

BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR E A GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE EM SÃO PAULO: usinas signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista¹

Sérgio Alves Torquato²
Rejane Cecilia Ramos³

1 - INTRODUÇÃO

A bioeletricidade é uma energia limpa e renovável feita a partir de qualquer biomassa. Entende-se como biomassa a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados, tais como: florestas, culturas e resíduos agrícolas. No caso em estudo, dar-se-á maior atenção à biomassa da cana-de-açúcar (bagaço e palha). Também há potencial de uso de resíduos do processamento de madeiras como o eucalipto, do arroz (casca), cavacos de madeira originadas das madeireiras e da indústria de móveis, etc.

O bagaço é oriundo do esmagamento da cana-de-açúcar para produção de álcool e açúcar, que é utilizado na produção de energia elétrica e calor de processo, sendo grande parte voltada para o atendimento das necessidades da própria usina de açúcar e álcool (autoprodução), porém em alguns casos em unidades térmicas de baixa eficiência.

O conceito de energia útil é utilizado para definir as perdas existentes no processo. Segundo a primeira Lei da Termodinâmica (PASSOS, 2009), em qualquer transformação parte da energia é perdida no processo, geralmente dissipada sob a forma de calor. No caso das caldeiras antigas, utilizadas nas usinas de açúcar e álcool, elas são de baixa eficiência, considerando ser uma máquina térmica, havendo perdas consideráveis em forma de calor. Em caldeiras novas, essa eficiência aumenta consideravelmente podendo chegar a 86%, devido à eliminação das perdas em forma de calor (SANTOS, 2012). A troca de caldeiras antigas por caldeiras novas melhora

muito a eficiência redundando em menores custos na produção da bioeletricidade.

A cogeração propicia o aproveitamento do calor rejeitado, podendo elevar a eficiência total para valores de até 93% (GABRIEL FILHO et al., 2007).

Com a necessidade de um uso sustentável do excedente de bagaço de cana-de-açúcar, novas oportunidades surgiram a partir de inovações tecnológicas.

Hoje é adotada em vários projetos "Greenfield"⁴ uma tecnologia mais eficiente do que as das antigas caldeiras o que permite gerar significativos excedentes de energia elétrica a baixo custo, utilizando caldeiras de alta pressão com condensador, ou seja, extração-condensação. Outra tecnologia potencial é a gaseificação integrada a uma turbina a gás, operando em ciclo combinado (Biomass Integrated Gasification - Gas Turbine, tecnologia BIG-GT). A tecnologia predominante nas usinas brasileiras é de ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, processo técnico e comercialmente conhecido (TORQUATO; FRONZAGLIA, 2005).

Em 1987, uma usina situada no Estado de São Paulo, na região de Ribeirão Preto, começou a exportar energia elétrica para a rede. Na ocasião a produção foi de 1.600 MW/h equivalente ao abastecimento de 54 mil habitantes (RODRIGUES, 2012).

Estudo publicado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011), coordenado pelo técnico responsável Ângelo Bressan Filho em 2011, referente à safra 2009/10, aponta que na amostra de 393 usinas no Brasil, a potência instalada era de 5.915 MW e para um período em média de 218 dias e 4.468 horas de funcionamento das indústrias, houve a produção de cerca de 20 milhões de MW e a geração média de 4.299 MW/h.

¹Cadastrado no SIGA, NRP 3735. Registrado no CCTC, IE-73/2012.

²Economista, Mestre, Pesquisador Científico do Instituto de Economia Agrícola (e-mail: storquato@apta.sp.gov.br).

³Engenheira Agrônoma, Pesquisadora Científica do Instituto de Economia Agrícola (e-mail: rejane@iea.sp.gov.br).

⁴Greenfield - projetos desenvolvidos desde o início (novo), ou seja, usinas novas.

Segundo a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA), as usinas brasileiras em 2011 exportaram cerca de 10 milhões de MW/h, o que corresponde à produção de aproximadamente 160 usinas, o que equivale ao atendimento de 5 milhões de residências ou 21 milhões de habitantes (UNICA, 2012). O setor sucroenergético é responsável por 5,8% da produção total de energia elétrica no Brasil o que corresponde 7.272 MW (UNICA, 2012). Em 2011, o setor colocou na rede 1.200 MW médios⁵ em bioeletricidade, o que representou 2,3% do consumo nacional (UNICA, 2012).

No Estado de São Paulo, dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA) e da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA-SP), apontam que de 2005 a 2010 houve um crescimento expressivo da área com cana-de-açúcar, na ordem de 64,56%, e na produção de 68,7%, que em grande parte pode ser explicado pelo aumento da demanda nacional e internacional pelo etanol, motivada pelo desenvolvimento da tecnologia dos motores *flex-fuel*, e pela publicidade que se formou em torno do papel dos biocombustíveis, que supostamente representariam a “solução perfeita” tanto para a crise energética, quanto para os desafios das mudanças climáticas, em evidência nos últimos anos.

Na última safra, 2011/12, contudo, houve um considerável revés na produção de cana por conta da falta de planejamento, redução nos investimentos, problemas climáticos e também devido à adequação para a colheita mecanizada.

A partir da safra 2005/06 até 2010/11 verificou-se um aumento da produção de cana-de-açúcar no Brasil, com reversão na safra seguinte. Para São Paulo essa reversão se iniciou a partir da safra 2009/10, com ápice na safra 2011/12, registrando queda de 14,8%, por conta da baixa produtividade no canavial (Figura 1).

De acordo com o cadastro do Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA), para São Paulo em 2012, 171 usinas e destilarias são autossuficientes e empregam o bagaço de cana-de-açúcar para gerar a energia que consomem durante o processo de produção do álcool e

⁵MW médios significa a relação entre a eletricidade gerada em MWh e o tempo de funcionamento das instalações.

do açúcar. E eventualmente algumas usinas, por conta da escassez de bagaço principalmente na entressafra e/ou paradas na safra, compram energia das concessionárias.

A amostra, objeto de estudo, corresponde a 163 usinas signatárias do Protocolo Agroambiental⁶, das quais 68, cerca de 40%, geraram excedentes de energia elétrica, na safra 2011/12, em 1.672 MW⁷.

Segundo Brasil (2011), a capacidade de geração instalada das concessionárias foi de 14.529 MW. Nas usinas analisadas, foi de 4.178 MW o que representa 28,7% do total das concessionárias. As usinas forneceram para o sistema interligado nacional 1.672 MW na última safra, representando 11,5%. Vale salientar que essa capacidade instalada das usinas representa 29,8% de Itaipu, que é de 14 mil MW.

Segundo o relatório World Energy Outlook (2010), divulgado pela Agência Internacional de Energia (AIE, 2010), a demanda por energia no Brasil crescerá 78% entre 2009 e 2035 e deverá ser suprida em parte por fontes renováveis não convencionais como biomassa, eólica, solar e biogás.

No intuito de analisar o potencial de produção de bioeletricidade, este trabalho se divide em três seções. Na primeira, é apresentada uma contextualização da importância da energia para a sociedade e da mudança das fontes primárias de energias. A segunda seção identifica o método utilizado para chegar aos resultados. A terceira apresenta o potencial de produção, entraves para disponibilidade deste potencial e discussão sobre a escala dos projetos focados na identificação das regionais de maior potencial como também a capacidade efetiva de disponibilidade de energia elétrica à rede de distribuição.

Finalmente, são apresentadas as conclusões deste estudo, em que o destaque é a importância do processo do fornecimento de energia distribuída, investimentos em tecnologia nos projetos de cogeração de bioeletricidade com o objetivo de melhorar a eficiência energética e o aumento da escala de produção das usinas como forma de diluir os custos.

⁶Maiores detalhes sobre o Protocolo Agroambiental, ver Torquato e Ramos (2012).

⁷O número de signatárias do Protocolo Agroambiental Paulista em 2012 foi de 176, segundo a Secretaria do Meio Ambiente (SMA).

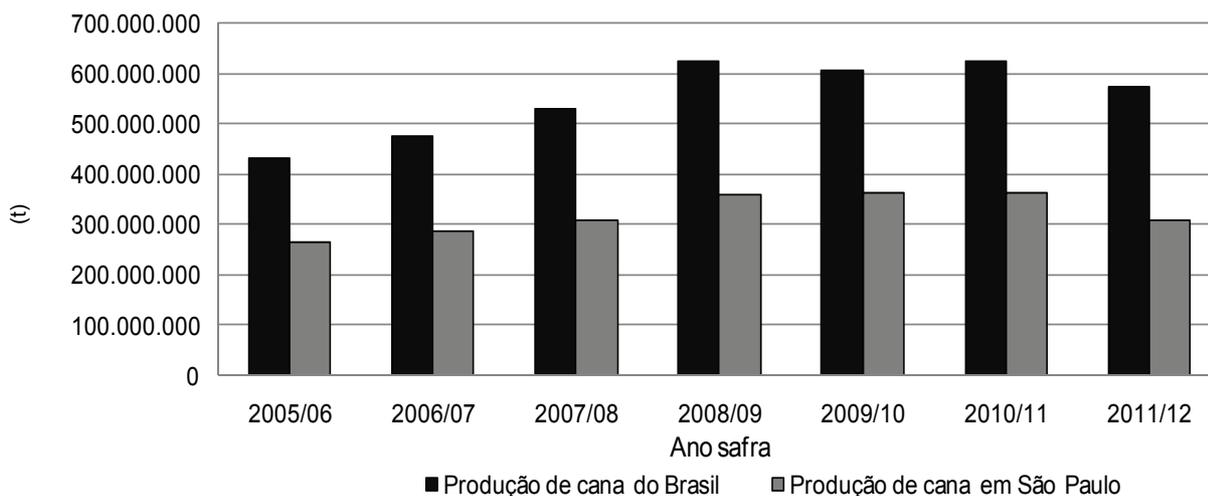


Figura 1 - Produção de Cana-de-açúcar, Brasil e Estado de São Paulo, Safras 2005/06 a 2011/12.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados da CONAB (2012).

2 - CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE ENERGIA

A energia é um dos principais insumos da sociedade moderna. Sua disponibilidade, preço e qualidade são determinantes fundamentais para sobrevivência das nações que se utilizam de tecnologias promotoras de facilidades e conforto.

O mundo moderno é dependente de energia e não é possível pensar e planejar as variadas ações e processos sem o uso dela.

Com cenários de crescimento da economia brasileira para os próximos anos, a demanda por energia deverá crescer na mesma proporção. A relação energia/PIB para o Brasil deve crescer devido à elevação na taxa de investimentos em produção industrial, ao aumento da renda das famílias e à sua consequente mudança no padrão de consumo. O desafio é a produção de energia de forma sustentável.

Ao se partir do pressuposto de que a energia é um bem essencial para as sociedades modernas e que as fontes de sua produção são finitas e/ou limitadas, faz-se necessário que novas fontes sejam utilizadas e pesquisadas para serem compatíveis e eficientes para atender à crescente demanda por energia elétrica no Brasil. Dessa forma, coloca-se como alternativa o uso da biomassa da cana-de-açúcar para produção de bioeletricidade vinculada à produção de etanol e açúcar. A bioeletricidade tem condições relevantes e estratégicas na expansão do forneci-

mento de energia elétrica para o sistema elétrico nacional, por ser uma fonte complementar à hidroeletricidade e com possibilidade de distribuição próxima aos centros consumidores. Essa fonte de energia tem seu potencial alcançado nos meses de menor precipitação pluviométrica, período correspondente ao pico da safra da cana-de-açúcar.

Alguns desafios são postos para utilização com eficiência dessa fonte de energia renovável, como a concessão de uso de linhas de distribuição, dos contratos de venda de energia no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL). O desafio ainda é maior para o setor sucroenergético que não tem como principal foco sua carteira de negócios. Essa tendência de inserção da bioeletricidade do setor expõe as dificuldades e, em alguns casos, a falta de experiência na gestão e na produção de energia elétrica de forma eficiente e a custos compatíveis ao negócio.

Segundo definição da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2006), a cogeração de energia é o processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica, geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica.

A cogeração de eletricidade com o objetivo de excedentes para venda ao sistema usando o bagaço da cana-de-açúcar é um negócio relativamente novo para o setor sucroenergético, e,

como todo novo empreendimento, a curva de aprendizagem ainda não chegou a seu ponto ótimo de *expertise* e custos ajustados. A necessidade de escala na produção de energia elétrica, utilizando a estrutura já existente, requer melhoria e adequações para que se produza com maior eficiência e menores custos médios, exigindo, conseqüentemente, pesados investimentos.

Segundo a teoria das Economias de Especialização⁸, baseada em Smith (2003), pressupõe que a especialização é o fator mais importante para constituir as economias de escala, isto é, quanto mais especializado o setor, maiores serão seus ganhos de escala. Segundo Scherer (1980), o conceito de especialização é advindo do processo de aprendizagem do *learning by doing*, ou seja, a empresa ou os trabalhadores adquirem mais conhecimento com o acúmulo de experiências, com isso aumenta a produtividade por unidade e conseqüentemente gera diminuição do custo unitário. Para se falar em economia de escala é necessário haver o aumento do volume de produção de um bem por período e com a redução de custos. Nesse caso particular de produção de bioeletricidade em usinas de açúcar e álcool, o aumento da produção ocorre com a maior eficiência das caldeiras, na relação quantidade de matéria-prima (bagaço) por unidade de produção de energia. Normalmente as economias de escala ocorrem em firmas onde não cabe a diferenciação de produto, caso concreto de produção de energia elétrica.

A Matriz de Energia Elétrica brasileira apresenta uma diversificação entre energia de fontes renováveis e não renováveis. A fonte hidroelétrica ainda é a que tem maior percentual, representando 65,31%⁹. Geração a partir de fontes fósseis, como petróleo, gás natural e carvão mineral, representa 17,75%. Dessa forma, a matriz elétrica brasileira é composta (geração em território nacional) de 74,26% de fontes renováveis. A biomassa da cana-de-açúcar representa 6,29% (Tabela 1).

As energias renováveis não convencionais são complementares, sempre havendo a

necessidade de outras fontes. No caso da energia elétrica a partir da biomassa da cana-de-açúcar, o pico de produção se dá nos meses secos do ano.

3 - MATERIAL E MÉTODO

Esta pesquisa é classificada como exploratória, já que pretende proporcionar maior familiaridade com a complexidade referente à questão da energia e da cogeração a partir da cana-de-açúcar, e busca o aprimoramento de ideias capazes de considerar os mais variados aspectos inerentes ao objeto de estudo.

Foi feito levantamento bibliográfico de publicações científicas sobre produção de bioeletricidade e cogeração no Estado de São Paulo. A pesquisa se deu em bibliotecas, portal de periódicos, arquivos públicos, principalmente dados do protocolo agroambiental, e levantamento de campo.

O estudo tem como base os dados coletados na safra 2011/12 referentes às visitas técnicas do Protocolo Agroambiental, nas 163 usinas signatárias de um total de 173 participantes, isso representa uma amostra de 94%. Também utilizou-se de publicações científicas, informações do Ministério de Minas e Energia (MME), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (SE).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As opções de uso do bagaço são diversas, porém destina-se principalmente à produção para consumo próprio de energia nas usinas e para geração de energia elétrica excedente ofertada ao sistema de transmissão. Este sistema de cogeração garante melhor aproveitamento das energias no processo de produção de açúcar e álcool, isto é, a produção de dois ou mais tipos de energia em um mesmo processo. Também é utilizado quando hidrolisado para ração animal e em alguns casos vendido como matéria-prima para alimentar as caldeiras de outras indústrias do entorno. Porém, o aproveitamento de todo o potencial energético da produção de cana-de-açúcar esbarra em vários obstáculos, em espe-

⁸A teoria das economias de especialização é derivada da teoria da divisão do trabalho de Adam Smith. Pode-se dizer que é uma divisão da economia de escala, ou seja, quanto maior a produção menor o custo e quanto maior a especialização mais se aproxima a firma de economias de escala.

⁹Não inclui as importações de energia elétrica.

TABELA 1- Matriz de Energia Elétrica, Brasil, 2012

Tipo	Empreendimentos em operação					
	Capacidade instalada			Total		
	N. de usinas	kW	Part. %	N. de usinas	kW	Part. %
Hidro	1.014	83.332.252	65,31	1.014	83.332.252	65,31
Gás						
Natural	105	11.550.013	9,05	145	13.381.696	10,49
Processo	40	1.831.683	1,44	-	-	-
Petróleo						
Óleo diesel	940	3.392.382	2,66	974	7.328.693	5,74
Óleo residual	34	3.936.311	3,09	-	-	-
Biomassa						
Bagaço de cana	358	8.027.644	6,29	444	9.753.538	7,64
Licor negro	14	1.235.643	0,97	-	-	-
Madeira	44	378.035	0,30	-	-	-
Biogás	20	79.608	0,06	-	-	-
Casca de arroz	8	32.608	0,03	-	-	-
Nuclear	2	2.007.000	1,57	2	2.007.000	1,57
Carvão mineral	10	1.944.054	1,52	10	1.944.054	1,52
Eólica	80	1.667.032	1,31	80	1.667.032	1,31
Importação						
Paraguai	-	5.650.000	5,46	-	8.170.000	6,40
Argentina	-	2.250.000	2,17	-	-	-
Venezuela	-	200.000	0,19	-	-	-
Uruguai	-	70.000	0,07	-	-	-
Total	2.679	127.590.110	100,00	2.679	127.590.110	100,00

Fonte: Banco de Informações e Geração (BIG) e Matriz de Energia Elétrica - ANEEL (2012).

cial os de ordem tecnológica e econômica.

No aspecto tecnológico, os principais desafios estão presentes na modernização do processo de produção de energia e na eficiência de aproveitamento do potencial energético. As soluções estão na maior eficiência das caldeiras, na gaseificação e na integração com o processo de hidrólise. Com o advento na mudança do sistema de produção da cana-de-açúcar de um sistema de colheita manual queimada para a introdução da colheita mecanizada crua houve um aumento considerável de material orgânico no campo, especialmente de palhada e ponteiros. Constituinte outro desafio a recuperação da palha depositada no campo após a colheita mecanizada. A palha atualmente é deixada no campo como material orgânico para proteção do solo, no entanto, poderá vir a ser matéria-prima para produção de

energia e do etanol de segunda geração. Porém, esta questão ainda não é muito clara a respeito da quantidade ou percentual que deve ser deixado no campo, a expectativa aponta para que seja entre 30% e 50% da palha no solo.

No entendimento de Barja (2006), a viabilidade de um empreendimento de cogeração depende também de outros fatores, tais como: o preço da eletricidade e do combustível e a liquidez da venda de excedentes elétricos.

A decisão envolve como conciliar essas vantagens com eficiência e viabilidade. Do lado da sustentabilidade econômica estão os custos de implantação desses processos, estimados em R\$ 3 mil por kW instalado para tecnologia de extração-condensação (KITAYAMA, 2008 apud SOUSA; MACEDO, 2010). Dessa forma, deve haver o equilíbrio entre uma opção que ambien-

talmente traz benefícios e os desafios dos custos da produção e preço de venda no contexto das necessárias energias renováveis. Por outro lado, possibilita a manutenção da segurança energética, por conta da complementaridade sazonal com relação ao regime de chuvas e na proximidade aos centros de consumo.

Segundo Castro, Brandão e Dantas (2010) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), o custo de investimento em plantas de cogeração é diretamente proporcional ao tamanho da escala de moagem. O valor do investimento, segundo esse mesmo estudo, varia de R\$ 3.041,00/kW a R\$ 2.312,00/ kW para caldeiras de média pressão. Ao melhorar a eficiência da caldeira, o intervalo de variação do custo de investimento diminui a variação de R\$ 2.758,00 a R\$ 2.196,00 para caldeiras de alta pressão.

A escala de produção é fator decisivo no custo de produção por kW instalado, quanto maior a capacidade de moagem da unidade de produção menor será este custo por kW instalado, dessa forma, os grandes empreendimentos obtêm ganhos de economias de escala.

Ao se utilizar os dados do levantamento de safra da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a safra 2011/12, é possível estimar que há um grande potencial de resíduos (bagaço) possível de ser utilizado para geração de energia elétrica (Tabela 2).

TABELA 2 - Potencial de Bagaço¹ da Colheita de Cana-de-açúcar, Brasil, Safra 2011/12 (em milhões de toneladas)

Local	Produção de cana	Bagaço
São Paulo	308,7	77,2
Centro-Sul	501,4	125,4
Norte-Nordeste	70,0	17,5
Brasil	571,4	142,9

¹Utilizou-se como referência 250 kg de bagaço por tonelada de cana (LEITE; PINTO, 1983).

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados da CONAB (2012).

Na safra 2009/10 referente a 393 unidades no Brasil, a capacidade instalada era de 5.915,13 MW, já para o Estado de São Paulo a capacidade da potência instalada pelas 170 usinas analisadas era de 3.253,6 MW o que representava 55% do total nacional da produção de

bioeletricidade nas usinas brasileiras. No levantamento feito por este estudo, com base nos dados coletados na safra 2011/12 referentes às visitas técnicas do Protocolo Agroambiental, nas 163 usinas signatárias apurou-se que a capacidade instalada foi de 4.178 MW o que representou um aumento de 28,4% em relação ao trabalho apresentado pela CONAB.

Os resultados mostram que das 163 usinas estudadas, 41,7% exportam energia para rede, com uma capacidade instalada da ordem de 4.178 MW entre consumo e venda. Na safra 2011/12 essas usinas disponibilizaram para o mercado em torno de 1.672 MW. A capacidade instalada das usinas signatárias representa cerca de 29,8% da potência instalada da usina de Itaipu (14 mil MW).

No Estado de São Paulo, a maior geração de bioeletricidade, utilizando como fonte o bagaço de cana-de-açúcar, para venda nos leilões de energia, coincide com as maiores regiões produtoras de cana-de-açúcar. Conforme os dados do Protocolo Agroambiental Paulista, o Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR) de Orlandia se destaca como o maior produtor na geração de energia elétrica para exportação, da ordem de 228,6 MW médios (Tabela 3).

TABELA 3 - Energia Exportada por EDRs Selecionados¹, Estado de São Paulo, Safra 2011/12

EDR	Cogeração MW	N. de usinas
Orlandia	228,6	5
Jaú	132,2	9
Barretos	125,8	11
Catanduva	116	9
Jaboticabal	112	7
Lins	95,76	3
Andradina	93,07	9
Assis	82,1	7
Total	985,53	60

¹EDRs com usinas que têm maior produção de energia elétrica.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de Torquato e Ramos (2012).

Verifica-se que a produção de energia elétrica a partir do uso do bagaço de cana-de-açúcar está diretamente ligada ao fator tecnologia utilizada. Para cada tecnologia há um aumento considerável de produção de bioeletricidade. A

eficiência do processo aumenta a quantidade de produção de energia com a mesma quantidade de insumo empregado.

Observa-se que dependendo da tecnologia utilizada, o aumento da produção de energia elétrica pode aumentar em até 6 vezes (Tabela 4).

5 - CONCLUSÕES

Nos próximos anos, registrar-se-á um *boom* no crescimento das demandas de energia no Brasil.

Consoante as estimativas oficiais, no período 2011 a 2020, o crescimento do consumo de eletricidade no País deve alcançar 5% ao ano, enquanto a capacidade de geração vai passar dos atuais 110 mil megawatts (MW) para 171 mil MW até 2020. Na matriz energética brasileira, uma das mais limpas do mundo, a participação das usinas hidroelétricas cairá para 65%, sendo atualmente de 76% (EPE, 2012).

Apointa-se que há um grande potencial

de produção de energia a partir da biomassa da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Também foi observado que o EDR de Orlândia é a região onde se encontram as usinas com maior produção de bioeletricidade.

Vale ressaltar que, além de utilizado nas usinas e destilarias, o bagaço é empregado como combustível em outras indústrias (celulose, por exemplo), como substituto dos derivados de petróleo e da lenha. Na última safra, devido à quebra de produtividade da cana-de-açúcar em São Paulo e no Centro-Sul, houve uma grande escassez de oferta desta matéria-prima, o que acarretou aumento do preço deste subproduto.

O ainda baixo aproveitamento deste potencial não se deve à falta de tecnologias disponíveis, bem como de condições de produção e oferta das diversas fontes de biomassa disponíveis no País e, sim, principalmente, na melhoria da eficiência de processo.

A importância de incentivar a produção de energia renovável no campo é que poderá proporcionar uma segurança energética em pe-

TABELA 4 - Produção Potencial de Bioeletricidade a partir de Diversas Tecnologias, Estado de São Paulo, Safras 2000/01 a 2015/16¹
(em MW)

Safra	Produção de cana São Paulo (em mil t)	Bagaço (250 kg/t)	MW1/ano ²	MW2/ano ³	MW3/ano ⁴
2000/01	148.256	37.064	24.742.444	49.484.888	148.054.372
2001/02	176.574	44.144	29.468.435	58.936.870	176.333.859
2002/03	192.487	48.122	32.124.155	64.248.311	192.225.218
2003/04	207.811	51.953	34.681.578	69.363.156	207.528.377
2004/05	230.280	57.570	38.431.429	76.862.858	229.966.819
2005/06	243.671	60.918	40.666.253	81.332.506	243.339.607
2006/07	263.870	65.968	44.037.264	88.074.529	263.511.137
2007/08	296.243	74.061	49.439.994	98.879.989	295.840.110
2008/09	346.293	86.573	57.792.839	115.585.678	345.822.042
2009/10	361.261	90.315	60.290.848	120.581.697	360.769.685
2010/11	359.503	89.876	59.997.456	119.994.911	359.014.076
2011/12	304.230	76.058	50.772.945	101.545.889	303.816.247
2012/13	308.700	77.175	51.518.943	103.037.886	308.280.168
2013/14	326.800	81.700	54.539.652	109.079.304	326.355.552
2015/16	346.100	86.525	57.760.629	115.521.258	345.629.304

¹A eficiência apresentada nesta tabela é uma estimativa média entre diversas tecnologias existentes (BOTÃO; LACAVAL, 2003).

²MW 1: Caldeiras antigas de baixa eficiência.

³MW 2: Uso de novas caldeiras plantas Greenfield.

⁴MW 3: Uso de tecnologia BIG-GT com caldeiras de alta pressão e com gaseificação.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do MAPA (2012) e IEA (2012).

ríodos críticos da produção de energia elétrica de fonte hídrica. Essa complementaridade entre diversas fontes de energia é importante para evitar períodos críticos e de riscos de desabastecimento ou de aumento de custo na produção.

O fator preponderante para que ocorra uma produção de bioeletricidade com preços competitivos é o investimento em tecnologia para melhoria da eficiência energética na geração. O planejamento e a decisão de investir na produção de energia elétrica a partir do uso de biomassa da cana-de-açúcar devem contemplar rigorosamente a tecnologia, garantia de suprimento via disponibilidade de produção por meio de processos mais eficientes, preços competitivos e baixo impacto ambiental.

A definição da rota tecnológica a ser utilizada poderá gerar mais eficiência na produção, porém, o custo do investimento é maior não sendo assim uma melhor opção. O aumento da escala dos projetos será um fator para baratear os custos de produção e investimento na geração e, dessa forma, abrirá espaço para a introdução de novas tecnologias criando assim o ciclo benéfico de eficiência e otimização.

Há a necessidade de incentivos que melhorem o desempenho do setor no que se refere à inovação tecnológica, isto é, políticas públicas que se traduzam em investimento em tecnologia

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.

A concorrência nos leilões se dá pelo preço, ou seja, preço baixo é resultado de custos baixos que deve ser consequência de inovações e conhecimento via tecnologia.

Como exemplo, cita-se o caso da energia de fonte eólica onde houve uma redução em seus custos de produção para 1/3 em relação ao início da operação, devido a fatores positivos, como melhoria tecnológica e de investimentos. Para a energia de biomassa isso ainda não ocorreu na mesma magnitude.

Por isso a decisão do investidor deverá ser amparada numa análise que envolva a tecnologia empregada, o benefício econômico e a estratégia de atuação no mercado de eletricidade.

Políticas em prol do investimento, em parte já contemplada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), para projetos que garantam maior eficiência de processo na geração de energia elétrica, utilizando o bagaço da cana-de-açúcar, poderão ser um caminho para baratear o custo por unidade produzida e assim garantir a oferta dessa importante fonte de energia.

LITERATURA CITADA

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA - AIE. **World energy outlook, 2010**. Paris: AIE, 2010. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2010/>>. Acesso em: out. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Matriz de energia elétrica**. Brasília: ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>>. Acesso em: 12 set. 2012.

_____. **Resolução normativa nº 235, de 14 de novembro de 2006**. Brasília: ANEEL, 2006. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acesso em: set. 2012.

BARJA, G. de J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Gabriel_de_Jesus.pdf>. Acesso em: out. 2012.

BRASIL. Secretaria de Energia. **Balço energético do Estado de São Paulo - 2001 - Ano base: 2010**. Série Informações Energéticas, 002, Brasília, DF, 264 p. 2011.

BOTÃO, S. G.; LACAVA, P. M. Usos do bagaço da cana-de-açúcar para co-geração de energia elétrica, no Estado de São Paulo e a comercialização do excedente da energia gerada. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 17-37, jul./set. 2003.

CASTRO, N. J. de; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. de A. O potencial da bioeletricidade, a dinâmica do setor

sucroenergético e o custo estimado dos investimentos. **Texto para Discussão do Setor Elétrico**, Rio de Janeiro, n. 29, nov. 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **A geração termoeétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil**: análise do desempenho da safra 2009/10. Brasília: CONAB, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf>. Acesso em: 17 set. 2012.

_____. **Séries históricas**. Brasília: CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: 28 mar. 2011.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICA - EPE. **Balço energético nacional 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>. Acesso em: 29 out. 2012.

GABRIEL FILHO, L. R. A. et al. Estudo teórico sobre a cogeração de energia seus equipamentos e ciclos. In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 2007, Tupã. **Anais...** Tupã: ANAP, 2007. v. 3, p. 01-21.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. **Banco de dados**. São Paulo: IEA. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>>. Acesso em: 18 maio 2012.

LEITE, W. B.; PINTO, L. A. O valor do bagaço como combustível. In: _____. **Avaliação do bagaço da cana-de-açúcar**. São Paulo: SOPRAL, 1983. p. 22-39. (Coleção SOPRAL, 4).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Relação das unidades produtoras cadastradas no departamento da cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília: MAPA. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/Orientacoes_Tecnicas/Usinas%20e%20Destilarias%20Cadastradas/DADOS_PRODUTORES_15_02_2013.pdf>. Acesso em: out. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica**. Brasília: MME. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfra/>>. Acesso em: 05 nov. 2012.

PASSOS, J. C. Os experimentos de joule e a primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 3, jul./set. 2009.

RODRIGUES, A. de P. Palavra do presidente: discurso no evento 25 anos de bioeletricidade no Brasil. **União da indústria de cana-de-açúcar**, São Paulo, maio 2012. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/palavra-do-presidente/25714988920331483908/discurso-no-evento-por-centoE2-por-cento80-por-cento9C25-anos-de-bioeletricidade/>>. Acesso em: out. 2012.

SANTOS, A. F. **Análise da aplicação da biomassa da cana como fonte de energia elétrica: usina de açúcar, etanol e bioeletricidade**. 2012. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-05102012-105550/pt-br.php>>. Acesso em: out. 2012.

SCHERER, F. M. **Industrial market structure and economic performance**. 2. ed. EUA: Houghton Mifflin, 1980.

SMITH, A. **A riqueza das nações**. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003. 1392 p.

SOUSA, E. L. L. de; MACEDO, I. de C. (Coord.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: ÚNICA, 2010. 315 p. (Luc Projetos de comunicação).

TORQUATO, S. A.; FRONZAGLIA, T. Tecnologia BIG-GT: energia a partir da gaseificação da biomassa da cana. **Texto para Discussão**, São Paulo, nov. 2005. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=3814>>. Acesso em: 15 out. 2012.

_____.; RAMOS, R. C. Protocolo agroambiental do setor sucroalcooleiro paulista: ações visando à preservação ambiental. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 7, n. 6, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12390>>. Acesso em: out. 2012.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Banco de dados**. São Paulo: ÚNICA. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/apresentacoes/pag=1>>. Acesso em: out. 2012.

**BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR E A GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE EM SÃO PAULO:
usinas signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista**

RESUMO: Este estudo tem por objetivo identificar a participação da biomassa da cana-de-açúcar na produção de energia em São Paulo, em especial a energia elétrica. A chamada bioeletricidade, gerada a partir do bagaço, um resíduo da produção de etanol e açúcar, vem sendo trabalhada dentro das usinas há certo tempo, num processo de conversão que visava atender às necessidades da própria usina, a chamada cogeração. Atualmente essa bem sucedida forma de geração de energia encontra novas possibilidades, dentre elas o fornecimento junto ao sistema nacional de energia elétrica, cuja participação vem sendo realizada através dos leilões de energia elétrica alternativa. Foram utilizados os dados coletados na safra 2011/12 referentes às visitas técnicas do Protocolo Agroambiental Paulista, nas 163 usinas signatárias. Também se utilizou de publicações científicas, informações do Ministério de Minas e Energia (MME), da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Há um potencial instalado nas usinas de São Paulo na ordem de 4.178 MW, sendo que 1.672 MW médios foram disponibilizados para rede elétrica. Das usinas estudadas 41,7% exportam energia.

Palavras-chave: cogeração, bioeletricidade, cana-de-açúcar, biomassa.

**SUGARCANE BIOMASS IN GREENPOWER GENERATION IN SÃO PAULO, BRAZIL:
plants that ractified são paulo's agroenvironmental protocol**

ABSTRACT: This study aims to identify the share of sugarcane biomass used for power generation in São Paulo, especially for electricity. The green power energy generated from bagasse, a by-product of ethanol and sugar milling, has been developed in the mills for some time, through an energy conversion process aimed at meeting the needs of the plant itself, the so-called co-generation. Currently, this successful form of power generation finds new possibilities, among which the supply to the national electricity system, a participation that has been enabled through alternative power auctions. Data came from the 2011-12 harvest season, collected through technical guidance site visits by representatives of the Agro-environmental Protocol to the 163 signatory plants MW. In addition, we extracted information from specialized scientific publications, from Brazil's Ministry of Mines and Energy (MME) and the Sao Paulo State Energy Secretariat. Our study found that Sao Paulo's power plants top 4.178 MW of installed capacity, of which 1.672 MW are available to the electrical grid. Also, 41.7% of the power plants under study were observed to export power.

Key-words: co-generation, bioelectricity, sugarcane, biomass.

Recebido em 09/11/2012. Liberado para publicação em 04/09/2013.