

Documentos

ISSN 1516-4691

Julho, 2009

78

**Bioeletricidade no Setor
Sucroalcooleiro Paulista:
participação no mercado de
carbono, perspectivas e
sustentabilidade**





ISSN 1516-4691

Julho, 2009

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 78

Bioeletricidade no Setor Sucroalcooleiro Paulista: participação no mercado de carbono, perspectivas e sustentabilidade

**Eunice Reis Batista
Nilza Patricia Ramos
Ariovaldo Luchiari Junior**

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2009

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3311-2650 Fax: (19) 3311-2640
sac@cnpmma.embrapa.br
www.cnpmma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Ariovaldo Luchiari Júnior*

Secretário-Executivo: *Luiz Antônio S. Melo*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membros: *Ladislau Araújo Skorupa, Heloisa Ferreira Filizola, Adriana M. M. Pires, Emília Hamada e Cláudio M. Jonsson*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

1ª edição eletrônica
(2009)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Batista, Eunice Reis.

Bioeletricidade no Setor Sucroalcooleiro Paulista: participação no mercado de carbono, perspectivas e sustentabilidade / Eunice Reis
Batista, Nilza Patrícia Ramos, Ariovaldo Luchiari Junior. –
Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009.
35 p. : il. — (Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 78)

1. Bioenergia. 2. Cogeração de energia. 3. Mecanismo de desenvolvimento limpo. 4. Mercado de carbono. I. Batista, Eunice Reis. II. Ramos, Nilza Patrícia. III. Luchiari Junior, Ariovaldo. IV. Título. V. Série.

CDD 333.793 2

© Embrapa 2009

Autores

Eunice Reis Batista

Bióloga, Mestre em Planejamento Ambiental, Embrapa
Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal
69, Tanquinho Velho, Cep.13.820-000,
Jaguariúna,SP.
nicereis@cnpma.embrapa.br

Nilza Patrícia Ramos

Engenheira Agrônoma, Doutora Fitotecnia, Embrapa
Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal
69, Tanquinho Velho, Cep.13.820-000,
Jaguariúna,SP.
npramos@cnpma.embrapa.br

Ariovaldo Luchiari Junior

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Agronomia,
Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 - Km 127,5
- Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000
Jaguariúna, SP.
luchiari@cnpma.embrapa.br

Sumário

Introdução	06
Biomassa para eletricidade	08
Cogeração no setor sucroalcooleiro	09
O mecanismo de desenvolvimento limpo	12
Participação do setor sucroalcooleiro no mercado de carbono.....	15
Natureza dos projetos e aumento da capacidade instalada.....	17
As metodologias utilizadas pelos projetos de cogeração no MDL	18
Adicionalidade dos projetos e os fatores de emissão	20
Utilização energética do palhico	24
A sustentabilidade da atividade cogeradora	26
Considerações Finais	30
Referências	31

Bioeletricidade no Setor Sucroalcooleiro Paulista: participação no mercado de carbono, perspectivas e sustentabilidade

Eunice Reis Batista

Nilza Patrícia Ramos

Ariovaldo Luchiar Junior

Introdução

Os gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono (CO₂), são apontados por especialistas como os responsáveis pelo aquecimento global. No contexto mundial, o setor de produção de energia é um dos maiores contribuintes à emissão atmosférica de gases de efeito estufa (GEEs), especialmente em função da utilização de combustíveis de origem fóssil. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2008, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), estatal responsável pelo planejamento de longo prazo do setor energético no País, o Brasil emitiu o equivalente a 1,84 t CO₂/habitante em 2005, enquanto os Estados Unidos emitiram o equivalente a 19,61 t CO₂/habitante e o Japão 9,5 t CO₂/habitante. A média mundial ficou em 4,22 t CO₂/habitante.

Adotando-se outro critério de avaliação, com a relação de emissões de CO₂ por tep¹ de energia suprida, o Brasil tem uma situação bem favorável, em relação à média mundial. Segundo dados do BEN (2008), o Brasil emitiu 1,57 tonelada de CO₂ /tep de energia consumida em 2005. A relação dos Estados Unidos foi de 2,49 por esse critério, superando a média do Japão (2,29), da América Latina (1,88) e mundial (2,37).

Os maiores níveis de emissão de CO₂ pelo setor energético, apresentados anteriormente, estão diretamente relacionados ao predomínio de combustíveis de origem fóssil na matriz energética dos respectivos países conforme

¹tep = tonelada equivalente de petróleo

apresentado na tabela 1. A utilização de biomassa com finalidade de geração elétrica tem sido buscada, como forma de diminuir a contribuição do setor de produção de energia no aumento das concentrações atmosféricas de CO₂.

A matriz energética brasileira é considerada uma das mais limpas em termos de emissão de GEEs devido à participação de fontes renováveis, especialmente hídrica e de biomassa. Os principais recursos energéticos de biomassa presentes na matriz energética brasileira são lenha, carvão vegetal e os produtos derivados da cana-de-açúcar, tais como etanol e o bagaço.

Tabela 1. Matriz de Oferta Interna de Energia - Brasil, países membros da OECD e Mundo (Fonte: BEN, 2008)

	BRASIL 2007 (%)	OECD 2005 (%)	MUNDO 2005 (%)
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL	53,6	93,8	87,3
Petróleo e derivados	36,7	40,6	35,0
Gás natural	9,3	21,8	20,7
Carvão mineral	6,2	20,4	25,3
Urânio	1,4	11,0	6,3
ENERGIA RENOVÁVEL	46,4	6,2	12,7
Biomassa e outras renováveis	31,7	4,2	10,5
Hidráulica e Eletricidade	14,7	2,0	2,2

A cana-de-açúcar, que nos últimos anos já se destacava pelo seu crescimento expressivo, alcançou um patamar inédito de 16%, ocupando a segunda posição entre os energéticos mais demandados em 2007 atrás apenas do petróleo e derivados, com 36,7%, e superando a energia hidráulica, com 14,7%. Nesse mesmo ano, as fontes renováveis contribuíram com 46,4% da energia total consumida no País, enquanto a média mundial ficou em 12,7%. Nos países ricos membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD- sigla em inglês) a média foi de 6,2% (BEN, 2008).

Diante da importância energética da cana-de-açúcar, produzida nas usinas do Estado de São Paulo, este artigo procura abordar diversos aspectos recentemente discutidos sobre essa fonte renovável de energia, tanto em termos de participação da bioeletricidade no mercado nacional, quanto no contexto mundial, como atividade de redução das emissões atmosféricas de gases de efeito

estufa inseridas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os assuntos foram tratados de maneira pouco aprofundada, pois o texto é voltado para o público leigo, procurando-se fornecer subsídios básicos para o entendimento das recentes discussões acerca dos temas bioeletricidade e mercado de carbono.

Biomassa para eletricidade

Do ponto de vista energético, para fim de outorga de empreendimentos do setor elétrico, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos ou caldeiras. Para aumentar a eficiência do processo tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008).

O investimento em fontes alternativas e renováveis de energia tem crescido mundialmente, porém, o uso energético de biomassa, que já não é muito representativo em termos globais, não tende a ocupar espaço significativamente maior que o atual na matriz energética mundial. Conforme relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007) em 2004 as fontes de biomassa contribuíram com apenas 1,4% da geração total de eletricidade nos países da Organização para o Desenvolvimento e Cooperação Econômica (OECD). De acordo com Walter (2008), em países como Japão e Estados Unidos, bem como na Europa, a expansão da bioeletricidade não deverá ocorrer, pelo menos a curto prazo, devido a não concretização de duas condições fundamentais: o fornecimento de biomassa a baixo custo e o avanço das tecnologias de geração. A médio e longo prazos, novas tecnologias tendem a viabilizar comercialmente outras fontes de biomassa para uso energético. É o caso das tecnologias de produção de etanol a partir de lignocelulose que poderão duplicar o volume produzido atualmente no Brasil.

Embora não seja representativo em termos mundiais, o uso de biomassa na geração de eletricidade vem aumentando, principalmente em sistemas de cogeração. A médio e longo prazo, no entanto, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica. No Brasil, em 2007, a biomassa de lenha,

bagaço de cana, lixívia e outras recuperações atenderam a 3,8% da demanda por energia elétrica (BEN, 2008).

O cultivo de biomassa, mais precisamente de cana-de-açúcar, para fins energéticos permite ao Brasil ocupar uma posição estratégica privilegiada no cenário mundial. O país possui inúmeras áreas de terra fértil, insolação abundante e disponibilidade de recursos hídricos, que compõem o cenário ideal para a absorção e armazenamento da energia solar na cana-de-açúcar. Este armazenamento de energia renovável e a sua possível conversão em energia elétrica ou combustível fornecem ao país uma alternativa aos derivados de petróleo e outros combustíveis fósseis (COELHO, 1999).

Cogeração no setor sucroalcooleiro

Cogeração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de um mesmo combustível (gás natural, resíduos de madeira, casca de arroz, bagaço da cana, palha, ponteiros etc.). A energia mecânica pode ser utilizada na forma de trabalho ou transformada em eletricidade por meio de geradores; a energia térmica é utilizada como fonte de calor para um processo industrial ou no setor de comércio ou serviços (COELHO, 1999).

A produção elétrica nas usinas de açúcar e álcool, em sistemas de cogeração que usam o bagaço de cana como combustível, é prática tradicional desse segmento industrial em todo o mundo. O que muda, dependendo das condições particulares de cada país, é a eficiência de uso do bagaço. Em termos mundiais a experiência brasileira é importante em função do porte da atividade canavieira, mas não da eficiência com que a biomassa é empregada (WALTER, 2008).

No Brasil, as usinas de açúcar e álcool são praticamente auto-suficientes em energia, sendo 98% de sua demanda atendida pelo bagaço e os 2% restantes atendidos com óleo diesel, álcool, lenha, gasolina e a eletricidade comprada das distribuidoras (SOUZA; AZEVEDO, 2006). A comercialização de excedentes de eletricidade entre o setor sucroalcooleiro e as concessionárias do Sistema Interligado Nacional (SIN) iniciou-se em meados da década de 80 (WALTER, 2008) quando então barreiras econômico-financeiras e político-institucionais desestimulavam os investimentos em sistemas mais eficientes de cogeração. Com a reestruturação do sistema elétrico brasileiro, inici-

ada em meados da década de 90 e impulsionada pelo racionamento de energia implementado nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-oeste em 2001, buscou-se o aumento da oferta interna de energia e a diversificação das fontes de energia elétrica, principalmente através de políticas de investimento na geração termelétrica, atrelada à importação de gás natural da Bolívia, dentro do Plano Prioritário de Termelétricas (PPT) coordenado pelo Ministério das Minas e Energia (MME). Em 2002, foi implantado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), coordenado pelo MME, que estabeleceu a contratação de 3.300 MW de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), sendo 1.100 MW de cada fonte. O 1º Leilão de Compra de Energia Proveniente de Fontes Alternativas, foi realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL- em meados de 2007 e resultará no acréscimo de uma potência instalada total de 638,64 MW em novas usinas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) a partir de 2010, sendo 541,9 MW de termelétricas movidas à biomassa e 96,74 MW de PCH's (ANEEL, 2008).

Atualmente a matriz de energia elétrica brasileira está baseada em 2.030 usinas que utilizam diversas fontes energéticas onde a principal é a água (71% aproximadamente). A capacidade total instalada é de aproximadamente 111 mil MW (Tabela 2) dos quais 21,45% somente no estado de São Paulo (ANEEL, 2009).

O segmento de cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana no Brasil, dispõe de uma potência instalada estimada em 3.283.063 kW que corresponde a 2,99% da matriz de energia elétrica nacional (tabela 2). Somente no Estado de São Paulo as usinas de cogeração respondem por 1.709 MW do potencial técnico instalado, disponibilizando cerca de 663 MW excedentes para exportação (COGEN, 2008). O Estado de São Paulo concentra a maioria das usinas e destilarias de açúcar e álcool do país. De acordo com a União dos Produtores de Bioenergia (UDOP) são 187 unidades já instaladas e 18 novas instalações em andamento (UDOP, 2008).

De acordo com Souza e Azevedo (2006) a indústria de energia elétrica apresenta particularidades que afetam as decisões da indústria sucroalcooleira em sua atividade de cogeração de energia. Devido à impossibilidade de armazenamento, da sazonalidade de produção e consumo (período entressafra), do limite de transmissão dentro de um pool de energia e da grande sensibilidade dos custos marginais em relação à quantidade produzida, a energia elétrica tende a apresentar grande volatilidade de preços.

Recentemente, representantes do setor sucroalcooleiro paulista afirmaram que aspectos inerentes à cogeração não são considerados na regulamentação do setor elétrico. Zanatto (2007) cita como exemplo: os custos de conexão à rede elétrica, que são de responsabilidade dos cogeneradores; a cobrança de penalidades da ordem de R\$500,00 por MWh não entregue no mês, previstas no contrato de fornecimento de energia. O autor conclui que a regulamentação do setor energético para empreendimentos de cogeração, está baseada em grandes empreendimentos hidrelétricos, sendo portanto inadequada.

Tabela 2. Matriz Nacional de Energia Elétrica – Capacidade instalada em Janeiro de 2009 (Fonte: ANEEL, 2009)

TIPO		CAPACIDADE INSTALADA		
		Nº de Usinas	(kW)	(%)
HÍDRICA		770	77.545.025	69,79
GÁS	Natural	89	10.598.502	9,54
PETRÓLEO	Processo	31	1.224.483	1,12
	Óleo Diesel	759	3.645.755	3,28
BIOMASSA	Óleo Residual	20	1.265.194	1,14
	Bagaço de cana	263	3.605.918	3,25
	Licor negro	13	848.638	0,76
	Madeira	31	260.317	0,23
	Biogás	8	41.874	0,04
NUCLEAR	Casca de arroz	6	30.208	0,03
		2	2.007.000	1,81
CARVÃO MINERAL		8	1.455.104	1,31
EÓLICA IMPORTAÇÃO	Paraguai	30	398.280	0,36
	Argentina		5.650.000	5,46
	Venezuela		2.250.000	2,17
	Uruguai		200.000	0,19
TOTAL		2.030	111.116.298	100

A despeito das controvérsias, o Plano Nacional de Energia 2030 reconhece a importância da geração distribuída de eletricidade, principalmente das fontes alternativas, projetando um acréscimo de mais de 15.000 MW em 2030. Somente o setor sucroalcooleiro acrescentaria 4.000 MW com o

processamento de mais de 1,1 bilhão de ton. de cana, anualmente. Adicionalmente, o BNDES vem criando incentivos específicos para o setor, no sentido de viabilizar a utilização de tecnologias mais eficientes energeticamente (MACEDO, 2007).

Se por um lado, no âmbito das oportunidades do mercado nacional, a produção e a comercialização de excedentes de eletricidade pelo setor sucroalcooleiro convive com os entraves citados anteriormente, por outro lado, no âmbito internacional, o setor se articulou com o objetivo de obter fontes de recursos para investimentos na produção de eletricidade e a grande oportunidade foi consolidada através da elaboração e aprovação de projetos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Diversos autores brasileiros (SANCHES, 2003; SOUZA; AZEVEDO, 2006; SANTOS; OMETTO, 2007; MACIEL; CABAÑAS, 2007; OLIVEIRA, 2007) apontaram a atratividade econômica para projetos envolvendo fontes renováveis de energia, em particular a biomassa do setor sucroalcooleiro, no âmbito do MDL.

O mecanismo de desenvolvimento limpo

O Primeiro Período de Compromisso estabelecido pelo Protocolo de Quioto entre 2008 e 2012 já está em andamento. Diversas foram as expectativas em torno da ratificação do Protocolo e de suas consequências, especialmente a partir da ratificação pela Rússia em setembro de 2004 e mais recentemente, em dezembro de 2007, pela Austrália. Independentemente das críticas, o mercado de carbono evoluiu significativamente desde 1997, quando começou a se estabelecer. Desde então diversas bolsas regionais de negociação de créditos de carbono foram estabelecidas tais como as bolsas do Japão, Canadá, Índia, a norte-americana Climate Chicago Exchange (CCX), a da Europa - European Union Emission Trading Scheme (EU ETS), a BLUENEXT da França, a Asian Carbon Exchange (ACX) (CARBONO BRASIL, 2008). Novas bolsas estão sendo constituídas em diversos países do globo como por exemplo a Hong Kong Exchange, a Bolsa de Energia Européia de Leipzig (EEX) e a da Austrália. No Brasil a regulamentação de comercialização de créditos de carbono ainda não está concluída, porém a Bolsa De Valores Brasileira já conta com uma plataforma (MBRE- Mercado Brasileiro de Reduções de Emissões) para negociação de créditos gerados em projetos de diversas empresas brasileiras e que, em setembro de 2007, realizou o leilão das 808.450 Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) resultantes do projeto "Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project -BLFGE (BM&F BRASIL, 2007).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um dos instrumentos estabelecidos pelo Protocolo de Quioto para que os países do Anexo I (países desenvolvidos signatários) reduzam suas emissões CO₂ em 5,2% em relação aos níveis verificados em 1990, propiciou a participação dos países não anexo I (países em desenvolvimento) no mercado mundial de comércio de créditos de carbono.

Embora haja críticas quanto à real efetividade desse esquema de comércio em contribuir com a redução dos níveis de gases de efeito estufa emitidos para a atmosfera (LOHMANN, 2006), o fato é que está em franca expansão o desenvolvimento de uma economia baseada em tecnologias e processos mais eficientes, do ponto de vista energético, e também menos poluentes, estimuladas pela implementação de políticas nacionais, voltadas à redução das emissões de CO₂, em pelo menos 65 países diferentes. Essa constatação foi feita recentemente pelo relatório “Renewables 2007 Global Status” (Estado Global das Renováveis em 2007) produzido pela Rede de Energias Renováveis para o século 21 em colaboração com Worldwatch Institute (REN21, 2008). O relatório aponta que Brasil, Índia e China têm posição de destaque entre os países que mais investem em tecnologias limpas. Os três países também lideram o ranking em número de projetos já registrados no conselho executivo do MDL. Assim, o MDL, bem como os demais mecanismos de comercialização de créditos de carbono, promoveram uma série de investimentos em novas tecnologias fortemente vinculadas às iniciativas de mitigação das mudanças climáticas globais.

O MDL cresceu rapidamente entre 2005 e 2007 (primeira fase do MDL, iniciada quando a Rússia ratificou o Protocolo de Quioto). Até meados de 2008 mais de três mil atividades de projeto foram enviadas para registro ao Conselho Executivo do MDL. Dentre estas, pouco mais de 30% foram registradas, gerando um volume total aproximado de 221 milhões de RCEs. Até o final de 2012 são esperadas mais de dois bilhões e setecentos milhões de RCEs (UNFCCC, 2008).

Cada RCE resulta da emissão evitada de 1 tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente, calculada de acordo com o Potencial de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential). O valor da tonelada métrica de carbono equivalente oscilou desde US\$3,50 em 2001, ultrapassando US\$ 30,00 em meados de 2008 e no início de 2009 caiu para US\$ 13,00 aproximadamente. As RCEs estão sendo comercializadas no mercado de carbono sob condições altamente competitivas, lucrativas e de expansão acelerada desde 2005. O mercado global de carbono aumentou para 118 bilhões de

dólares em 2008, enquanto que no ano anterior movimentou 60 bilhões de dólares, segundo a *New Carbon Finance*, consultoria internacional em Mercado de Carbono com escritórios no Reino Unido e Estados Unidos. Comparado com 2007, o número representa um crescimento de mais de 84% em uma curva íngreme desde 2005 quando foram movimentados cerca de 10 bilhões de dólares (CARBONO BRASIL, 2009). A tabela 3 descreve os valores envolvidos nas transações dos projetos MDL entre 2005 e 2007.

No mercado primário de RCEs, ou seja, aquele onde são negociadas as reduções de emissões por projetos em fase de concepção, portanto ainda não registrados no Conselho Executivo do MDL, o volume de reduções certificadas transacionadas praticamente triplicou entre 2005 e 2007 enquanto que o valor médio de cada uma saltou de US\$ 7 para quase US\$ 18. No mercado secundário, onde se negociam as reduções certificadas já emitidas, decorrentes de projetos aprovados e verificados, o aumento no volume foi explosivo, mais de 35 vezes, sendo que o valor das RCEs não seguiu a mesma proporção, variando entre US\$ 22,1 em 2005 e US\$ 23,7 em 2007. Em 2008 foram movimentados US\$ 5,8 bilhões em RCE's primárias enquanto que as RCE's secundárias movimentaram US\$ 14 bilhões (CARBONO BRASIL, 2009).

Tabela 3. Evolução do valor das RCE's no mercado de carbono (Fonte: *Banco Mundial, **Carbono Brasil)

	2005*		2006*		2007**	
	Volume (MtCO ₂ e)	Valor (mi US\$)	Volume (MtCO ₂ e)	Valor (mi US\$)	Volume (MtCO ₂ e)	Valor (mi US\$)
MDL						
primário	341	2.417	537	5.804	551	7.426
MDL						
secundário	10	221	25	445	240	5.451
Total	351	2.638	562	6.249	791	12.877

Mais recentemente, o preço das RCEs têm oscilado seguindo a volatilização do mercado financeiro global, influenciada principalmente pela recessão nor-

te americana pelo lançamento das propostas européias para a próxima fase do Esquema do Comércio de Emissões (EU ETS) no pós Quioto. Especialistas indicam que em 2009 cada RCE será negociada ao valor médio de US\$ 21,00. Além disso o volume de negociações continuará o mesmo, porém o ritmo será bem menor que aquele alcançado em 2008. (CARBONO BRASIL, 2009)

Participação do setor sucroalcooleiro no mercado de carbono

A participação brasileira no mercado de carbono iniciou-se com o primeiro projeto aprovado internacionalmente pelo Conselho Executivo do MDL, o projeto de aproveitamento energético de biogás de aterro sanitário localizado em Nova Iguaçu no estado do Rio de Janeiro (BRASIL. MCT, 2008). Desde então a aprovação de projetos tem sido crescente, e atualmente o país é o terceiro colocado com 150 projetos registrados. China é o país com maior número, 396 projetos, enquanto Índia, em segundo lugar tem 392 projetos já registrados no Conselho Executivo do MDL (UNFCCC, 2009). No âmbito do MDL, o Brasil ocupa a terceira posição entre os países com maiores reduções anuais de emissões de gases de efeito estufa. Na primeira posição está a China com 46% das reduções anuais e em segundo a Índia com 24% das reduções anuais mundiais (CIMGC, 2009).

Antes de chegar ao Conselho Executivo um projeto passa pela análise da AND – Autoridade Nacional Designada – no caso do Brasil, a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) atesta que o projeto contribui para o desenvolvimento sustentável. Até o último mês de junho a CIMGC aprovou integralmente 198 projetos; 5 projetos foram aprovados com ressalvas, 8 projetos estão em fase de revisão e 3 projetos aguardam avaliação, totalizando assim 214 projetos já enviados à Comissão. A maior parte das atividades de projeto brasileiras têm por objetivo reduzir emissão de dióxido de carbono (67%), seguem-se as atividades redutoras de emissão de metano (32%) e aquelas que reduzem a emissão de óxido nitroso (1%). O setor energético, seja de fontes renováveis ou não-renováveis, é aquele onde se desenvolvem mais de 50% das atividades de projetos do MDL em nível global e correspondem a 62% das atividades de projeto brasileiras segundo a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima.

Dentre os escopos setoriais utilizados para classificação das atividades do MDL pela CIMGC, o de “Energia renovável” é o que agrega maior número de

projetos aprovados, são 88 projetos que visam geração de eletricidade a partir de água e de resíduos agrícolas, tais como bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz e cavacos de madeira. Dentre este total, 21 projetos são de usinas paulistas (CIMGC, 2008). A tabela 4 ilustra a participação das usinas paulistas no MDL.

A primeira usina de açúcar e álcool a vender efetivamente créditos de carbono foi a Cerradinho, de Catanduva. As RCEs foram negociadas no final de novembro de 2006 com o banco Holandês ABN e comercializadas ao preço de 15,30 euros cada (CARBONO BRASIL, 2008). As consultorias responsáveis pela elaboração dos projetos MDL de cogeração junto às usinas paulistas foram ECONERGY BRASIL Ltda. e ECOINVEST CARBON Assessoria Ltda.

Embora os primeiros registros¹ pelo Conselho Executivo tenham ocorrido no início de 2006, algumas das atividades de projeto iniciaram seu primeiro período de obtenção de créditos em 2001², como é o caso das Usinas: Vale do Rosário, Moema, Nova América e Grupo Zillo Lorenzetti. Portanto essas usinas podem

Tabela 4. Usinas sucro-alcooleiras paulistas com projetos no MDL (Fonte: UNFCCC, 2009)

USINA	Localidade	Date de registro no Conselho Executivo	Primeiro período de obtenção de créditos
Santa Elisa	Sertãozinho	20/02/2006	07/04/2003 a 06/04/2010
Nova América	Tarumã	20/02/2006	20/05/2001 a 19/05/2008
Alta Mogiana	São Joaquim da Barra	20/02/2006	06/05/2002 a 05/05/2009
Santa Cândida	Bocaina	24/02/2006	11/06/2002 a 10/06/2009
Colombo	Ariranha	03/03/2006	01/07/2003 a 30/06/2010
Vale do Rosário	Morro Agudo	03/03/2006	09/06/2001 a 08/06/2008

¹ O registro é pré-requisito para a verificação e certificação que são realizadas por uma entidade Operacional Designada (EOD); após essa etapa se dá emissão das RCE's, ou seja, os créditos de carbono, pelo Conselho Executivo.

² De acordo com os procedimentos do MDL, para esse tipo de projeto, o período de obtenção de créditos pode ser de 7 anos, renovável mais 2 vezes, num total de 21 anos.

³ A renovação do período de créditos dos projetos no MDL pode ser efetuada desde que a linha de base seja ainda válida ou tenha sido revisada e atualizada.

USINA	Localidade	Date de registro no Conselho Executivo	Primeiro período de obtenção de créditos
Cerradinho	Catanduva	03/03/2006	01/07/2002 a 30/06/2009
Lucélia	Lucélia	03/03/2006	12/07/2002 a 12/07/2009
Serra	Ibaté	03/03/2006	18/09/2002 a 18/09/2009
Coinbra-Cresciumal	Leme	03/03/2006	10/07/2003 a 09/07/2010
Santo Antonio e São Francisco	Sertãozinho	03/03/2006	21/06/2002 a 20/06/2009
Alto Alegre	Presidente Prudente	04/03/2006	04/05/2004 a 04/05/2011
Cruz Alta	Olímpia	06/03/2006	10/05/2003 a 09/05/2010
Santa Adélia	Jaboticabal	06/03/2006	07/05/2003 a 06/05/2010
Grupo Zillo-Lorenzetti	Lençóis Paulista Macatuba	06/03/2006	15/06/2001 a 15/06/2008
Equipav	Promissão	09/03/2006	11/06/2002 a 10/06/2009
Moema	Orindiúva	09/03/2006	20/05/2001 a 19/05/2008
Cerpa (Usina da Pedra)	Serrana	09/03/2006	01/05/2003 a 30/04/2010
Interlagos	Pereira Barreto	Aprovado com ressalvas na CIMGC	15/04/2008 a 14/04/2015
Mandu	Guaíra	Aprovado com ressalvas na CIMGC	01/12/2006 a 30/11/2013
Santa Cruz	Américo Brasiliense	Aprovado na CIMGC	01/04/2008 a 31/03/2015

ter renovado o período de obtenção de créditos de seus projetos em 2008³.

Natureza dos projetos e aumento da capacidade instalada

Com exceção das Usinas Interlagos e Mandu, cujos projetos têm por objetivo a instalação de novas unidades de cogeração, todos os demais projetos envolveram investimentos para aumentar a eficiência na geração e utilização do vapor. A produção de eletricidade nas unidades de cogeração se baseia na tecnologia denominada “Ciclo de Vapor Rankine” que consiste basicamente

na combustão direta de biomassa em uma caldeira para gerar vapor, o qual se expande em turbinas. Assim, os investimentos, de acordo com os proprietários dos projetos, foram para a compra de turbos geradores mais potentes e caldeiras de maior pressão. Esses equipamentos são responsáveis pelo aumento da eficiência energética no processo de geração e de redução da utilização de vapor no processamento da cana-de-açúcar, resultando em excesso de vapor para geração de mais eletricidade nas turbinas, que por sua vez podem ser comercializadas. Assim trata-se de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, atividade classificada pelo MDL como contribuinte ao desenvolvimento sustentável por substituir a utilização de combustíveis fósseis na geração de eletricidade. A tabela 5 descreve a potência instalada de cada usina, a energia a ser exportada durante o primeiro período de crédito do projeto e as reduções, médias e totais de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), estimadas por projeto.

Considerando-se somente os projetos MDL de cogeração das usinas sucroalcooleiras paulistas, uma vez implementados integralmente, serão responsáveis por aumentar em cerca de 1 % a capacidade instalada atual nacional de energia elétrica. Serão pouco mais de 1.000 MW adicionais, considerando a partir do início e final do primeiro período de créditos no MDL dos projetos, ou seja, entre 2001, quando se iniciaram os projetos, e 2015 quando finalizam os projetos elaborados mais recentemente (Usinas Santa Cruz e Interlagos). Atualmente, o Estado de São Paulo tem pouco mais de 22 mil MW de potência instalada, o que representa 21,45% do total nacional (ANEEL, 2009).

Avaliando-se as informações contidas nos projetos MDL de cogeração, a maioria das usinas possuem contratos assinados (CCVE – Contrato de Compra e Venda de Energia Elétrica) de comercialização de eletricidade, por no mínimo 10 anos, com distribuidoras locais tais como CPFL, Elektro e Eletropaulo. Tais contratos são exigidos por instituições financeiras para fins de liberação de crédito.

As metodologias utilizadas pelos projetos de cogeração no MDL

O MDL é um mecanismo altamente dinâmico uma vez que as metodologias aplicáveis na determinação de linha de base das atividades de projeto, além de serem periodicamente substituídas, são complementadas com ferramentas adicionais, as quais são também periodicamente substituídas.

Tabela 5. Capacidade instalada, energia exportada e emissões evitadas pelos projetos de cogeração das usinas paulistas inseridos no MDL (Fonte: UNFCCC, 2008)

Usina	Capacidade instalada (MW)	Energia exportada (MWh)	Média das reduções estimadas/ano (tCO ₂ e)	Reduções estimadas no 1º período de créditos (tCO ₂ e)
<i>Santa Elisa</i>	73	1.197.624	45.801	320.604
<i>Nova América</i>	22,5	314.474	12.027	84.187
<i>Alta Mogiana</i>	37,5	314.397	12.024	84.165
<i>Santa Cândida</i>	29	277.274	10.604	74.225
<i>Colombo</i>	103	732.641	28.018	196.128
<i>Vale do Rosário</i>	101	660.948	25.277	176.937
<i>Cerradinho</i>	65	908.451	34.742	243.194
<i>Lucélia</i>	44,63	375.551	14.362	100.534
<i>Serra</i>	15	173.729	6.644	46.509
<i>Coinbra-Cresciumal</i>	39,6	457.094	17.481	122.364
<i>Santo Antonio e São Francisco</i>	31	547.416	20.840	145.879
<i>Alto Alegre</i>	37,2	252.959	9.674	67.718
<i>Cruz Alta</i>	29,8	263.084	10.061	70.427
<i>Santa Adélia</i>	42	580.606	22.204	155.428
<i>Grupo Zillo-Lorenzetti</i>	60,84	1.005.723	55.745	376.420
<i>Equipav</i>	60,5	832.086	31.821	222.748
<i>Moema</i>	24	343.583	13.139	91.976
<i>Cerpa (Usina da Pedra)</i>	40	425.964	16.290	114.031
<i>Interlagos</i>	80	1.493.209	55.697	389.877
<i>Mandu</i>	29,2	616.707	23.320	163.240
<i>Santa Cruz</i>	75	1.190.952	53.145	372.013
TOTAL	1.010,2	12.964.472	521.266	3.648.848

A maioria dos projetos de cogeração analisados utilizou a “*AM0015-Bagasse-based cogeneration connected to an eletricity grid*”, metodologia que esteve válida no período de 22/09/2004 e 28/11/2005. Para cada metodologia utilizada, o Conselho Executivo do MDL estabelece um prazo dentro do qual deve-se requerer o registro do projeto, ou seja, ainda que a metodologia aplicada já esteja em desuso é possível registrar o projeto.

Nos projetos mais recentes e ainda não registrados como no caso das Usinas Interlagos, Mandu e Santa Cruz, as metodologias aplicadas foram diferentes versões das metodologias *ACM0006 “Consolidated methodology for electricity generation from biomass residues”* (que substituiu a *AM0015*) e *ACM0002 “Consolidated methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources”* (esta última foi parcialmente utilizada nos projetos de cogeração já registrados).

Adicionalidade dos projetos e os fatores de emissão

A adicionalidade é critério fundamental para que a atividade de projeto seja elegível ao MDL, e consiste na redução de emissões, ou no aumento de remoções de gases de efeito estufa, de forma adicional ao que ocorreria na ausência dessa atividade, ou seja, no cenário de base. As emissões de linha de base devido ao deslocamento de eletricidade são calculadas pela multiplicação do fator de emissão da linha de base pela eletricidade gerada pela atividade do projeto. Uma vez que os projetos de cogeração visam a exportação de energia elétrica para a rede, é preciso caracterizar o cenário de base das emissões de gases do sistema elétrico brasileiro. Conforme instruções da metodologia utilizada, os responsáveis pelo projeto se encarregam de levantar os dados de emissão por fontes de todos os componentes que servem ao sistema.

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN, em sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. A estrutura e a evolução de produção do SIN em 2006 é apresentada na tabela 6.

No caso dos projetos MDL de cogeração, para fins de cálculo do fator de emissão foram consideradas desconectados o sub-sistema Sul/Sudeste/Centro-oeste do sub-sistema Norte/Nordeste uma vez que a interconexão entre

esses sub-sistemas não permite o intercâmbio de grandes blocos de energia, devido a restrições na capacidade das linhas de transmissão, justificando seu tratamento como dois subsistemas separados. Os proponentes dos projetos MDL de cogeração consideraram ainda que as emissões do sub-sistema S-SE-CO, são representativas em nível nacional por fornecerem mais de 70% de toda a energia elétrica produzida no país, o que de fato está coerente com a estrutura do SIN apresentada anteriormente (tabela 6).

Os proponentes de projetos de cogeração apresentaram alguns fatores de emissão calculados para usinas de energia elétrica por diferentes tipos de fontes, apresentados na tabela 7. A emissão de GEEs por uma usina depende basicamente do tipo de combustível fóssil e de sua taxa de eficiência de conversão, quanto maior essa taxa, menor será a quantidade de CO₂ emitida. Usinas nucleares e hidrelétricas foram consideradas nulas em emissão de GEEs. Fatores de emissão para outros tipos de fontes para fins energéticos não foram relatados. Observa-se grande variabilidade nas taxas de emissão sendo que as maiores são de usinas que utilizam carvão mineral.

Tabela 6. Estrutura e Evolução do Sistema Interligado Nacional em 2006 (Fonte: ONS, 2008).

Sub-sistema	Sudeste/Centro-oeste	Itaipu	Nordeste	Sul	Norte
Produção relativa (%)	47,3	20,6	13,9	9,6	8,6

Tabela 7. Fatores de emissão calculados para termelétricas a combustíveis fósseis
Fonte: Projetos MDL de cogeração com bagaço (CIMCG, 2008)

Tipo de combustível fóssil	Diferentes fatores de emissão para usinas termelétricas (tCO ₂ e/MWh)					
Carvão mineral	1,87	1,6	1,46	1,35	1,29	1,02
Gás natural	0,84	0,8	0,72	0,67	0,63	0,4
Óleo combustível	1,04	0,9	0,82			
Óleo diesel	0,98	0,8				

Feitas as devidas considerações, o fator de emissão foi calculado como sendo a média ponderada das emissões médias das margem de operação e de construção. As emissões médias da margem de operação se referem às fontes que atendem ao sistema, excluindo a geração hídrica, geotérmica, eólica, de biomassa de baixo custo, nuclear e solar. As emissões médias da margem de construção se referem às recentes adições de capacidade ao sistema, calculadas com base em 20% do total anual (em MWh) da geração realizada pelas mais recentes usinas, ou com base na geração anual total das cinco mais recentes usinas. Esses valores foram obtidos a partir dos dados brutos de despacho fornecido pelo ONS para os anos de 2002 a 2004. Finalmente, o fator médio de emissão adotado para determinar as emissões de linha de base nos projetos paulistas de cogeração foi de **0,268 tCO₂e/MWh**.

Em relação aos fatores de emissão, uma grande polêmica se estabeleceu recentemente entre os representantes governamentais do setor elétrico brasileiro e agentes responsáveis pela elaboração de projetos MDL relacionados à fontes renováveis de energia. A CIMGC propôs a sub-divisão do SIN em quatro subsistemas, cada qual com seu respectivo fator de emissão. De acordo com a nova proposta as regiões Sudeste e Centro-Oeste teriam seus fatores de emissão diminuídos dos atuais 0,268 tCO₂/MWh para 0,1043; na região Sul o fator aumentaria para 0,5659 enquanto Norte e Nordeste teriam fator de emissão praticamente nulo. Com tais mudanças, segundo empresas de consultoria na área de MDL tais como Econergy, Ecosecurities e Key Associados, haveria diminuição drástica no volume de créditos de carbono gerados, por exemplo, por projetos de PCH's (Pequenas Centrais Hidrelétricas) e de biomassa – predominantes no Sudeste e Centro-Oeste. Também seriam reduzidos quase que totalmente, os volumes de créditos de carbono gerados por projetos de energia eólica no Nordeste (CARBONO BRASIL, 2009).

Diante de tal polêmica a CIMGC realizou uma consulta pública entre o final de 2007 e início de 2008, com a finalidade de colher comentários e sugestões sobre os novos fatores propostos (CIMGC, 2008). Recentemente, a CIMGC publicou a Resolução de nº 8, de 26 de maio de 2008, determinando a adoção de um *único sistema* como padrão para projetos de MDL que utilizem a ferramenta de cálculo dos fatores de emissão associada à metodologia ACM0002 para estimar suas reduções de emissão de gases de efeito estufa. Os fatores de emissão calculados para o sistema único, para os anos de 2005, 2006, 2007 e para os meses de janeiro e fevereiro de 2008, serão divulgados pela CIMGC conforme a Nota de Esclarecimento publicada pela

Comissão. A partir destas primeiras publicações, o fator deverá sofrer revisões mensais para acompanhar as mudanças que acontecem na matriz energética do país. Com esta variação no fator, os desenvolvedores de projetos podem escolher duas maneiras de considerá-lo para o período total de recebimento de créditos. Uma delas, mais comumente usada no Brasil, é fazer uma média do fator de emissão dos últimos três anos e considerar um valor único para todo o período. Outra maneira é fazer o ajuste anual do total de créditos de carbono, acompanhando a mudança do fator de emissão (CARBONO BRASIL, 2009).

A representatividade dos fatores de emissão é questionada por vários autores por serem calculados com base em valores médios de emissão de outros processos similares, os quais, não necessariamente, têm características tecnológicas idênticas àquelas da atividade que se está avaliando.

Xavier e Magrini (2004) calcularam fatores de emissão e construíram cenários para estimar emissões de CO₂ por Usinas Termoeletricas (UTE's) considerando variáveis de diversas naturezas. No caso das usinas termoeletricas à biomassa, devido à variação do poder calorífico da biomassa e fatores envolvidos no seu cultivo, grandes divergências entre as emissões obtidas são observadas empregando-se os fatores de emissão calculados e aqueles fornecidos pelo IPCC. Quando se consideram ainda, o cultivo e a exploração não sustentável, as divergências nos níveis de emissões calculadas são significativamente muito maiores. Finalizando, a autora recomenda que o levantamento das emissões seja efetuado localmente em cada usina.

Devido à predominância da fonte hidrelétrica em sua matriz energética e, considerando-se o contexto mundial, o Brasil apresenta baixo fator médio de emissão na geração de eletricidade (BOSI; ELLIS, 2005). No entanto, emissões de GEEs resultantes de hidroeletricidade são questionadas em alguns estudos.

Seva Filho (2005; 2007) alerta para que sejam consideradas as emissões de metano resultantes da decomposição anaeróbica de matéria orgânica nos grandes reservatórios de usinas hidrelétricas.

Fearnside (2002; 2004; 2005) afirma que os reservatórios de hidrelétricas, especialmente em áreas de florestas tropicais, produzem emissões significativas de gases de efeito estufa e, embora a incerteza sobre a quantia de

emissão seja alta, a magnitude das emissões envolvidas é suficiente para que afete os níveis globais de gases de efeito estufa.

Recentemente uma equipe de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos-SP, criou um sistema para capturar o metano formado nos reservatórios de usinas hidrelétricas e, com ele, produzir energia elétrica. Estimativas do grupo apontam que, juntas, todas as represas do mundo emitem entre 18 e 24 milhões de toneladas de metano por ano, o que corresponderia a cerca de 5% a 7% desse gás liberado na atmosfera por todas as atividades humanas como, por exemplo, o cultivo de arroz, os aterros sanitários, a mineração de carvão, a extração de petróleo ou a pecuária (VASCONCELOS, 2007).

Tais informações portanto, corroboram a contribuição positiva da cogeração de eletricidade a partir de biomassa na redução de emissões de GEEs. Os projetos MDL de cogeração das usinas paulista evitarão a emissão de cerca de 3,6 milhões de toneladas de CO₂e (tabela 5).

Utilização energética do palhico

Além do bagaço, o setor sucroalcooleiro apresenta outra possibilidade para a cogeração: o palhico da cana-de-açúcar. O palhico é constituído por ponteiros, folhas verdes e palha remanescentes no campo após a colheita da cana-de-açúcar (RIPOLI, 2000). A cogeração com o palhico depende da colheita sem queimada, que é a maior contribuinte para o aquecimento global do setor. À medida em que a colheita mecânica for implementada¹ no estado de São Paulo, a quantidade disponível de palhico irá aumentar e portanto poderia ser usado com a finalidade de produção de energia elétrica, uma vez que seu poder calorífico (12,75 MJ/kg com 15% de umidade) é superior ao do bagaço (7,5 MJ/kg com 50% de umidade) (MACEDO et al., 2004). De acordo com Santos e Ometto (2007) a utilização energética de 60% da palha disponível nos estados da região centro-sul brasileira, poderia gerar aproximadamente 39 milhões de MWh, considerando-se uma produção de 330 milhões de toneladas de cana.

De acordo com representantes da Associação Paulista de Cogeração de

¹ De acordo com o Protocolo Agroambiental assinado entre a UNICA e o governo estadual, o fim da queima será antecipado para 2014 nas áreas mecanizáveis e em 2017 nas áreas não mecanizáveis.

Energia (COGEN, 2008) há um potencial para a safra de 2010/2011 de 4.407 MW aproveitando bagaço e palhiço, contra a média atual de 2.715 MW aproveitando-se somente o bagaço.

Dada a potencialidade do setor sucroalcooleiro de gerar uma maior quantidade de energia elétrica fazendo aproveitamento do palhiço alguns estudos estimaram a quantidade de redução de emissões de CO₂ e consequentemente os ganhos obtidos a partir da venda de créditos de carbono.

Santos e Ometto (2007) afirmaram que a quantidade de CO₂ equivalente a ser reduzida pela substituição da queimada pela colheita crua na região centro-sul do país, desconsiderando o CO₂ absorvido durante o crescimento, seria de aproximadamente 13.848.949 tCO₂e. Além da venda de créditos de carbono, a comercialização de energia elétrica ao preço médio de R\$130,00/MWh seria uma fonte adicional de recursos.

No caso específico das usinas paulistas, Oliveira (2007) estimou em 1.826.688 tCO₂e a quantidade de emissões evitadas para a produção de 1.420 MW excedentes durante o período de safra (220 dias). Caso as usinas venham a operar durante os 365 dias do ano gerando 4.020 MW excedentes, seriam evitadas as emissões de 8.532.691 tCO₂e. O fator de emissão utilizado foi de 0,268 tCO₂e, semelhante ao fator utilizado nos projetos MDL de cogeração. Considerando o preço das RCE's de 15,80 euros, divulgado pela Agência Reuters em abril de 2008, os recursos resultantes da comercialização desses créditos de carbono representariam um volume de 135 milhões e 289 milhões de euros, respectivamente, captados anualmente.

De acordo com o estudo de cenários prospectivos denominado *Matriz Energética Nacional 2030* elaborado pela EPE (2007) as perspectivas para a cogeração serão ampliadas em função do aumento da produção de cana-de-açúcar, esta por sua vez, diretamente ligada ao aumento da demanda por etanol. Os ciclos a vapor de baixa eficiência serão gradualmente substituídos por ciclos mais eficientes, utilizando turbinas de contrapressão, de condensação e de extração além dos ciclos combinados integrados a gaseificadores. Consequentemente, o rendimento energético saltará de 15 KWh para 105 KWh por tonelada de biomassa. Caso seja utilizado o palhiço a produção de energia tende a aumentar em 50% em média. Além disso, o potencial de geração de eletricidade para exportação nas usinas deverá saltar de 350 MW em 2005 para 6.830 MW no ano de 2030.

O *Plano Decenal de Expansão de Energia 2007-2016* elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) indica a possibilidade técnica de substituição integral das termoeletricas a gás natural por centrais de cogeração de cana em toda a região Sudeste do país.

Embora as oportunidades sejam promissoras para a cogeração, existem gargalos técnicos e também nas regulamentações específicas do mercado de energia elétrica. Em relação à queima da palha nas caldeiras, profissionais do setor enfatizam que é preciso considerar itens operacionais importantes tais como: a quantidade de terra contida no palhico, adaptações tecnológicas nos equipamentos utilizados bem como a dinâmica de fornecimento do palhico à caldeira.

A sustentabilidade da atividade cogeneradora

Diante das perspectivas apontadas anteriormente, de expansão da produção e exportação de eletricidade pelo setor sucroalcooleiro, justifica-se uma preocupação em relação aos impactos ambientais e às pressões resultantes dessa atividade, sobre os recursos naturais. Uma vez que a geração de energia elétrica por fontes de biomassa é considerada como atividade contribuinte à mitigação do efeito estufa e à redução das emissões de CO₂, e por essa razão foi aceita como atividade de projeto inserível no MDL, é preciso garantir de fato tais qualidades positivas ao considerarmos um horizonte de ampliação das oportunidades de mercado para essa atividade.

A legislação que restringe gradualmente a queima pré-colheita deverá atuar positivamente para que este resíduo seja incorporado ao sistema de geração de energia nos próximos anos. Por outro lado, já existem tecnologias comerciais que podem levar (comprovadamente) à redução de consumos na área de processos da usina resultando em excedentes de bagaço de até 45%. Estes volumes excedentes de bagaço e palha são grandes no contexto energético; é de se esperar que nos próximos anos sua utilização para energia seja implementada em larga escala. Os custos destes resíduos no Brasil são menores (hoje e no futuro previsível) que os custos em geral de biomassa para energia em muitos outros países (MACEDO, 2007).

Uma vez que a cogeração envolve queima de resíduos agrícolas, pode também, em condições não controladas, contribuir com emissões de GEEs além de poluentes atmosféricos tais como material particulado e óxidos de nitrogê-

nio conforme apontado por diversos autores (BIZZO, 2007; LEME, 2005; PRIMO et al., 2005; ARBEX et al., 2004; COELHO, 1999).

Mesmo sendo a energia proveniente da biomassa uma alternativa renovável aos derivados do petróleo, há questões a serem analisadas a fundo para garantir a sustentabilidade da sua utilização. Temas como a mecanização da colheita em substituição à colheita manual, a utilização dos recursos hídricos no processo, a geração de emprego no campo, devem receber um tratamento adequado nesta análise, para fornecer os subsídios necessários ao aproveitamento sustentável desse recurso (COELHO, 1999).

Os aspectos ambientais mais preocupantes, relacionados à cogeração de eletricidade a partir de bagaço de cana, são a emissão de material particulado, óxidos de nitrogênio, bem como a demanda por água, cujo volume, que já é bastante considerável nos processos industriais, pode vir a aumentar em decorrência da produção de excedentes adicionais de eletricidade pelas usinas paulistas.

Coelho (1999) utilizando como ferramenta a Análise de Ciclo de Vida (ACV), caracterizou as externalidades da atividade cogeradora no setor sucroalcooleiro com a finalidade de calcular os custos desse tipo de eletricidade. Externalidades se referem aos custos ou benefícios que não estão incluídos nos preços; podem incluir tanto os efeitos negativos (danos) como efeitos positivos (benefícios). Na agroindústria da cana de açúcar, existe um considerável número de externalidades, tais como a queimada que precede o corte, a destinação da vinhaça e do bagaço e o padrão de uso dos recursos naturais.

Dentre os aspectos negativos da cogeração, Leme (2005) avaliou as emissões resultantes do uso energético do bagaço e da queima da palha da cana em diferentes cenários para os quais elaborou fatores de emissão indicados na tabela 8.

De acordo com a UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar) na safra 2007/2008 foram colhidas 283 milhões de toneladas de cana-de-açúcar somente no estado de São Paulo. Utilizando os fatores de emissão indicados na tabela 8 e considerando o volume da última safra, os níveis de GEEs, NOx e MP emitidos seriam aqueles indicados na tabela 9.

Segundo Leme (2005) o uso do palhiço como combustível certamente contribuirá para o aumento da produção de cinzas. A geração de cinzas, que ocorre

na queima da biomassa nas caldeiras, depende de dois fatores: a composição química elementar da biomassa e a quantidade de impurezas não combustíveis introduzidas na caldeira. A disposição final das cinzas não deve configurar problema sério, uma vez que a maioria das usinas utiliza sistemas de filtros adequados. O autor calculou em 5 kg por tonelada de cana, a quantidade de cinzas resultantes da queima do bagaço nas caldeiras, assumindo que toda a cinza presente no bagaço se transforme em cinza no interior da caldeira. Consequentemente, se todo o bagaço resultante da safra 2007/2008 foi queimado nas caldeiras, foram gerados aproximadamente 1,4 milhões de toneladas de cinzas nas usinas paulistas. Estudos têm sido conduzidos visando o emprego das cinzas das caldeiras na construção civil (BORLINI et al., 2006; PAULA et al. 2006).

Tabela 8. Fatores de emissão para uso energético do bagaço e queima do palhicho de cana-de-açúcar.

Fonte: LEME (2005)

Tipo de emissão	GEEs (kg CO ₂ e/ton cana)	NOx (kg/ton cana)	MP (kg/ton cana)
Queima da palha no campo	16,5	2,01	3,73
Queima do bagaço na caldeira	6,75	0,15	2,58
Queima da palha na caldeira	5,96	0,18	1,8

Tabela 9: Estimativa de GEEs, NOx e MP emitidos pelo uso energético do bagaço e queima do palhicho de cana-de-açúcar na safra de 2007/2008 no Estado de São Paulo

Tipo de emissão	GEEs (kg CO ₂)	NOx (kg)	MP (kg)
Queima da palha no campo	4.669.500.000	568.830.000	1.055.590.000
Queima do bagaço na caldeira	1.910.000.000	42.450.000	730.140.000
Queima da palha na caldeira	1.686.000.000	50.940.000	509.400.000

Outro recurso ambiental já bastante pressionado pela atividade de cultivo da cana-de-açúcar e que pode vir a ser bastante influenciado pela expansão da cogeração elétrica pelo setor sucroalcooleiro é o recurso hídrico. De acordo com Leme (2005) caso o aumento na cogeração ocorra com turbinas de extração-condensação, haverá aumento do uso e consumo de água porque, apesar não haver aumento na produção de vapor, faz-se necessário um

circuito de torres de resfriamento adicional, para condensar o vapor de escape das turbinas de condensação, que não opera em cogeração. O autor acrescenta ainda que o sistema de condensação de uma usina com moagem de 3 milhões de toneladas, representaria cerca de 2% de todo o uso de água industrial no Estado de São Paulo considerando dados de abastecimento hídrico de 2004.

Levando-se em consideração que o consumo de água nas usinas e destilarias, fica entre 0,7 m³/tc e 20 m³/tc, com a média em 5 m³/tc resulta que o acréscimo no uso de água é significativo, especialmente considerando que ele venha a permanecer durante a entressafra também (LEME, 2005).

É importante considerar que a análise de todos os projetos de cogeração do setor sucroalcooleiro incluídos no MDL, indica que foram instaladas turbinas de condensação, portanto, se as considerações anteriores estiverem corretas, o aumento da demanda por água já está ocorrendo em algumas usinas paulistas.

De acordo com Kanashiro (2007) em 1990 o consumo de água da agroindústria canavieira era aproximadamente de 41% de toda a água destinada ao uso industrial no Estado de São Paulo. Na safra 03/04, o consumo da agroindústria canavieira foi proporcional a 89% de toda a água destinada ao consumo industrial. Ou seja, em um período de cerca de 10 anos, a participação do setor no consumo industrial dobrou.

É também crescente a preocupação com captação de água subterrânea pelo setor canavieiro, tanto para uso industrial quanto para irrigação. De acordo com Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004-2007, a maior pressão sobre esse recurso ocorre no noroeste paulista e está centrada no Sistema Aquífero Bauru (Aquífero Adamantina e Caiuá) e, em cidades de maior porte, no Sistema Aquífero Guarani. Estima-se que existam aproximadamente 30 mil poços tubulares em atividade e várias dezenas de milhares de poços cacimbas e mini-poços no território paulista. É grande a falta de controle na exploração do recurso subterrâneo quando são comparados os prováveis poços existentes em operação no Estado e aqueles outorgados. Considerando-se que haja 30 mil poços, somente 27% deles estão outorgados (DAEE, 2008).

Apesar da relação com alguns impactos ambientais negativos, a cogeração de eletricidade pela agroindústria canavieira apresenta muitos aspectos positivos tais como: geração de eletricidade no período seco quando os níveis

dos reservatórios das usinas hidrelétricas estão baixos; a proximidade dos centros de consumo; aproveitamento ótimo de combustível energético (cana); a capacidade instalada para operação somente na safra (4500 horas); a produção de energia vinculada ao processo de açúcar e álcool; aproveitamento da palha como combustível; participação no MDL; tecnologia nacional; a rápida construção das usinas; expansão do parque nacional de geração termoeletrica (ZANATTO, 2007).

Considerações finais

Além da expansão do cultivo de cana-de-açúcar, que se traduz no aumento da produção de etanol, aumentam também os investimentos na cogeração de energia para exportação de excedentes para o sistema elétrico nacional. Assim a bioeletricidade, obtida a partir de resíduos da cana de açúcar, tende a se firmar no mercado como um novo sub produto da agroindústria canavieira, especialmente no Estado de São Paulo.

O MDL tem se mostrado um mecanismo incentivador de novos investimentos em cogeração de eletricidade pelo setor sucroalcooleiro. Dois grandes argumentos explicam o sucesso dos projetos de cogeração no MDL. No âmbito global, a contribuição na redução de emissões de CO₂ pelo setor energético - o qual, em termos mundiais é o que mais contribui para as emissões de CO₂ - e no âmbito local/regional o aumento na capacidade instalada de geração de termoeletricidade, garantindo um certo nível de independência da hidroeletricidade, principalmente durante a safra.

Perspectivas futuras para a bioeletricidade da cana indicam que existem fatores estimuladores no âmbito do governo federal, tanto em termos de planejamento do setor energético, quanto no âmbito regulatório desse setor, buscando fomentar a participação da eletricidade de biomassa na matriz energética nacional. No entanto, gargalos técnicos, tais como aqueles relacionados ao uso energético do palhicho e à participação do setor no mercado de comércio de eletricidade, necessitam ser solucionados no curto prazo.

Aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental da cogeração de eletricidade devem ser avaliados nos processos de instalação de novas usinas bem como no monitoramento daquelas já existentes. Essa avaliação deve considerar toda a cadeia produtiva da cana de açúcar, tendo a bioeletricidade como um novo produto dessa cadeia.

Referências

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: fev. 2009.

ARBEX, M.A.; CANÇADO, J.E.D.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H.N. Queima de biomassa e seus efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004.

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>.

BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2008 – Ano base 2007. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2008. 52 p.

BIZZO, W.A. **Efeitos das emissões atmosféricas na biomassa para fins energéticos**. Palestra proferida no Fórum Biomassas e Mudanças Climáticas, Auditório da DGA, UNICAMP, Campinas, SP, em 21 de junho de 2007.

BM&F BRASIL – Bolsa de Mercadorias e Futuros. Disponível em: <<http://www.bmf.com.br/portal/pages/MBRE/negociacao.asp>>. Acesso em: set. 2007.

BORLINI, M.C.; MENDONÇA, J.L.C.C.; VIEIRA, C.L.F.; MONTEIRO, S.N. Influência da temperatura de sinterização nas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de cerâmica vermelha incorporada com cinza de bagaço de cana de açúcar. **Revista Matéria**, v. 11, n. 4, p. 435-443, 2006.

BOSI, M.; ELLIS, J. **Exploring options for “Sectoral Crediting Mechanisms”**. Paris: International Energy Agency and Organisation for Economic Co-operation and Development, 2005. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/55/61/34902644.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2008.

BRASIL. MCT – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: ago. 2008.

CARBONO BRASIL. **The energy of nature**. Disponível em: <<http://www.carbonobrasil.com/>> Acesso em: jan. 2009.

CIMGC - Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4016.html>>. Acesso em: fev. 2009.

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa**: Um modelo para o Estado de São Paulo. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

COGEN – Associação Paulista de Cogeração de Energia. Disponível em: <<http://www.cogensp.com.br/cogensp>>. Acesso em: abr. 2008.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. Secretaria de Saneamento e Energia. Governo do Estado de São Paulo. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004-2007**. Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe/arq=/acervoepesquisa/perh/perh2204_2207/perh20042007.htm. Acesso em: 20 jun. 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: abr. 2008

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 133, n. 1-4, p. 69-96, 2002.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. **Climatic Change**, v. 66, n. 1-2, p. 1-8, 2004.

FEARNSIDE, P. M. Hidrelétricas planejadas no rio Xingu como fontes de gases do efeito estufa: Belo Monte (Kararaô) e Altamira (Babaquara). In: SEVÁ FILHO, A. O. (Ed.). **Tenotã-mõ**: alertas sobre as consequências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil. São Paulo: International Rivers Network, 2005. p. 204-241.

IEA - International Energy Agency. **Contribution of renewables to energy security**. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/papers/2007/so_contribution.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2007.

KANASHIRO, I. **A sustentabilidade do consumo da água na produção do etanol no Estado de São Paulo**. Palestra proferida no I Encontro Internacional sobre Governança da Água na América Latina. Depto. de Geografia, USP, São Paulo, SP, 29 de outubro a 01 de novembro de 2007. Disponível em: <<http://www.usp.br/procam/govagua/resumos.php?letra=I>>. Acesso em: mar. 2008.

LEME, R. M. **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

LOHMANN, L. **Carbon trading: a critical conversation on climate change, privatisation and power**. Uppsala: Dag Hammarskjöld Foundation, 2006. 360 p. (Development Dialogue, n. 48).

MACEDO, I.C. (Org.). **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade**. 2. ed. São Paulo: UNICA, 2007. 235 p.

MACEDO, I. C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E.A.R. **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, 2004. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/multimedia/publicacao/>>.

MACIEL, T.S.; CABAÑAS, L.A. Aplicabilidade do mercado de carbono na cogeração de energia no setor sucro-alcooleiro. In: ENGEMA - ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 9., 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2007. CD-ROM.

OLIVEIRA, J.G. **Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar**: potencial do mercado de carbono para o setor sucro alcooleiro paulista. 2007. 160f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

O mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL: guia de orientação. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002. 90 p. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>>.

ONS – Operador Nacional do Sistema. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/resumo_operacao.aspx>. Acesso em: 28 mar. 2008.

PAULA, M.O. **Potencial da cinza de bagaço da cana de açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado) – UFV, Viçosa, MG.

PRIMO, K.R.; SALOMON, A.R.; TEIXEIRA, F.N.; LORA, E.S. Estudo de dispersão atmosférica dos óxido de nitrogênio (nox) emitidos durante a queima de bagaço em uma usina de açúcar. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 1, p. 79-90, 2005.

REN21. **Renewables 2007 global status report**. Paris: REN21 Secretariat; Washington, DC: Worldwatch Institute, 2008. Disponível em: <<http://www.ren21.net/globalstatusreport/default.asp>>. Acesso em: 01 mar. 2008.

REUTERS. **Carbon market community**. Disponível em: <<http://www.reutersinteractive.com/Carbon>>. Acesso em: 07 abr. 2008.

RÍPOLI, T.C.C.; MOLINA Jr., W.F.; RÍPOLI, M.L.C. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, p. 677-681, 2000.

SANCHES, C.S. **Mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto**: há perspectivas para o setor sucro-alcooleiro paulista? 2003. Tese (Doutorado) - Escola de Administração de Empresas, Fundação Getulio Vargas, São Paulo.

SANTOS, L.O.M.; OMETTO, A.R. Ganhos potenciais de cogeração e de créditos de carbono através da palha da cana: uma perspectiva para a indústria sucroalcooleira. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE ENGENHARIA PARA ENERGIA SUSTENTÁVEL EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO, 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2007. CD-ROM.

SEVA FILHO, A. O. Conhecimento crítico das mega-hidrelétricas: parta avaliar de outro modo alterações naturais, transformações sociais e a destruição dos monumentos fluviais. In: SEVA FILHO, A. O. (Org.). **Tenotã Mõ**: alertas sobre as consequências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu. São Paulo: International Rivers Network, 2005. p. 281-295.

SEVA FILHO, A.O. **Sismicidade, riscos de acidentes e alterações atmosféricas em represas**. Palestra apresentada no Fórum Permanente em Energia e Ambiente, UNICAMP, Campinas, SP, em 02 de maio 2007.

SOUZA, Z. J. ; AZEVEDO, P. F. Energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir de usinas paulistas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, p. 20-35, 2006.

SOUZA, Z.J.; AZEVEDO, P. F. Protocolo de Kyoto e co-geração no meio rural: configuração institucional e organizacional e perspectivas. In: AGRENER GD 2006 - CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas : Unicamp, 2006. v. 1, p. 1-15.

UDOP - União dos Produtores de Bioenergia. Disponível em: <http://www.udop.com.br/geral.php?item=mapa_bra>. Acesso em: 26 maio 2008.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/index.html>>. Acesso em: jan. 2009.

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: ago. 2008.

VASCONCELOS, Y. Metano acumulado em hidrelétricas pode gerar mais energia elétrica. **Pesquisa Fapesp**, n. 138, p. 36-37, ago. 2007. Disponível em: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/novo_site/extras/imprimir.php?id=3309&bid=1>

WALTER, A. C. S. Potencial de geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana: oportunidades, desafios e ações necessárias. In: WORKSHOP DE PESQUISA SOBRE COGERAÇÃO. **Termo de Referência**. Campinas: UNICAMP, 2008. Disponível em: <<http://www.apta.sp.gov.br/cana>>. Acesso em: 25 jan. 2008.

WALTER, A.C.S.; NOGUEIRA, L.A.H. Produção de eletricidade a partir de biomassa. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S. E GÓMEZ, E.O. (Org.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. 736 p.

XAVIER, E.E.; MAGRINI, A. **Termoeletricidade no Brasil – Proposta metodológica para inventário das emissões aéreas e sua aplicação para o caso do CO₂**. 2004. Disponível em : <<http://www.ebape.fgv-FET-030.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2008.

ZANATTO, C. Aspectos legais, regulatórios e tributários na cogeração. In: SEMINÁRIO COGERAÇÃO DE ENERGIA A BAGAÇO DE CANA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2007, São Paulo. **Anais...** Disponível em: <<http://www.saneamento.sp.gov.br/bioenergia.html>>. Acesso em: 23 jun. 2008.