3, 4} Portanto, ambos os conceitos complementam-se para gerar menos impacto negativo sobre meio

ambiente e o maior aproveitamento econômico da biomassa, por compreenderem sistemas sustentáveis integrados (matéria-prima, processo, produto e resíduos).

Em termos de valorização econômica,⁵ a química fina desenvolvida a partir da biomassa tem um potencial significativo devido à sua participação estratégica em setores diversos como o farmacêutico, automotivo, construção, agronegócio e cosméticos, entre outros. Biocombustíveis e biomateriais vêm em um segundo patamar de valorização, seguidos por energia e insumos como biofertilizantes. Contudo, o uso da biomassa residual agroindustrial – ex.: bagaço da cana-de-açúcar - é fundamental para permitir que os bioprodutos, como os biocombustíveis, alcancem ganhos sociais, econômicos e ambientais.⁶

O mercado mundial de produtos químicos é estimado em US \$ 100 bilhões por ano, dos

quais 3 % estão relacionados aos bioprodutos, ou derivados de biomassa. No entanto, espera-se que a produção de renováveis aumente substancialmente até 2025.⁷ O aumento da procura pelos renováveis não só oferece um grande

número de oportunidades para as tecnologias verdes e processos que utilizam biomassa em biorrefinarias, mas também apresenta vários desafios relacionados aos preços de mercado e à substituição ou complementação de petroquímicos.

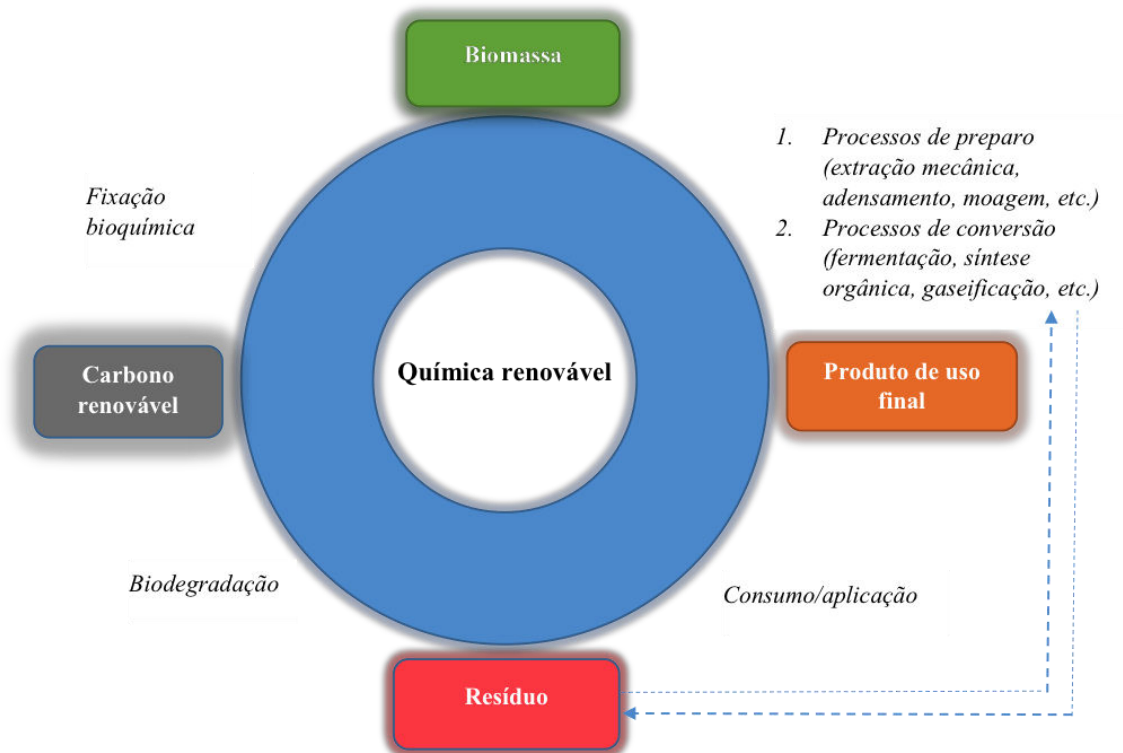


Figura 1. Ilustração do conceito de química renovável a partir do uso da biomassa vegetal como matéria-prima. Resíduos gerados nos processos de preparo e conversão podem ser reutilizados de modo cíclico

2. Biomassa Residual Agroindustrial e Agroenergética como Fonte de Matéria-prima

Em primeiro lugar, precisamos definir resíduos como materiais excedentes a partir de um processo produtivo, de baixo valor econômico. Exemplos são: bagaço e palha da cana-de-açúcar; e torta da extração de oleaginosas, como a soja. Já as culturas agroenergéticas são aquelas que produzem matérias-primas para a obtenção de energia e de biocombustíveis, como as florestas energéticas (eucalipto), a cana-de-açúcar e

a cana energia, o sorgo sacarino, a soja, entre outras.⁹

Tomando-se como exemplos mais representativos os principais resíduos da produção de biocombustíveis (biodiesel e bioetanol), temos: (i) materiais lignocelulósicos (bagaço, palha, fibra e casca); (ii) açúcares residuais com alto teor de impurezas; (iii) lipídios com alto teor de impurezas; e (iv) outros tipos que são uma mistura dos primeiros três, como a biomassa residual após a extração de óleos vegetais – a torta. Tortas de extração de outras biomassa agroenergéticas, como mamona e pinhão-manso, contêm compostos tóxicos tais como ricina e ésteres de forbol, o que pode ser um

fator limitante para a sua utilização direta.^{10,11}

Uma vez que as plantas podem conter elevadas quantidades de lignina (18 % a 35 %), celulose (40 % a 50 %), e hemicelulose (10 % a 35 %),¹² os resíduos lignocelulósicos são considerados uma das fontes mais promissoras de matéria-prima industrial para polímeros, açúcares, compostos fenólicos diversos, ácidos orgânicos, alcóois, furfuráis, hidrocarbonetos e hidrogênio.¹³⁻¹⁶

Considerando-se que o Brasil possui uma produção agroindustrial que se destaca no cenário mundial, tem-se um ambiente favorável para o avanço de uma química renovável, com uma grande contribuição a partir de resíduos de biomassa como fonte renovável de matéria-prima; atualmente, o Brasil produz cerca de 330 milhões/ano de toneladas de resíduos agroindustriais.¹⁷

Dados mais recentes da FAO¹⁸ indicam que o Brasil é o segundo maior exportador de alimentos; é o décimo maior gerador de bioenergia em relação à matriz energética renovável; e é o nono maior exportador de produtos florestais, o que leva a uma grande disponibilidade de matéria-prima para a indústria química.

Quanto à composição das principais biomassas vegetais agroindustriais (amiláceas, sacarídeas, oleaginosas e lignocelulósicas), as Tabelas 1 a 4 apresentam tais informações. A partir da observação de tais composições pode-se inferir que as possibilidades de uso das biomassas pela indústria química são amplas, pois a biomassa vegetal pode fornecer açúcares, ácidos graxos, lignina, amido, celulose e hemicelulose.

Tabela 1. Composição química de plantas amiláceas de uso agroindustrial. Fonte: Vaz Júnior, 2014⁸

Espécie	% de amido	% de proteína	% de fibras ^d	% outros
Milho (grão)	72	9,5	9	4 (lipídeos)
Mandioca (tubérculo)	39	1,8	6,5	-
Batata inglesa (tubérculo)	16,4	3	-	17,7 (carboidratos redutores)

Tabela 2. Composição química de caldo extraído de plantas sacarídeas de uso agroindustrial. Fonte: Vaz Júnior, 2014⁸

Espécie	% de sacarose	% de glicose	% de proteína	% de sais inorgânicos	% de ácidos orgânicos
Cana-de-açúcar	70 - 88	-	0,5 - 0,6	3 - 4,5	1,5 - 5,5
Sorgo sacarino	14,8	1,5	-	-	-

Tabela 3. Composição química de óleos de plantas oleaginosas de uso agroindustrial. Fonte: Vaz Júnior, 2014⁸

Espécie	% de ácido palmítico	% ácido esteárico	% de ácido oléico	% de ácido linoléico	% de triacilgliceróis ^a
Dendê	44	4	39	10	3
Soja	11	4	23	8	1

^aTriacilgliceróis apresentam, em uma mesma estrutura, uma parte constituída por lipídio e uma parte constituída por carboidrato.

Tabela 4. Composição química média dos principais componentes celulose, hemicelulose e lignina de alguns materiais lignocelulósicos. Fonte: Vaz Júnior, 2014⁸

Biomassa lignocelósica	% celulose	% hemicelulose	% lignina
Farelo de cevada	23,0	32,7	24,4
Sabugo de milho	31,7	34,7	20,3
Folhas de milho	37,6	34,5	12,6
Bagaço de cana	40,2	26,4	25,2
Palha de arroz	43,5	22,0	17,2
Palha de trigo	33,8	31,8	20,1
Palha de sorgo	34,0	44,0	20,0
<i>Eucalyptus grandis</i>	40,2	15,7	26,9
<i>Eucalyptus globulus</i>	46,3	17,1	22,9

3. Tecnologias de Conversão Disponíveis e em Desenvolvimento

Neste artigo são considerados os processos químico-catalíticos, os bioquímicos e os termoquímicos. Apesar dos esforços mundiais em P&D&I para o desenvolvimento de produtos e de rotas de conversão, a maioria dos produtos renováveis ainda não

atingiu escala industrial e de mercado, tampouco seus processos de conversão se mostram dominados, o que leva à oportunidades a serem exploradas e a desafios a serem superados.

A Tabela 5 apresenta uma relação de compostos renováveis de alto potencial econômico e do *status* dos processos de produção dos mesmos.

Tabela 5. Compostos renováveis com alto potencial econômico para uma química renovável Brasileira. Fonte: adaptado de Vaz Jr., 2014¹⁹

Composto	Precursor	Rota de obtenção	Status mundial do processo
Ácido acrílico	Glicerina	Síntese orgânica	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores, rendimento, outros.
Ácido 2,5-	Glicose da	Síntese orgânica ou	Em

furandicarboxílico	celulose	fermentação	desenvolvimento: melhoria de catalisadores, biocatalisadores e microrganismos, rendimento, outros.
Ácido succínico	Xilose da hemicelulose	Fermentação	Em desenvolvimento: melhoria de microrganismos e rendimento.
Aditivos para combustíveis	Glicerina	Síntese orgânica	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores, rendimento, outros.
Antioxidantes industriais	Lignina	Craqueamento catalítico	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores, rendimento, outros.
Derivados de celulose (ácidos, ésteres, éteres, nitratos)	Celulose	Síntese orgânica	Processos industriais estabelecidos.
Fenóis	Lignina	Craqueamento catalítico	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores, rendimento, outros.
Furfural	Xilose da hemicelulose	Síntese orgânica	Processo industrial estabelecido; ainda existe oportunidade para melhoria de catalisadores, rendimento, outros.
5-Hidroximetilfurfural	Celulose	Síntese orgânica	Processo industrial estabelecido; ainda existe oportunidade para melhoria de catalisadores, rendimento, outros.
Ligninas sulfonatadas	Lignina	Síntese orgânica	Processo industrial

			estabelecido.
Syngas (CO e H ₂)	Biomassa lignocelulósica	Gaseificação	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores, rendimento, engenharia de materiais, outros.
Xilitol	Xilose da hemicelulose	Síntese orgânica	Em desenvolvimento: melhoria de catalisadores, rendimento, outros.

Dos compostos apresentados na Tabela 5, podemos comentar sobre aqueles com maior potencial de usos e aplicações a partir da observação de tendências nos meios de pesquisa e na indústria^{13,14}

- Ácido succínico: obtido a partir da glicose ou da xilose é uma molécula-plataforma a partir da qual pode-se obter larga gama de outras moléculas de aplicação industrial, como 1,4-butanodiol, tetraidrofurano, γ -butirolactona, ácidos fumárico e maléico;
- Ácido 2,5-furanodicarboxílico (FDCA): obtido a partir da glicose, é uma molécula bloco-construtora a partir da qual pode-se obter substitutos para polímeros petroquímicos de toxicidade reconhecida, como o tereftalato;
- Furfural: obtido a partir da xilose, é um solvente e molécula-plataforma para tetraidrofurano e álcool furfurílico;
- 5-Hidroximetilfurfural: obtido a partir da glicose, é uma molécula-plataforma para ácido levulínico, FDCA e outros derivados furânicos;
- Xilitol: obtido a partir da xilose, é utilizado como adoçante e bactericida para usos alimentares, cosméticos e farmacêuticos.

É interessante notar que todos estes compostos podem ser obtidos de açúcares C5 e C6 de primeira ou de segunda geração, o que corrobora a utilização de açúcares como uma das principais matérias-primas para a química renovável, seja via síntese orgânica ou via bioprocessos.

Os processos químio-catalíticos (síntese orgânica e craqueamento) e bioquímicos (fermentação e catálise enzimática) são aqueles para os quais se pode observar o maior interesse e investimento em P&D&I para a conversão eficiente da biomassa vegetal. Os processos termoquímicos, pelo fato de requererem considerável quantidade de energia, não chamam tanto a atenção da indústria química, exceto pela gaseificação para a geração de CO e H₂, os quais podem ser utilizados em rotas de síntese orgânica como precursores de hidrocarbonetos via processo Fischer-Tropsch.

Ao mesmo tempo, há uma evidente necessidade de fortes ações para apoiar o desenvolvimento de tecnologias nacionais que levem em conta pré-tratamentos (para a biomassa lignocelulósica), catalisadores (preferencialmente, os heterogêneos), melhoria de micro-organismos (como bactérias e leveduras) e de plantas (diminuição da recalcitrância, aumento de produtividade, resistência à seca).

4. Cenário Brasileiro para uma Química Renovável

Nos últimos dez anos grande esforço vem sendo depreendido e grande quantidade de recursos vem sendo investidos para a produção de produtos químicos renováveis no Brasil. Exemplos a serem citados são:

Investimentos do BNDES, via o Fundo Tecnológico (Funtec), para desenvolvimento de produtos da biomassa.²⁰

- Investimentos conjuntos do BNDES e da Finep via o Plano de Inovação e Investimento da Indústria Química (PADIC).²¹

- Produção do “plástico verde” da Braskem, obtido a partir do etanol da cana-de-açúcar.²²

- Compilação de tecnologias e produtos da química verde para o Brasil por parte do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).²³

- Criação de centros de pesquisa como o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)²⁴ e do Centro Nacional de Pesquisa em Agroenergia da Embrapa (Embrapa Agroenergia).²⁵

- Criação dos Institutos SENAI de Inovação (ISI) em temas como química verde e biossintéticos.²⁶

- Realização de eventos como os I e II Simpósio Nacional de Biorrefinarias da Embrapa,²⁷ a conferência de química verde da IUPAC²⁸ e os encontros da Escola Brasileira de Química Verde.²⁹

- Chamadas conjuntas entre as Fundações de Apoio à Pesquisa (FAPs) e a União Europeia em temas como biorrefinarias, bioeconomia e biocombustíveis.³⁰

- Quanto aos esforços da SBQ em prol do tema, cabe destacar a publicação, em 2009, de um fascículo especial de Química Nova dedicado à exploração de recursos

naturais pela academia e pela indústria.³¹

Desse modo, podemos observar que apesar dos nossos tradicionais atrasos técnico-científicos e o emperramento burocrático, o Brasil encontra-se relativamente bem posicionado no cenário mundial da química renovável. No entanto, mais atenção deve ser dada para a inserção de mercado dos produtos “verdes”; e para isso é necessário, assim como já feito por países do primeiro mundo, a subvenção pública, de modo a estimular o uso de tais produtos. Ou seja, é necessário um programa de estado para a promoção e o desenvolvimento da química renovável no Brasil.

5. Conclusões

Este artigo teve como objetivo mostrar o potencial técnico-científico e econômico da biomassa vegetal como matéria-prima para uma química renovável brasileira, destacando-se o aproveitamento dos resíduos agroindustriais.

Os processos de conversão quimio-catalíticos, bioquímicos e termoquímicos são o cerne tecnológico para a exploração de todas as possibilidades de uso da biomassa para a promoção de uma indústria química brasileira de forte caráter renovável. Ao mesmo tempo, há uma evidente necessidade de fortes ações para apoiar o desenvolvimento de tecnologias nacionais que levem em conta pré-tratamentos, catalisadores, melhoria de micro-organismos e plantas.

Apesar de lacunas e incertezas, o Brasil, sem dúvida, apresenta um cenário bastante favorável para converter-se em um forte ator global no campo da química renovável.

Referências Bibliográficas

- ¹ Kamm, B.; Gruber, P. R.; Kamm, M. *Biorefineries - Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions*. Wiley: Weinheim, 2010.
- ² Anastas, P.; Warner, J. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press: New York, 1998.
- ³ Organization for the Economic Co-operation and Development (OECD). *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*. Disponível em: <<http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/thebioeconomyto2030designingapolicyagenda.htm>>. Acesso em: 23 setembro 2016.
- ⁴ Philp, J. C.; Ritchie R. J.; Guy, K. Biobased plastics in a bioeconomy. *Trends in Biotechnology* **2013**, *31*, 65. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵ Sociedade Iberoamericana para o Desenvolvimento das Biorrefinarias (SIADEB). Apresentação. Disponível em: <<http://www.siadeb.org/images/brochuras/BrochuraSIADEBEn.Pdf>>. Acesso em: 23 setembro 2016.
- ⁶ Galdos, M.; Cavaletto, O.; Seabra, J.E.A.; Nogueira, L.A.H; Bonomi, A. Trends in global warming and human health impacts related to Brazilian sugarcane ethanol production considering black carbon emissions. *Applied Energy* **2013**, *104*, 576. [CrossRef]
- ⁷ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). *Biobased Chemicals and Bioplastics*. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/biobased-chemicals-and-bioplastics_5jxwwfjx0djf-en>. Acesso em: 6 outubro 2016.
- ⁸ Vaz Jr., S. *Análise Química da Biomassa*. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, 2014.
- ⁹ Vaz Jr., S. (Editor) *Biomassa para Química Verde*. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, 2013.
- ¹⁰ Creppy, E.-E.; Lugnier, A. A. J.; Dirheimer, G. Isolation and properties of two toxic tryptic peptides from ricin, the toxin of *Ricinus communis* L. (castor bean) seeds. *Toxicon* **1980**, *18*, 649. [CrossRef] [PubMed]
- ¹¹ Barahona, E; Díaz, P; Castellano, V; Anadón, A. Toxicological profile by *Jatropha curcas* L. *Toxicology Letters* **2010**, *196*, S287. [CrossRef]
- ¹² Hon, D. N.-S.; Shiraishi, N. *Wood and Cellulosic Chemistry*. Marcel Dekker: New York, 2001.
- ¹³ Gallezot, P. Conversion of biomass to selected chemical products. *Chemical Society Review* **2012**, *41*, 1538. [CrossRef]
- ¹⁴ Bozell, J. J.; Petersen, G. R. Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates - the US Department of Energy's Top 10 revisited. *Green Chemistry* **2010**, *12*, 539. [CrossRef]
- ¹⁵ Ragauskas, A. J.; Beckham, G. T.; Biddy, M. J.; Chandra, R.; Chen, F.; Davis, M. F.; Davison, B. H.; Dixon, R. A.; Gilna, P.; Keller, M.; Langnan, P.; Naskar, A. K.; Saddler, J. N.; Tshaplinsk, T. J.; Tuskan, G. A.; Wyman, C. E. Lignin valorization: improving lignin processing in biorefinery. *Science* **2014**, *344*, 709. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁶ Ren, N.-Q.; Zhao, L.; Chen, C.; Guo, W.-Q.; Cao, G.-L. A review on bioconversion of lignocellulosic biomass to H₂: key challenges and new insights. *Bioresource Technology* **2016**, *215*, 92. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁷ Virmond, E; De Sena, R. F.; Albrecht, W.; Althoff, C. A.; Moreira, R. F. P. M. Characterisation of agroindustrial solid residues as biofuels and potential application in thermochemical processes. *Waste Management* **2012**, *32*, 1952. [CrossRef] [PubMed]
- ¹⁸ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *FAO Statistical Yearbook 2015*. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>. Acesso em: 23 setembro 2016.
- ¹⁹ Vaz Jr., S. A renewable chemistry linked to the Brazilian biofuel production. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **2014**, *1*, 13. [CrossRef]
- ²⁰ Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). *Fundo Tecnológico - BNDES Funtec*. Disponível em: <www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes>

[pt/Institucional/Apoio.../funtec.html](#)>.

Acesso em: 23 setembro 2016.

²¹ Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES). Plano de Desenvolvimento e Inovação da Indústria Química. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/padiq>>.

Acesso em: 23 setembro 2016.

²² Braskem. Plástico Verde. Disponível em: <www.braskem.com/site.aspx/plasticoverde>.

Acesso em: 23 de setembro de 2016.

²³ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Química Verde no Brasil: 2010 – 2030. Disponível em:

<www.cgee.org.br/publicacoes/quimica_verde.php>. Acesso em: 23 setembro 2016.

²⁴ Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE). Disponível em: <http://ctbe.cnpem.br/>>. Acesso em 23 setembro 2016.

²⁵ Embrapa Agroenergia. Disponível em: <<http://embrapa.br/agroenergia/>>. Acesso em: 23 setembro 2016.

²⁶ Serviço Nacional de Apoio à Industrial (SENAI). Institutos de Inovação. Disponível em:

<<http://www.portaldaindustria.com.br/senai/iniciativas-senai/programas/programa-senai-de-apoio-a-competitividade/2012/06/1,3956/institutos-de-inovacao.html>>. Acesso em: 23 setembro 2016.

²⁷ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). II Simpósio Nacional de Biorrefinarias será realizado em Brasília. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1487636/ii-simposio-nacional-de-biorrefinarias-sera-realizado-em-brasilia--->>. Acesso em: 23 setembro 2016.

²⁸ Sociedade Brasileira de Química (SBQ). IUPAC e SBQ realizarão a 4ª Conferência Internacional de Química Verde. Disponível em:

<<http://boletim.sbq.org.br/noticias/n266.php>>. Acesso em: 23 setembro 2016.

²⁹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Escola Brasileira de Química Verde. Disponível em:

<<http://quimicaverde.eq.ufrj.br/sobre/>>.

Acesso em: 1 Setembro 2016.

³⁰ European Commission (EC). Funding Opportunities. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/bbi-2016-r04.html>>. Acesso em: 23 setembro 2016.

³¹ *Química Nova* 2009, 32, número 3. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/default.asp?ed=12>>. Acesso em: 26 Novembro 2016.