



**Oferta e Demanda de Energia – o papel da tecnologia da
informação na integração dos recursos
26 a 28 de setembro de 2016
Gramado – RS**

Economia Sustentável: Viabilidade da Produção de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos Rurais no Brasil

Uonis Raasch Pagel

Adriana Fiorotti Campos

Cynthia De Barros Lima Scarpati

RESUMO

A geração de energia é uma atividade de fundamental importância no planejamento econômico dos países desenvolvidos e dos países em desenvolvimento, por se tratar de um pré-requisito para o progresso tecnológico e para o crescimento econômico. Diante disso, o estímulo à utilização de resíduos para a produção de eletricidade, por exemplo, surge como uma estratégia importante para a promoção do uso sustentável de fontes alternativas de energia. Neste sentido, objetiva-se analisar, sob a ótica da economia e da sustentabilidade ambiental da matriz energética brasileira, a viabilidade da produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos rurais como alternativa energética para o país. No Brasil, o potencial de aproveitamento energético dos resíduos sólidos rurais é maximizado pela grande disponibilidade dos mesmos, decorrente da grande produção agrícola e da pecuária. Entretanto, devido aos seus altos custos, há necessidade de pesquisa e desenvolvimento atuando em três frentes: eficiência energética; aumento da participação de fontes renováveis de energia; e novas tecnologias.

Palavras-chave: Fontes Renováveis, Resíduos Sólidos Rurais, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Power generation is a key activity importance in the economic planning of the developed countries and developing countries, because it is a requirement for technological progress and economic growth. Thus, stimulating the use of waste for the production of electricity, for example, appears as an important strategy for promoting sustainable use of alternative energy sources. In this sense, the objective this is to analyze, from the perspective of economic and environmental sustainability of the Brazilian energy matrix, the feasibility of electricity generation from rural solid waste as an energy alternative for the country. In Brazil, the potential for energy recovery of rural solid waste is maximized by the wide availability of the same, due to the large agricultural production and livestock. However, due to their high costs, there is need for research and development working on three fronts: energy efficiency; increasing the share of renewable energy sources; and new technologies.

Keywords: Renewable Sources, Waste Rural Solid, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Energia é um ingrediente essencial para o desenvolvimento econômico e o nível de qualidade de vida das sociedades. Seu consumo reflete tanto o ritmo de atividade dos setores comercial, industrial e de serviços, quanto à capacidade da população em adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados (como por exemplo, automóveis, eletrodomésticos e eletroeletrônicos). Nesse sentido, as discussões sobre a questão energética tornam-se cada vez mais importantes na agenda de planejamento tanto dos países desenvolvidos, como dos países em desenvolvimento, por se tratar de um pré-requisito para o progresso tecnológico e para o crescimento econômico.

Enquanto as necessidades humanas têm se mostrado crescentes, os recursos naturais, fontes primárias de suprimento dessas necessidades, são limitados. A dinâmica das atividades econômicas inclui a procura da satisfação das necessidades humanas de forma racional frente às limitantes naturais. Desta forma, geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica devem ser orientadas à satisfação dessas necessidades (CAMPOS; MORAES, 2012).

O atual cenário mundial mostra que o mercado de energia ecoa fortemente na quase totalidade das atividades humanas e ainda encontra-se extremamente dependente da produção e uso de energia de origem fóssil, e de empreendimentos que imputam elevados impactos ao ambiente natural, exigindo cada vez mais o

desenvolvimento de fontes de energia alternativa sustentável. Nesse contexto, novas fontes de energia, principalmente, renováveis, surgem como alternativa fundamental para superar a futura escassez de fontes de energia não-renovável e a poluição ambiental causada por essas fontes.

No Brasil, o desenvolvimento das fontes alternativas tem um longo histórico. Segundo Campos e Moraes (2012), os eventos do aumento abrupto de preços do barril de petróleo, na década de 1970, denominados “Choques do Petróleo”, estimularam o investimento em novas tecnologias capazes de substituir o consumo de seus derivados e prover o maior aproveitamento dos recursos renováveis disponíveis no país.

Outro estímulo nesta direção foi o *déficit* de disponibilidade de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, conhecido como “Crise de Energia de 2001/2002”. Dentre as importantes repercussões deste acontecimento que teve grande impacto na economia brasileira e nos hábitos de consumo de energia da população, destaca-se o “Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica”, o PROINFA, estabelecido através da Lei nº 10.438/2002 e alterado pela Lei nº 10.762/2003 (BRASIL, 2002; BRASIL, 2003), que tem como objetivo incentivar a geração descentralizada de energia e a promoção da diversificação da matriz elétrica brasileira, através da utilização de fontes renováveis de suprimento.

Neste sentido, o setor energético tem aberto oportunidades importantes para a divulgação e o incentivo ao uso de fontes renováveis para a geração de energia elétrica. Deve-se salientar que, as tecnologias a base de fontes renováveis são atrativas não só devido às vantagens ambientais e econômicas, mas também sociais. De acordo com Souza e outros (2004), a possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o Desenvolvimento Sustentável, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento.

A importância que o aspecto ambiental do setor energético adquiriu nos últimos anos, confirmada, por exemplo, pela posição do governo brasileiro na COP-15 (Conferência das Partes), de se responsabilizar pela redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂) em vários setores, dentre eles, o energético, mostra o real papel da manutenção de um percentual alto de fontes renováveis na matriz energética brasileira.

Isso abre oportunidade para que sistemas de geração de energia elétrica como, por exemplo, a proveniente a partir de resíduos sólidos rurais, venham a ser

implantados, promovendo a solução de alguns problemas, a destacar o destino dos resíduos para alguns fins controlados, a geração de emprego para pessoas de baixa renda, o estímulo à reciclagem de resíduos, entre outros. Sob esta perspectiva, Castaldi (2014) afirma que o aumento da atenção para os impactos ambientais das atividades humanas e a crescente demanda por energia, resultaram em uma nova perspectiva sobre os fluxos de resíduos. Neste campo, o uso dos resíduos destinados à valorização energética é cada mais prevalente, especialmente, nos países desenvolvidos.

Conforme dados disponibilizados pela EPE (2015), em 2014, o Brasil dispunha de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica (65,2%), biomassa (7,3%) e eólica (2%) (Figura 1).

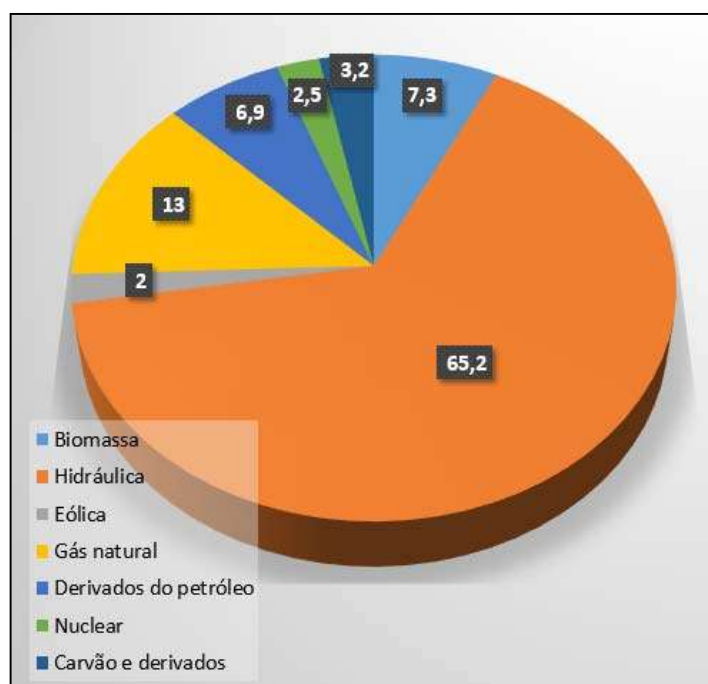


Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil (%), em 2014 (EPE, 2015).

Em função de seu alto potencial hidrelétrico, o Brasil historicamente investiu nesta forma de geração de eletricidade, permitindo ao país ter hoje uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo (EPE, 2015). No decorrer dos últimos anos, o potencial de geração de eletricidade no Brasil se distribuiu conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil, em 2016

Fontes			Capacidade Total		
Origem	Fonte nível 1	Fonte nível 2	Nº de usinas	(KW)	%
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço da cana-de-açúcar; Biogás; Capim elefante; Casca de arroz	411	10.707.215	7,1120
	Biocombustíveis Líquidos	Óleos vegetais	2	4.350	0,0028
	Floresta	Carvão vegetal; Gás de alto forno; Lenha; Licor negro; Resíduos florestais	86	2.544.823	1,6903
	Resíduos animais	Biogás	10	1.924	0,0012
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás	14	83.699	0,0555
Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	350	8.525.782	5,6631
Fóssil	Carvão mineral	Calor de processo; Carvão mineral; Gás de alto forno	22	3.612.155	2,3993
	Gás natural	Calor de processo; Gás natural	148	12.427.682	8,2548
	Outros fósseis	Calor de processo	1	147.300	0,0978
	Petróleo	Gás de refinaria; Óleo diesel; Óleo combustível; Outros energéticos de petróleo	2191	9.994.056	6,6383
Hídrica		Potencial hidráulico	1213	92.317.462	61,320
Nuclear		Urânio	2	1.990.000	1,3218
Solar		Radiação solar	38	22.933	0,0152
Importação		Paraguai			
		Argentina			
		Venezuela	-	-	5,4267
		Uruguai			
Total			4488	150.549.381	100

Fonte: ANEEL (2016).

O Brasil está em vantagem em relação ao resto do mundo, na busca por fontes de energia renováveis, por apresentar altas taxas de luminosidade, dimensões territoriais e interessante volume de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) referentes à produção de energias solar, eólica e biomassa. No entanto, há a necessidade de investimentos em alternativas renováveis de energia na matriz elétrica nacional, como, por exemplo, a produção de eletricidade a partir de resíduos rurais.

Neste íterim, este artigo, elaborado com base em análises de fontes secundárias, provenientes de bancos de dados de instituições de pesquisa e regulação na área de energia (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, dentre outras), da legislação brasileira (decretos, leis, políticas nacionais) e de pesquisas bibliográficas (livros, artigos, atlas, teses, dissertações) que tratam da temática, objetivou reunir, analisar e interpretar, sob a ótica da economia e da sustentabilidade ambiental da matriz energética brasileira, a viabilidade da produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos rurais como alternativa energética para o Brasil.

2. ECONOMIA SUSTENTÁVEL: ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS RURAIS

As discussões em torno da problemática ambiental no final do Século XX e início do Século XXI resultaram do próprio modelo adotado de crescimento, da atividade industrial irresponsável e do padrão de consumo do desperdício. Sob a, ainda indefinida, mas institucionalizada, ideia de Desenvolvimento Sustentável, surgem compromissos assumidos por vários países que passariam a incluir em suas agendas de discussão o aumento do acesso à energia limpa; melhoraria da eficiência energética; e ampliação do uso de energias renováveis (CAROLINO; CAMPOS, 2014).

Neste contexto, diversos estudos evidenciam o potencial energético de uma variedade de fontes, e sob a ótica da sustentabilidade, essas fontes podem ser de resíduos da agricultura, de várias culturas, da pecuária, da silvicultura, e das indústrias de beneficiamento, como a indústria de alimentos e bebidas, papel e celulose, e madeireira e moveleira. No caso brasileiro podem ser citados os estudos: Plano Nacional da Agroenergia, Anuário Estatístico da Agroenergia, Plano Agrícola e Pecuário, ambos desenvolvidos pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2006; 2015; 2016); Atlas de Bioenergia do Brasil, desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2012); e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA, 2012) com apoio do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e baseado nas diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

De um modo geral, deve-se considerar que os materiais encontrados nos resíduos sólidos passíveis de (re)aproveitamento são aqueles que demandam, na sua produção, muitos recursos naturais – minerais ou florestais –, ou ainda, grande quantidade de energia. Esta característica é uma das vantagens ambientais do aproveitamento energético, reciclagem e reutilização dos resíduos, por exemplo, rurais.

Com o intuito de apresentar potencialidades dos resíduos rurais, a Empresa de Pesquisa Energética elaborou duas Notas Técnicas: uma, referente a economicidade e competitividade de aproveitamento energético dos resíduos rurais e outra, referente a um inventário energético destes resíduos. Num primeiro momento, mostrou-se que a atividade agrícola brasileira apresentou expressivos ganhos entre as safras da década de 1990 e a safra de 2010 (EPE, 2014a), com

crescimentos de 72% na produtividade da soja, 141% do milho, 105% do feijão, 127% do arroz, 202% do algodão, dentre outras culturas. Conseqüentemente, houve maiores índices de geração de resíduos, os quais, indicam grande viabilidade em termos percentuais de aproveitamento energético, conforme dados disponibilizados na tabela 2. Observa-se ainda, que no período em questão, a disponibilidade de energia primária mapeada, oriunda desta fonte renovável, foi da ordem de 37.414 milhões de (tep).

Tabela 2 – Síntese de indicadores de disponibilidade e poder calorífico dos resíduos sólidos agrícolas

	Resíduos disponíveis 2010 [10 ⁶ tBbs]	Energia disponível nos resíduos [ktep/ano]	Energia necessária para disponibilização dos resíduos [ktep/ano]	% da energia disponível
Palha de arroz	14	5.281	164	3,1
Palha de feijão	4	478	47	9,8
Resíduos de algodão	1	412	10	2,4
Ramas de mandioca	16	2.341	52	2,2
Palha de milho	101	17.048	1.195	7,0
Palha de soja	94	9.848	1.116	11,3
Palha de trigo	17	2.006	200	10,0

Fonte: EPE (2014a).

Todavia, apesar das potencialidades, o Inventário Técnico de Resíduos Rurais reconhece que a utilização de resíduos sólidos rurais produzidos no Brasil necessita ainda de avaliações acuradas e precisas sobre o seu potencial de recuperação economicamente viável, além de análises completas de seus ciclos de vida como produtos energéticos, contabilizando toda a energia usada no ciclo de vida de um produto, e não somente os insumos energéticos usados na fabricação (EPE, 2014b). Apesar da escassez de informações disponíveis sobre estes parâmetros, decorrente principalmente da ausência, até o presente momento, de interesse de sua utilização como produto energético, os estudos nesse sentido começam a ser desenvolvidos de forma mais consciente frente às expectativas da valorização destes resíduos para diversas aplicações sustentáveis.

Isso abre oportunidade para que sistemas de geração de energia elétrica como, por exemplo, o da biomassa, especialmente a de origem agroindustrial e residual animal, e não somente a proveniente dos produtos da cana-de-açúcar, venham a ter maior participação na matriz elétrica nacional. A biomassa, que aparece na forma de matéria orgânica, oriunda de resíduos florestais, agrícolas e animais, tais como grãos, restos de colheita, esterco animal, plantações energéticas

e efluentes agroindustriais, tem surgido como uma alternativa energética eficiente que poderá contribuir para a resolução dessa situação, ao se destacar nos últimos anos, como a terceira fonte de geração mais importante da matriz elétrica brasileira (atrás somente das fontes hídrica e fóssil – ver Figura 1). Além disso, entre os anos 2000 e 2012, a geração elétrica à biomassa cresceu 140% no mundo, chegando em 439 TWh, de acordo com dados da Associação Mundial de Bioenergia (WBA, 2015).

Do ponto de vista energético, estes resíduos podem ser utilizados pelo produtor rural ou agroindústria para a queima direta, visando à produção de calor, eletricidade ou de biocombustíveis, como o biogás em biodigestores. Contudo, o objetivo deste artigo, centra-se especialmente, na análise de conversão destes resíduos em energia elétrica.

Neste sentido, de acordo com a EPE (2014b), as principais rotas tecnológicas para o aproveitamento energético dos resíduos rurais em termos de geração de eletricidade, são a combustão direta¹ (que já é aplicada comercialmente), a gaseificação² e a pirólise³ (que se encontram em estágio de demonstração para grandes potências), e a digestão anaeróbica⁴, conforme visualizado na Figura 2.

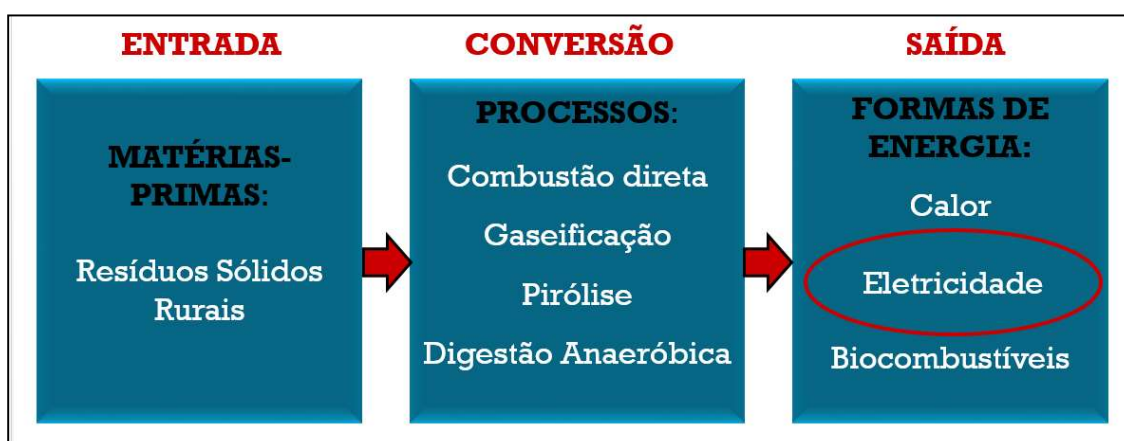


Figura 2 – Rotas tecnológicas de conversão energética dos resíduos sólidos rurais.

¹ Processo em que é fornecida uma quantidade suficiente de oxidante para conseguir a combustão completa de carga combustível. Os produtos principais são um gás de combustão a elevada temperatura contendo CO₂ e H₂O; e energia térmica na forma de calor (EPE, 2014b).

² Processo em que ocorre a degradação da matéria orgânica, sob temperaturas entre 300 e 500°C, resultando em produtos combustíveis sólidos (carvão vegetal), líquidos (óleo pirolítico) e gasosos (gás pirolítico) (EPE, 2014b).

³ Processo em que é fornecida uma quantidade de agente oxidante não suficiente para se conseguir a conversão completa da matéria orgânica, obtendo-se uma combustão que ocorre na faixa dos 800 a 900°C. O produto principal é um gás de combustão contendo CO, H₂ e CH₄, que pode ser queimado em caldeiras, ou motores ou turbinas de gás (EPE, 2014b).

⁴ Processo em que bactérias, na ausência de oxigênio, consomem o material e produzem biogás (mistura de CH₄, CO₂, H₂S, vapor d'água, etc.) e material compostável (EPE, 2014b).

Embora a energia elétrica produzida com resíduos rurais não seja competitiva nos atuais leilões, a mesma alcança notórios nichos de mercado, principalmente no caso da autoprodução para pequenos e médios agricultores, possibilitando assim, um melhor atendimento às necessidades de carga de regiões rurais, ou ainda, pequenos centros urbanos (EPE, 2014a).

Para geração de energia elétrica, estes resíduos são transformados em um material intermediário, utilizado em uma máquina motriz, que acionará o gerador de energia elétrica (por meio da energia mecânica produzida). Segundo Coelho (1999), a cogeração (pela qual é possível obter energia térmica e elétrica) é utilizada na maioria das usinas de cana-de-açúcar. A energia térmica é utilizada como fonte de calor para processos industriais, ou no setor de comércio e de serviços, enquanto a energia mecânica é utilizada como trabalho, ou transformada em eletricidade por meio de geradores.

Tais resíduos, configuram-se, portanto, como uma fonte de energia primária⁵, alternativa⁶ e renovável⁷. Menciona-se ainda o aproveitamento de resíduos da cana-de-açúcar, onde existem usinas com possibilidade de venda de energia para o sistema elétrico. A cogeração de energia, uma prática corrente da produção industrial do etanol no Brasil, reduz danos ao meio ambiente e poderia ser aumentada significativamente se o desenvolvimento tecnológico acarretasse o uso dos outros resíduos da cana-de-açúcar além do bagaço, como as palhas e pontas, para a geração de energia.

Menciona-se que, no meio rural, as fontes renováveis alternativas de energia, quais sejam, os resíduos agrícolas, florestais e pecuários, podem ser utilizados em comunidades rurais isoladas, com o objetivo de melhorar as condições de vida destas populações. Todavia, a implantação depende da disponibilidade dos recursos energéticos existentes em cada região. A diversidade de tecnologias em energia renovável a torna conveniente para prover e produzir energia elétrica não só para pequenas unidades e/ou sistemas isolados, como também comunidades inteiras. Em

⁵ Energia primária: produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica, etc. (CAMPOS; MORAES, 2012).

⁶ Energia alternativa: é uma alternativa de geração de energia através de fonte não convencional. A tecnologia utilizada na produção desta energia não é considerada o *mainstream* da área de energia, sendo que, encontra-se em estágio de desenvolvimento (CAMPOS; MORAES, 2012).

⁷ Energia renovável: é resultante de um fluxo contínuo, estoque repostado. Dependendo da forma de utilização pode ser considerada infinita (CAMPOS; MORAES, 2012).

2015, o potencial estimado de geração centralizada⁸ de eletricidade oriunda de resíduos rurais, foi da ordem de 136 TWh. Estima-se ainda que, esse mesmo potencial, aumente para 231 TWh em 2030, e para 348 TWh em 2050 (EPE, 2016).

No entanto, estudos também revelam que os investimentos e financiamentos em energia renovável apresentam, em sua maioria, custos superiores aos necessários para a adoção das fontes tradicionais. Segundo a EPE (2016), em síntese, os custos dos resíduos rurais podem ser compostos por diversos dispêndios, tais como: da cadeia logística (desde a coleta destes resíduos até a entrega na unidade de conversão); de oportunidade e de remuneração ao produtor; de investimento; de operação e manutenção de usina; entre outros. Neste aspecto, para efeito de diagnóstico, pesquisas realizadas pela EPE, estimam que as faixas de custo nivelado da eletricidade oriunda dos resíduos agrícolas, florestais e pecuários, com aproveitamento através de usinas termelétricas, variam entre US\$ 88/MWh e US\$ 94/MWh; entre US\$ 49/MWh e US\$ 89/MWh; e finalmente, entre US\$ 25/MWh e US\$ 68/MWh, respectivamente.

Muito embora estes resíduos ainda se configuram como uma fonte energética “praticamente inexplorada” no país para fins de geração de eletricidade (exceção do uso do bagaço de cana-de-açúcar) (EPE, 2016), evidencia-se, contudo, que tal fato não se deve à falta de tecnologias disponíveis, bem como de condições de produção e oferta das diversas fontes agropecuárias disponíveis no país e, sim, principalmente, na melhoria da eficiência de processo. Sob esta perspectiva, Torquato e Ramos (2013) apontam que o fator preponderante para que ocorra uma produção de eletricidade com preços competitivos é o investimento em tecnologia para melhoria da eficiência energética na geração. Para os autores em questão, há a necessidade de incentivos que melhorem o desempenho do setor no que se refere à inovação tecnológica, que se traduza em investimentos para redução do custo de produção, com a queda do preço por kW/h e possibilitando assim uma maior competitividade via preço nos leilões de energias alternativas.

3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto, é notória a importância de estímulo quanto ao uso de fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira, justificada pela larga, e ainda inconsequente, utilização de fontes fósseis poluentes; pela diversificação da

⁸ Empreendimentos termelétricos com 5 MW ou mais de capacidade instalada (EPE, 2016).

matriz elétrica; pela possibilidade de desenvolvimento econômico e social de regiões desfavorecidas; pelos ganhos ambientais provenientes de sua utilização, entre outros fatores.

Analisada sob a ótica da economia sustentável, a inserção de novos modelos de geração de energia na matriz energética brasileira, como a proveniente a partir de resíduos sólidos rurais, se configura como um ganho incontestável tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente. A saber, o aproveitamento energético destes resíduos disponibiliza uma fonte de energia limpa, alternativa, renovável e, potencialmente economicamente atrativa, além de agregar valor às cadeias produtivas de base rural.

No Brasil, a questão da viabilidade do aproveitamento energético dos resíduos rurais está relacionada à disponibilidade destes, decorrente da grande produção agrícola e pecuária. No entanto, devido aos seus altos custos, há necessidade de acelerar os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento para enfrentar esta situação atuando em três frentes: eficiência energética; aumento da participação de fontes renováveis de energia; e novas tecnologias, subsidiando assim a formulação de políticas públicas no setor energético. Somado a estes fatores, adiciona-se a necessidade de ações em termos de aumentar o conhecimento técnico no meio rural, políticas públicas para superar a falta de acesso a capital e melhorias logísticas.

Nessa perspectiva, conclui-se que políticas energéticas públicas relacionadas ao uso e produção de fontes renováveis de energia, como a oriunda a partir dos resíduos sólidos rurais, devem ser prioridades do setor energético, bem como, investimentos em pesquisas, planejamento, utilização, etc., com vistas ao Desenvolvimento Sustentável econômico, social e técnico desse setor no país.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. *Banco de informações da geração (BIG)*. Brasília: Aneel, 2016.

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, 26 abr. 2002.

_____. Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, 11 nov. 2003.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, 2 ago. 2010.

CAMPOS, A. F.; MORAES, N. G. *Tópicos em energia: teoria e exercícios com respostas para concursos*. Rio de Janeiro: Synergia, 2012.

CAROLINO, J.; CAMPOS, A. F. Energia eólica: oportunidades e desafios para o Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 9., 2014, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE), 2014.

CASTALDI, M. J. Perspectives on sustainable waste management. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, v. 5, p. 547-562, 2014.

CENBIO [Centro Nacional de Referência em Biomassa]. *Atlas de bioenergia do Brasil*. 2. ed. São Paulo: CENBIO, 2012, 66 p.

COELHO, S. T. *Mecanismos para a implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa: um modelo para o estado de São Paulo*. 1999. 278 f. Tese (Doutorado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Economicidade e competitividade de aproveitamento energético de resíduos rurais. *Nota técnica DEA 17/2014*. Rio de Janeiro: EPE, 2014a, 42 p.

_____. Inventário energético de resíduos rurais. *Nota técnica DEA 15/2014*. Rio de Janeiro: EPE, 2014b, 51 p.

_____. *Balanco energético nacional*. Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015, 292 p.

_____. *Energia termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear*. Rio de Janeiro: EPE, 2016, 417 p.

MAPA [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento]. *Plano nacional de agroenergia*. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2006, 114 p.

_____. *Anuário estatístico da agroenergia*. Ano base 2014. Brasília: MAPA, 2015, 205 p.

_____. *Plano agrícola e pecuário*. Período base 2015/2016. Brasília: MAPA, 2016, 50 p.

MMA [Ministério do Meio Ambiente]. *Plano nacional de resíduos sólidos*. Brasília: MMA, 2012, 104 p.

SOUZA, S. N. M. et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

TORQUATO, S. A.; RAMOS, R. C. Biomassa da cana-de-açúcar e a geração de bioeletricidade: usinas signatárias ao protocolo agroambiental paulista. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 43, n. 5, p. 59-67, 2013.

WBA [World Bioenergy Association]. *WBA Global bioenergy statistics 2015*. Estocolmo: WBA, 2015, 64 p.