

MECANIZAÇÃO DO CORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO FATOR DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO PARANÁ: UMA ANÁLISE DE CENÁRIO

Otmar Plec¹

Fabiola Juliana Rubim de Andrade²

Eliane Aparecida Favarim³

Carlos Alberto Piacenti⁴

PLEC, O.; ANDRADE, F. J. R.; FAVARIM, E. A.; PIACENTINI, C. A., Mecanização do corte da cana-de-açúcar como fator de sustentabilidade ambiental no Paraná: uma análise de cenário. **Rev. Ciên. Empresariais da UNIPAR**, Umuarama, v. 8, n. 1 e 2, p. 53-72, jan./dez. 2007.

RESUMO: O objetivo deste artigo foi estimar a produção de cana-de-açúcar até 2020 no Paraná, através do modelo log-lin e de tendência linear, prevendo-se a redução da emissão de CO₂ a partir da mecanização da colheita. Como corolário, verificou-se que, com a mecanização da colheita em 100%, 80% ou 50%, o estado poderá obter, com a negociação de créditos de carbono, uma receita de 174, 139 ou 87 milhões de euros no ano 2020 (a preços atuais), respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar. Tecnologias. Crédito de carbono.

CLASSIFICAÇÃO JEL: Q16. Q56. O13. C13.

MECHANIZATION OF THE SUGAR CANE HARVESTING AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN PARANÁ STATE: A SCENARIO ANALYSIS

ABSTRACT: The purpose of this article was to estimate the production of sugar cane by 2020 in Paraná State, through the model log-lin and linear trend,

¹ Administrador e Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agonegócios na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste-Toledo), Professor na Faculdade Sul Brasil (Fasul), Campus Toledo. Rua Emilio de Menezes, 446, Vila Ind. Toledo. CEP 85904-040. E-mail: otmarplec@yahoo.com.br

² Economista e Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agonegócios na Unioeste-Toledo. Rua São Luiz, 3012, Recanto Tropical, Cascavel/PR. CEP 85807-110. E-mail: frubim@yahoo.com.br

³ Administradora e Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agonegócios na Unioeste-Toledo. Professora na Faculdade Luterana de Marechal Cândido Rondon (Falurb). Rua XV de Novembro, 995, Centro, Marechal Cândido Rondon/PR. CEP 85960-000. E-mail: elianefavarim@yahoo.com.br

⁴ Professor Assistente do Curso de Ciências Econômicas da Unioeste-Toledo. Rua da Faculdade, 645. CEP 85903-000. Toledo, PR. Pesquisador do GEPEC. E-mail: piacenti8@yahoo.com.br

foreseeing the reduction of CO₂ emission from the mechanization of the harvest. As a corollary, it was found that with the mechanization of the harvest by 100%, 80% or 50%, the State could achieve, through trading carbon credits, a revenue of 174, 139 or 87 million of euros in 2020 (current prices), respectively.

KEYWORDS: Sugar cane. Technologies. Carbon credit.

JEL CLASSIFICATION: Q16. Q56. O13. C13.

MECANIZACIÓN DEL CORTE DE LA CAÑA DE AZÚCAR COMO FACTOR DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN PARANÁ: UN ANÁLISIS DE ESCENARIO

RESUMEN: El objetivo de este artículo fue estimar la producción de caña de azúcar hasta el año 2020 en Paraná, a través del modelo log-lin y de tendencia lineal, previéndose reducción de la emisión de CO₂ a partir de la mecanización de la cosecha. Como corolario, se verificó que, con la mecanización de la cosecha en 100%, 80% o 50%, el Estado podrá obtener, con la negociación de créditos de carbono, un ingreso de 174, 139 o 87 millones de euros en el año 2020 (a precios actuales), respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Caña de azúcar. Tecnologías. Crédito de carbón.

CLASIFICACIÓN JEL: Q16. Q56. O13. C13.

1 INTRODUÇÃO

Trazida ao Brasil-Colônia pelos portugueses, a cana-de-açúcar faz parte da história do país desde aquela época (ANDRADE, 1994). Castro (2005) afirma que o Brasil se tornou importante abastecedor das necessidades açucareiras do Ocidente, devido a um fator relevante ocorrido na década de 1960, quando houve o banimento de Cuba (que ocupava o segundo lugar em produção de cana das Américas) da Organização dos Estados Americanos (OEA). Com o significativo aumento da demanda pelos derivados da cana-de-açúcar, houve estímulos ao avanço de inovações tecnológicas, apontando a década de 1970 como uma época de fomento à modernização. Entidades como a COPERSUCAR (Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo), o IAC (Instituto Agrônômico de Campinas) e o IAA (Instituto do Açúcar e do Álcool) foram alguns dos responsáveis por esse progresso.

Com efeito, devido a desajustes entre a oferta e demanda, a década de 1970 culminou com a elevação dos preços do açúcar no comércio externo. Com os recursos advindos desse aumento, foi criado, pelo IAA, o FUNPROÇUCAR, que financiou a modernização das indústrias, sendo que uma parcela das usinas foi remodelada. Isto foi fundamental para o Brasil enfrentar as crises do petróleo

que se seguiram a partir de 1973, porquanto proporcionou a remodelação da capacidade produtiva deste setor. Com essa crise, a economia mundial começou a valorizar a energia da biomassa, reforçando ainda mais o cultivo da cana-de-açúcar. Desse modo, foi implementado em 1975 o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), que incentivou a produção e uso do álcool como combustível em substituição à gasolina.

Este Programa alavancou o desenvolvimento de novas regiões produtoras no Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em menos de cinco anos, a produção de pouco mais de 300 milhões de litros ultrapassou a cifra de 11 bilhões de litros, caracterizando o PROÁLCOOL como a maior estratégia de energia renovável já estabelecida em termos mundiais, economizando mais de US\$ 30 bilhões em divisas (PINHEIRO MACHADO, 2006).

Conforme Shikida (1998), a agroindústria canavieira, analisada como o conjunto combinado pela parte agrícola produtora de cana-de-açúcar e pela parte industrial processadora dessa matéria-prima, enfrentou basicamente três fases de desempenho definidas pelo PROÁLCOOL. O período de 1975 a 1979 caracteriza a fase de desenvolvimento moderado e de predominância do modelo subvencionista, com ênfase para a produção de álcool anidro. O segundo período, que compreende 1980 a 1985, foi marcado pelo crescimento acelerado, com ênfase para a produção de álcool hidratado. Por fim, a terceira fase, que abrange o período de 1986 a 1995, caracteriza-se pela desaceleração e crise do Programa, além do início do processo de desregulamentação estatal.

Consolida-se, na década de 1990, o processo de abertura comercial, bem como o efeito da globalização e de desregulamentação do mercado, modificando os modelos de produção do país. Nesse novo cenário, o setor agropecuário nacional procurou alternativas a fim de garantir seu poder de competitividade no mercado. Nessa mesma década ocorreram relevantes alterações no ambiente institucional sucroalcooleiro, como o processo de desregulamentação e afastamento do Estado da economia, que resultou na extinção do IAA. Esta desregulamentação afetou toda a agroindústria canavieira. Conforme Shikida (1998), esse período marca um ponto de inflexão na economia canavieira: é a mudança do paradigma subvencionista para o paradigma tecnológico. A partir daí os produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool passam a dirigir maior atenção aos custos de produção, ao incremento de novas tecnologias e à aplicação econômica dos subprodutos, como forma de se postar diante de uma situação de concorrência de mercado.

Atualmente, os dados da Companhia Nacional do Abastecimento – CONAB (2008) demonstram que a atividade canavieira no Brasil vive uma das melhores fases de sua história. Haja vista que a safra de cana-de-açúcar de 2007/08 foi superior à do ano anterior em todas as regiões, com uma colheita de 547,2 mi-

lhões de toneladas (um aumento de 15,2% em relação à safra anterior). Cerca de 53% do esmagamento será direcionado ao setor alcooleiro, cuja extração deverá produzir 21,3 bilhões de litros de álcool. Os 47% restantes serão direcionados à fabricação de 30 milhões de toneladas de açúcar. A área cultivada também ficou 12,3% acima do total, em relação ao período de 2006/2007.

Inserida neste contexto, a agroindústria canavieira do Paraná está cada vez mais em busca de novas tecnologias, ocupando posição de liderança nacional em relação à produtividade média. Isto, segundo Shikida et al. (2007), é decorrente de vários fatores, como as condições edafoclimáticas favoráveis para a cultura de cana, além de contar com aparatos de pesquisa.

Para identificar o processo da mecanização do corte da cana-de-açúcar no Paraná, além das análises quantitativas da produção, se dará ênfase aos fatores qualitativos que a mecanização possibilitará. Com tal propósito, será analisada neste artigo a economia de produção de CO₂ com a redução das queimadas pré-corte da cana, diante de uma tendência de mecanização de sua colheita, fazendo-se uma projeção, até 2020, de quanto se poderá ganhar com os créditos de carbono originários dessa tecnificação introduzida nas grandes lavouras de cana-de-açúcar. Para tanto, utilizar-se-ão os modelos log-lin e de tendência linear (GUJARATI, 2006).

Com esta temática, o presente artigo está estruturado em seis seções, sendo esta introdução inclusa. Na segunda seção realiza-se um breve resumo de literatura sobre a mecanização do corte da cana-de-açúcar no contexto brasileiro, para em seguida delimitar a análise no Paraná (na terceira seção). Na quarta seção considera-se o fator ambiental com as exigências do Protocolo de Quioto. Apresentam-se os procedimentos metodológicos da pesquisa e as discussões a partir dos resultados obtidos na quinta seção. A sexta seção sumariza esta pesquisa com as considerações finais.

2 BREVES NOTAS SOBRE A MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Toda riqueza oriunda do agronegócio brasileiro sustenta parte significativa da economia e proporciona condições necessárias para um melhor desenvolvimento. Este setor como um todo envolve mais de 1/3 do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e na década de 1990 a produção agropecuária aumentou 40% (CONAB, 2008).

A agroindústria canavieira está inserida nesta realidade de tal forma, que a sua produtividade agrícola e industrial é incontestemente mundialmente (UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO – UNICA, 2008). Segundo Farina e Zylbersztajn (1998) e Ramão et al. (2007), as tecnologias empre-

gadas no sistema agroindustrial da cana-de-açúcar são vitais à economia, mas a grande mudança tecnológica que está ocorrendo neste sistema é a incorporação da mecanização da colheita.

No que se refere à mecanização, os contornos do padrão moderno de cultivo da cana-de-açúcar possui três dimensões articuladas: tecnológica organizacional e a que trata da relação com as unidades para dentro e para fora do complexo sucroalcooleiro, sendo imprescindíveis algumas alterações nas áreas agrícolas e industriais, inclusive na articulação de ambas (SILVA, 2002).

Conforme afirmam Vieira e Simon (2005), na década de 1970, buscava-se implantar novas técnicas na cultura canvieira e prover a deficiência de mão-de-obra decorrente da grande ampliação da lavoura. O corte mecanizado auferiu lugar nesse período, quando se desenvolveram pioneiramente as colheitadeiras que cortam, picam, limpam e transportam a cana em operações integradas. Entretanto, a mecanização da colheita da cana-de-açúcar nas lavouras brasileiras recebeu maior investimento somente a partir da década de 1990, com a desregulamentação.

Vale ressaltar que a mecanização das lavouras canvieiras não se dissemina com a mesma intensidade nas diferentes regiões. Isso se deve ao fato de que a tecnologia das colheitadeiras utilizadas ainda não possibilita a total mecanização da colheita, devido a especificidades topográficas, variedades da cana-de-açúcar e, em alguns casos, excesso de mão-de-obra disponível (VIEIRA; SIMON, 2005). No entanto, percebe-se que, nos últimos anos, houve um avanço significativo nas tecnologias das colheitadeiras, que vem permitindo o uso crescente deste tipo de colheita (RAMÃO et al., 2007).

Com a utilização de colheitadeiras é possível um aumento na produtividade e qualidade da matéria-prima, reduzindo os custos entre 50 e 60% em relação ao custo total da produção agrícola. A mecanização da colheita da cana requer que sejam consideradas algumas especificidades físicas, técnicas e de produtividade, para justificar o uso de máquinas, que não deve superar os custos do corte manual (SCOPINHO et al., 1999), Segundo Soares (2007), a colheita mecânica apresenta economia em relação ao custo da colheita manual, em função do avanço da produtividade, isso porque a colheita mecânica pode alongar-se por 24 horas contínuas.

Veiga Filho (1995 e 1999), afirma que a passagem do corte manual da cana-de-açúcar para o mecânico representa mais do que a mera alteração de uma tecnologia por outra. Significa ajustar e aperfeiçoar elementos incluídos no projeto, desde o manejo do cultivo até o dimensionamento dos equipamentos, incluindo o treinamento da mão-de-obra envolvida, bem como as alterações no transporte e na recepção da cana na indústria.

Atualmente, segundo Braunbeck e Oliveira (2006), em função do apro-

veitamento da palha para aplicações ainda não firmadas comercialmente, tais como geração de energia e cobertura vegetal para agricultura convencional ou orgânica, o processo de colheita da cana vem sofrendo mudanças visando o seu aproveitamento integral. A mecanização total ou parcial representa uma opção para a colheita que atende, simultaneamente, aos requisitos ambientais e de viabilidade econômica do setor. Modernas formas de concorrência validadas pelas mudanças advindas no ambiente institucional influenciam o estabelecimento de novos padrões tecnológicos na produção da cana-de-açúcar.

Frente às exigências das forças nacionais e internacionais pela melhoria das condições ambientais e trabalhistas, em negociações entre usineiros de São Paulo com o governo, foi aprovada em 2002 a Lei 11.241, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar que antecede o corte manual (áreas agricultáveis com mais de 12% de declividade e propriedades com menos de 150 hectares estão excluídas da Lei), e uma vez extinta a queima da palha só é possível colher a cana mecanicamente (FURTADO, 2002).

A partir deste contexto, a agroindústria canavieira paranaense compreende que a produção com sustentabilidade social, econômica e ambiental é fundamental para o desenvolvimento do país e para a lucratividade do setor, buscando, com isso, se inserir na nova realidade técnica que é a mecanização do corte da cana-de-açúcar (RAMÃO et al., 2007).

3 A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA NO PARANÁ E A MECANIZAÇÃO DA COLHEITA

O Estado do Paraná classifica-se como o segundo maior produtor nacional de cana-de-açúcar (com 40.369.063 toneladas de cana colhida, aproximadamente 8,2% do total colhido no Brasil na safra 2007/2008, com 8,2% do total produzido de álcool e 8,3% do total produzido de açúcar), a qual se desenvolve principalmente em suas regiões norte e noroeste. Seu cultivo emprega cerca de 80 mil pessoas em 30 estabelecimentos (usinas e destilarias) e vem crescendo sobre as terras férteis do Estado (486.127 hectares cultivados com cana), consolidando-se como uma das culturas mais importantes do agronegócio paranaense (ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE ÁLCOOL E AÇÚCAR DO ESTADO DO PARANÁ - ALCOPAR, 2008).

Há estimativa de que a safra paranaense de cana-de-açúcar de 2008/09 será mais alcooleira do que açucareira. Este fato é justificado principalmente devido às baixas cotações internacionais do açúcar e do significativo aquecimento na fabricação e venda de automóveis com tecnologia de motor *flex*, que permite o uso de álcool, gasolina ou a mistura de ambos em quaisquer proporções (SHIKIDA et al., 2007).

A vantagem do motor *flex* está ligada à questão ambiental. Essa tecnologia representa uma alternativa frente aos combustíveis fósseis, notadamente considerando o alto preço do petróleo. Ademais, o uso do álcool reduz significativamente a emissão de carbono na atmosfera, atendendo às expectativas do Protocolo de Quioto. Aportado no interesse de alguns países desenvolvidos de implementar, de imediato, as determinações e metas acordadas por meio desse Protocolo, as possibilidades do aumento no interesse do mercado mundial do álcool são grandes.

A partir da aprovação da Lei 11.241 em São Paulo, em 2002, amplia-se também a mecanização nos demais estados produtores de cana-de-açúcar. Torna-se evidente que os transbordamentos da legislação e do padrão de produção paulista em outros estados brasileiros já estão sendo sentidos. No Paraná, a queima da palha de cana-de-açúcar será proibida em todo território estadual, caso seja aprovado na Assembléia Legislativa um projeto de Lei encaminhado em maio de 2007. A medida legal deverá ser analisada pelas Comissões Permanentes e, em seguida, será enviada para votação. O projeto de Lei propõe que a proibição total da queima da palha de cana-de-açúcar seja iniciada em 31 de dezembro de 2010, antes disso a eliminação dos resíduos deverá seguir alguns procedimentos, tais como distância mínima de um quilômetro da área urbana, 100 metros do limite das áreas de domínio de subestações de energia elétrica e 50 metros contados ao redor do limite de estação ecológica etc. (PRAZERES, 2007; JUNQUEIRA et al., 2008).

Neste ínterim, a colheita mecanizada apresenta vários problemas econômicos e operacionais. O problema econômico maior começa pelo alto preço das máquinas. Uma frente de trabalho mecanizado requer, segundo Soares (2007), os seguintes equipamentos: colheitadeira, trator, equipamento de transbordo, cavalo mecânico, caminhão-prancha e caminhão-bombeiro, representando – para as usinas – investimentos de 2 milhões de reais por frente de trabalho.

De acordo com Furtado (2002), os problemas operacionais são referentes, principalmente, ao processo agrícola, pois em função da altura do corte realizado pelas lâminas da colheitadeira, o comprimento da cana pode ser menor que o obtido manualmente, o que representaria uma perda direta. Igualmente, devido ao espaçamento da cultura, um dos lados da máquina colheitadeira roda sobre a linha de cultivo, o que aumenta a densidade do solo e leva a uma rebrota menos uniforme.

Braunbeck e Oliveira (2006) explicitam que se deve considerar que terrenos com alta declividade apresentam dificuldades à colheita mecânica, pois a inclinação do terreno provoca o escorregamento do eixo traseiro dos veículos, disso resultando um desalinhamento da colheitadeira com a fileira de cana, dificultando o processo de alimentação da máquina. Esta condição é a principal res-

ponsável pelas áreas canavieiras consideradas não-aptas para a colheita mecanizada. Contudo, cabe destacar os esforços realizados pelos usuários e fabricantes para adaptar as máquinas aos mais diversos terrenos e condições de colheita.

Segundo compilação feita por Alves (2006), Anselmi (2006) e Ramão et al. (2007), a produtividade do trabalho no corte de cana manual, medida em toneladas por dia/homem ocupado na atividade, atingiu 12 toneladas de cana/dia, isto no final da década de 1990 e início da década de 2000. A produtividade de uma colheitadeira é de 750 toneladas de cana/dia, em média, mas segundo o fabricante *John Deere*, a produtividade já chega, em alguns modelos, a 1.220 toneladas de cana colhidas por dia. Considerando que um cortador braçal possa colher 12 toneladas de cana/dia, uma máquina apenas pode substituir o corte manual de 100 homens em um dia de trabalho.

4 PROTEÇÃO AMBIENTAL

A constante degradação do meio ambiente tem provocado, como principal consequência, a intensificação do efeito estufa, fenômeno natural que, por meio da concentração de determinados Gases de Efeito Estufa (GEEs) na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO_2), o ozônio (O_3), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), mantém uma temperatura estável no Planeta. Este efeito tem provocado grandes debates entre líderes mundiais, com o propósito de buscar uma solução emergencial para resolvê-lo (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT, 2004).

Para Braz (2003), a preocupação com o meio ambiente começou a ser debatida entre os países em 1972, com a Conferência de Estocolmo. A questão do aquecimento global, todavia, começou a adquirir maior importância em 1979, com a realização da Primeira Conferência Mundial sobre o Clima pela *World Meteorological Organization* (WMO) das Nações Unidas. Os países participantes chegaram à conclusão de que a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento, as mudanças no uso do solo e a grande industrialização aumentaram a quantidade de GEEs na atmosfera.

Em 1990 houve a elaboração do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), traduzindo-se na constituição do Comitê Negociador Internacional para uma Convenção sobre Mudança do Clima. Durante a década de 1990, o IPCC foi referência na formação de opinião pública internacional sobre a mudança climática, fornecendo subsídios para a condução das negociações no âmbito da Convenção. Assim, foi introduzida a dimensão ambiental na agenda política internacional, passando a condicionar, no modelo de crescimento econômico, o uso racional dos recursos naturais.

Em 1992 foi sediada no Rio de Janeiro, a ECO-92, ou RIO-92, com a

adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Este foi um passo importante para que as organizações internacionais adotassem providências para estabilizar ou mesmo para reduzir os GEEs. Esta Convenção estabeleceu compromissos distintos para cada grupo de países, distinção feita devido às condições socioeconômicas diferenciadas, entendendo-se que somente por meio da cooperação internacional é que se poderia resolver o problema do aquecimento global. Entendeu-se, também, que os países desenvolvidos, sendo os maiores responsáveis pelas emissões de GEEs na atmosfera, deveriam desencadear ações mais imediatas para amenizar o problema (MCT, 2004).

Dessa feita, em 1997, várias nações assumiram o compromisso de reduzir os GEEs, assinando um documento chamado Protocolo de Quioto. Apesar de lançado naquele ano, foi somente em 2005, com a adesão da Rússia, que ele entrou em vigor. Os países desenvolvidos se comprometeram a reduzir, no período de 2008 a 2012, ao menos 5% das emissões dos GEEs (em relação aos níveis de 1990). A criação de mecanismos de mercado para a redução de emissões de gases de efeito estufa foi o diferencial que tornou o Protocolo de Quioto mais aceitável, especialmente ao permitir que a redução de emissão seja feita em projetos nos países em desenvolvimento (*UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC*, 1997).

Estes mecanismos originaram a criação de um novo tipo de negócio mundial, a comercialização de créditos de carbono, que, segundo a Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F, 2005), trata-se de um papel negociado por bancos e por bolsas de valores que valerá muito dinheiro e impulsionará investimentos em projetos de proteção ambiental em várias regiões do mundo.

4.1 O MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O artigo 12 do Protocolo de Quioto define o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), tendo como objetivo maior o desenvolvimento sustentável, com comprometimento de limitação e redução de emissões dos GEEs. Assim, os interessados beneficiar-se-ão de atividades de projetos que resultem em reduções certificadas de emissões. Este processo se dá mediante investimentos em tecnologias mais eficientes, substituição de fontes fósseis por renováveis, e racionalização do uso de energia e reflorestamento, devendo conduzir a resultados mensuráveis e estar exclusivamente relacionados a determinados tipos de gases e setores responsáveis pela maior parte das emissões (GODOY, 2005).

A quantidade de reduções de GEEs atribuídas a uma atividade resulta em Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), medidas em toneladas métricas de dióxido de carbono (CO₂) equivalente. Seu sistema garante às economias emergentes a oportunidade de modernizar seu parque energético, contribuir para

o desenvolvimento sustentável, diminuir a emissão de GEEs e, ainda, obter receita com os créditos de carbono (SOUZA, 2007).

4.2 Mercados de créditos de carbono

O comércio de créditos de carbono é um mecanismo de flexibilização criado pelas partes contidas no Protocolo de Quioto. Esse comércio funciona de acordo com o artigo 17 do Protocolo, que, além de instituí-lo, também o define como um projeto de implementação conjunta, sendo que cada projeto deve ser aprovado, registrado e monitorado. A cada avaliação, determinado projeto gera uma quantidade de CO₂ que deixa de ser emitida. Essa quantidade retirada ou reduzida se constitui um crédito de carbono. Caso o projeto não tenha sido financiado por instituição que desejasse usar esses créditos no cumprimento de metas de seu país, eles podem ser vendidos a outros interessados em cumprir suas metas, segundo o Protocolo (UNFCCC, 1997; GODOY, 2005).

O mercado de emissões de crédito de carbono é dividido em três: a) primário, que consiste na permissão do governo por meio de leilões ou *grandfathering rules*; b) secundário, que consiste na compra e venda das permissões; c) derivativos ou mercado futuro, que é a compra e venda dos produtos financeiros cujos valores derivam dos outros dois mercados.

Segundo Souza (2007), o Brasil, devido à sua grande extensão territorial e ao pioneirismo em estudos de maior eficiência energética, vem despontando com grande potencial de receber investimentos para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Outra razão favorável é o fato de a área energética ter sido a que apresenta melhores resultados de geração de créditos de carbono e redução de emissão de GEEs. Outro fato a ser destacado é que o pioneirismo leva o Brasil a ser procurado por interessados na tecnologia do etanol, sendo que, no mercado de crédito de carbono, estima-se que o Brasil captará cerca de 10% deste total.

Não obstante, a comercialização de créditos do carbono ainda é incipiente no Brasil e o preço é formado em função do valor a se pagar. O mercado, porém, está se ajustando a esta inovação e o governo tem efetuado financiamentos específicos para projetos que utilizem o MDL. Destaca-se, entre as iniciativas, a BM&F, que tem lançado projetos com o intuito de transacionar os créditos de carbono, negociando-os através das bolsas de valores. No caso, a quantificação é feita com base em cálculos que demonstram a quantidade de CO₂ a ser removida ou a quantidade de gases de efeito estufa que deixará de ser lançada na atmosfera com a efetivação de um projeto (está convencionado que cada crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente) (BM&F, 2005).

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E CÁLCULOS

Os dados analisados foram coletados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento - IPARDES (2008) e ALCOPAR (2008) e se referem à produção de cana-de-açúcar no Estado do Paraná entre 1990 e 2006. Os modelos econométricos empregados foram os modelos log-lin e de tendência linear. O intuito é o de estimar a taxa de crescimento da produção de cana-de-açúcar paranaense, ressaltando o modelo que melhor se ajusta para uma projeção futura.

5.1 Modelo log-lin

Segundo Gujarati (2006), o modelo log-lin estima a taxa de crescimento da produção de cana-de-açúcar com uma taxa geométrica, sendo utilizada a seguinte fórmula:

$$Y_t = Y_0(1 + r)^t \quad (1)$$

em que:

Y_t = a produção de cana-de-açúcar no período;

Y_0 = valor inicial da produção de cana-de-açúcar;

r = taxa de crescimento composta ou geométrica de Y ao longo do tempo.

Neste sentido, a fim de linearizar a expressão, recorrendo ao logaritmo natural, é encontrado:

$$\ln(Y_t) = \ln Y_0 + t \ln(1 + r) \quad (2)$$

substituindo:

$\ln(Y_0)$ por β_1

$\ln(1+r)$ por β_2

é encontrado:

$$\ln(Y_t) = \beta_1 + \beta_2 t \quad (3)$$

Com os dados da produção paranaense de cana-de-açúcar (1990 a 2006), o resultado para o modelo log-lin é:

$$\beta_1 = 16,3028$$

$$\beta_2 = 0,0672$$

substituindo-se na expressão 2, tem-se:

$$\ln(Y_t) = 16,3028 + 0,0672 t$$

A interpretação desta equação é a de que nesse período a produção de cana-de-açúcar no Estado do Paraná cresceu 6,72% ao ano.

Com o intuito de medir o ajustamento da variação total da produção de cana-de-açúcar pelo modelo log-lin, foi medido o valor R^2 (coeficiente de determinação) e o valor encontrado foi:

$$R^2 = 0.883518$$

Isso significa que o modelo em questão tem uma qualidade de ajustamento de aproximadamente 88%.

Foi também analisado o modelo de tendência linear, para se ter um comparativo de qual seria o melhor modelo a ser utilizado.

5.2 Modelo de tendência linear

O modelo de tendência linear utiliza a seguinte fórmula:

$$Y_t = Y_0 + r * t \quad (4)$$

em que:

Y_t = produção de cana-de-açúcar no período;

Y_0 = valor inicial da produção de cana-de-açúcar;

r = taxa de crescimento composta ou geométrica de Y ao longo do tempo.

Os resultados do ajustamento do modelo de tendência linear são:

$$Y_0 = 10.581.319$$

$$r = 1.414.343$$

substituindo a expressão (4) é obtido:

$$Y_t = 10.581.319 + 1.414.343 * t$$

O percentual da variação total de Y , explicada pelo modelo de tendência linear é:

$$R^2 = 0.918512$$

Ou seja, superior ao modelo log-lin, que foi de 0.883518.

Segundo Gujarati (2006), não se pode concluir qual o melhor modelo de regressão comparando os valores de R^2 . O valor obtido pelo modelo log-lin mede a proporção da variação de $\ln(Y)$, já o modelo de tendência linear, o valor de Y . Uma vez que os valores de Y são todos positivos, obtêm-se os logaritmos dos valores de $Y(\ln Y)$. O próximo passo transforma em logaritmos os valores estimados de $Y(\ln \hat{Y}_t)$ e calcula o R^2 entre $(\ln Y_t)$ e $(\ln \hat{Y}_t)$, cujo resultado $R^2 = 0,931789$ mostrou-se ainda mais a favor do modelo de tendência linear.

A expressão usada para o ajuste de R^2 foi:

$$R^2 = \left[\sum (\ln Y_t - \ln Y_{med}) (\ln \hat{Y}_t - \ln \hat{Y}_{med}) \right]^2 / \sum (\ln Y_t - \ln Y_{med})^2 \sum (\ln \hat{Y}_t - \ln \hat{Y}_{med})^2$$

em que:

$\ln Y_{med} = \ln$ da média dos Y reais;

$\ln \hat{Y}_{med} = \ln$ da média dos Y estimados;

$\ln Y_i = \ln$ do Y real;

$\ln \hat{Y}_i = \ln$ do Y estimado.

5.3 Projeções e estimativas da pesquisa

É fundamental, aqui, ter-se uma estimativa do impacto da queima da palha na produção da cana-de-açúcar e a quantidade de emissão de CO_2 que deixaria de ser emitido com a mecanização da produção.

Os valores da projeção estimados até 2020 dão uma idéia mais ampla do potencial de redução de CO_2 e dos créditos de carbono que poderão ser obtidos através da mecanização deste setor, que tem uma participação cada vez maior na economia do estado.

O quadro 1 mostra as produções estimadas, obtidas através da utilização do modelo de tendência linear, o qual se mostrou mais significativo ou proporciona uma melhor qualidade do que o modelo log-lin, conforme demonstrado.

Quadro 1: Produções estimadas obtidas através da utilização do modelo de tendência linear

Ano	Valor estimado em milhões de toneladas
2007	36.039.493
2008	37.453.836
2009	38.868.179
2010	40.282.522
2011	41.696.865
2012	43.111.208
2013	44.525.551
2014	45.939.894
2015	47.354.237
2016	48.768.580
2017	50.182.923
2018	51.597.266
2019	53.011.609
2020	54.425.952

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme a estimativa, no ano de 2020 o Estado do Paraná deverá estar produzindo um volume de 54.425.952 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que mostra um crescimento de 51% em relação a 2007, com um crescimento médio em torno de 3% a.a.

Para efeito do cálculo dos créditos de carbono possíveis de obter, utiliza-se o quadro 2, cujo estudo foi feito pelo Centro de Tecnologia da Copersucar – CTC (2002), que demonstra todas as atividades relacionadas com a produção de cana-de-açúcar e a quantidade de CO₂ emitida ou absorvida em cada etapa do processo.

Quadro 2: GHG* no processo de produção de cana, açúcar e álcool

Atividades 1 - Produção, colheita e transporte da cana	kg CO₂/TC
Estas atividades têm como conseqüências para a taxa de emissão de CO ₂ :	
1.a - A fixação (fotossíntese) de carbono da atmosfera	+ 694.7
1.b - A liberação de CO ₂ pelo uso de combustíveis (diesel) na lavoura: tratos culturais, irrigação, colheita, transporte de cana	-4.7
1.c - A liberação de CO ₂ na queima do canavial (~80% das pontas e folhas)	-198.0
1.d - A liberação de outros gases de efeito estufa, na queima do canavial (principalmente metano)	-1.0 a -5.0
1.e - A liberação de N ₂ O do solo pelo uso de adubação nitrogenada	-3.2
1.f - A liberação de CO ₂ (combustível fóssil) na produção dos insumos da lavoura (mudas, herbicidas, pesticidas, etc.)	-6.7
1.g - A liberação de CO ₂ (diesel, etc.) na fabricação dos equipamentos agrícolas que serão usados na lavoura	-2.4
1.h - A oxidação dos resíduos não totalmente queimados no campo	-49.5
Atividades 2 - Industrialização de cana: produção de açúcar e álcool (45% açúcar, 55% álcool)	
As conseqüências na taxa de emissão de CO ₂ são:	
2.a - A liberação de CO ₂ na fermentação alcoólica	-38.1

2.b - A liberação de CO ₂ na fabricação dos insumos da indústria (cal, H ₂ SO ₄ , etc.).	-0.5
2.c - A liberação de CO ₂ na produção dos equipamentos e prédios, instalações industriais	-2.8
2.d - A liberação de CO ₂ na queima de todo o bagaço, substituindo óleo combustível, na produção de açúcar e álcool	-231.6
2.e - A emissão evitada de CO ₂ , pelo uso de bagaço na produção de açúcar (somente), em vez de óleo combustível ou carvão	+104.0
Atividades 3 - Uso dos produtos finais, açúcar e álcool	
3.a - Em princípio, em médio prazo praticamente todo o carbono no açúcar é oxidado (metabolizado, etc.) e volta à atmosfera	-97.0
3.b - A liberação de CO ₂ na queima do etanol, em motores automotivos	-79.1
3.c - A emissão evitada de CO ₂ , pelo uso de etanol em motores automotivos, em vez de gasolina	+126.7
TOTAL: EMISSÕES EVITADAS	+206.8

Fonte CTC (2002)

* GHG *greenhouse* gás, ou seja, são os gases constituídos na atmosfera, essenciais para manter a temperatura da Terra.

Com base no estudo feito pelo Centro de Tecnologia Copersucar – CTC (2002), que considera a queima aproximada de 80% das pontas e folhas, tem-se, no item 1C: Liberação de CO₂ na queima do canavial, de 198,0 kg de CO₂/TC.

Apesar do processo produtivo e industrial da cana-de-açúcar ser positivo no total de emissão do CO₂ em 206,8 kg de CO₂/TC com a mecanização da colheita, ele será ainda mais positivo, passando a 404,80 kg de CO₂/TC, caracterizando uma cadeia produtiva com consciência ecológica.

Considerando que o preço da tonelada de CO₂ atual é de cerca de 16 euros, tem-se na seqüência uma estimativa do que o Estado do Paraná poderia obter com a venda destes certificados. No Paraná, praticamente toda a produção encontra-se concentrada em 30 produtores (usineiros), o que tornaria viável a negociação em grupo destes créditos, gerando uma receita adicional para estas empresas.

Quadro 3: Cálculo do crédito de carbono a ser obtido com a mecanização a 100%, 80% e 50%.

Ano	Valor estimado ton	Emissão CO ₂ /ton	Preço euro/ton 100%	Preço euro/ton 80%	Preço euro/ton 50%
2007	36.039.493	7.135.820	115.600.277,75	92.480.222,20	57.800.138,87
2008	37.453.836	7.415.860	120.136.924,35	96.109.539,48	60.068.462,18
2009	38.868.179	7.695.899	124.673.570,96	99.738.856,77	62.336.785,48
2010	40.282.522	7.975.939	129.210.217,57	103.368.174,05	64.605.108,78
2011	41.696.865	8.255.979	133.746.864,17	106.997.491,34	66.873.432,09
2012	43.111.208	8.536.019	138.283.510,78	110.626.808,62	69.141.755,39
2013	44.525.551	8.816.059	142.820.157,39	114.256.125,91	71.410.078,69
2014	45.939.894	9.096.099	147.356.803,99	117.885.443,20	73.678.402,00
2015	47.354.237	9.376.139	151.893.450,60	121.514.760,48	75.946.725,30
2016	48.768.580	9.656.179	156.430.097,21	125.144.077,77	78.215.048,60
2017	50.182.923	9.936.219	160.966.743,81	128.773.395,05	80.483.371,91
2018	51.597.266	10.216.259	165.503.390,42	132.402.712,34	82.751.695,21
2019	53.011.609	10.496.299	170.040.037,03	136.032.029,62	85.020.018,51
2020	54.425.952	10.776.338	174.576.683,64	139.661.346,91	87.288.341,82

Fonte: CTC (2002) e Dados da pesquisa

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi estimar a produção da cana-de-açúcar até 2020 no Paraná através do modelo log-lin e do modelo de tendência linear, visando estimar a redução da emissão de CO₂ no período, com o processo de mecanização. Pela colheita manual, é utilizada a queima da palha da cana-de-açúcar, o que ocasiona a emissão de CO₂ na atmosfera. Através da colheita mecanizada, ocorreria uma redução na emissão de CO₂ na atmosfera.

Verifica-se que, com a mecanização da colheita em 100%, o Estado do Paraná poderá obter, com a negociação de créditos de carbono, uma receita de 174 milhões de euros no ano de 2020 a preços atuais. Porém, em virtude de não ser possível obter 100% de mecanização da colheita devido a fatores como áreas com inclinação superior a 12% e áreas nas quais não se exigiria a mecanização por estas serem menores de 150 hectares, estima-se que, com 80% da área colhida mecanicamente, a receita seria de 139 milhões de euros. Caso seja de 50%, ter-se-ia uma receita de 87 milhões de euros.

Apesar de o processo produtivo da cana-de-açúcar ser “superavitário”

na emissão de CO₂, com a mecanização da colheita este produto teria um conceito ainda mais elevado em sustentabilidade, além de gerar recursos para o Estado do Paraná.

De um lado, a produção de cana do Paraná tem, com sua peculiaridade, acompanhado as alternativas da indústria sucroalcooleira, mediante investimentos na ampliação da área de cultivo e no volume de cana produzida, além de elevação da produtividade e da melhoria de qualidade da matéria-prima. De outro lado, em função de os efeitos degenerativos da natureza afetarem o capital (proporcionando prejuízos), a cúpula capitalista do mundo moderno começa, de forma sutil, a canalizar seu empenho no sentido de resguardar o Planeta e, como consequência, o próprio capital.

O Protocolo de Quioto formalizou o pacto dos Estados nacionais para diminuir, até 2012, as emissões de dióxido de carbono para níveis 5% menores que os de 1990. Trata-se, para o Planeta, de uma intenção fraca; para a economia global é, no entanto, um grande desafio.

Os resultados mostraram que, com o aumento da preocupação com o meio ambiente, os países querem produtos que tenham origens de cultivo e produção ecologicamente corretas. É importante citar que, além do ganho financeiro, no caso da comercialização do crédito de carbono, há uma melhoria no sistema ambiental e na qualidade de vida das pessoas.

Por fim, vale dizer que esta pesquisa seguiu um determinado rumo metodológico, em um contexto de outros métodos possíveis para o estudo dos impactos da colheita mecanizada para a redução de CO₂ na atmosfera. Sugere-se, como agenda de trabalho, que mais pesquisas sejam desenvolvidas para pormenorizar aspectos positivos da redução de carbono na atmosfera e a aplicação dos recursos gerados pelos créditos também para outros segmentos do mercado.

REFERÊNCIAS

ALCOPAR - Associação de Produtores de Álcool e Açúcar do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.alcopar.org.br>>. Acesso em: 22 set. 2008.

ALVES, F. Por que morrem os cortadores de cana? *Saúde e Sociedade*, v. 15, n. 3, p. 90-98, 2006.

ANDRADE, M. C. de. **Modernização e pobreza**: a expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico e social. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1994.

ANSELMINI, R. Colhedoras abrem caminho para a mecanização total. **Jornal**

Cana, Ribeirão Preto, n. 151, jul. 2006. Disponível em: <<http://jornalcana.com.br/pdf/151/tacagric.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

BM&F - Bolsa de Mercadorias e Futuros. Mercado brasileiro de redução de emissões. 2005. Disponível em: <<http://www.bmf.com.br/2004/pages/MBRE/>>. Acesso em: 17 jul. 2008.

BRAUNBECK, O.; OLIVEIRA, J. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n.1, p. 300-308, jan./abr. 2006.

BRAZ, M. S. A. Os mecanismos de cooperação internacional para redução de emissões sob o Protocolo de Quioto. **Boletim Científico da Escola Superior do Ministério Público da União**, Brasília, n. 9, p. 139-159, out./dez. 2003.

CARBONO BRASIL. Disponível em: <<http://www.carbonobrasil.com/>>. Acesso em: 17 jul. 2008.

CASTRO, M. **Cinco séculos de ousadia**. Ribeirão Preto, 2005. 64 p. (mimeo).

CONAB - Companhia Nacional do abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 02 jun. 2008.

CTC - Centro de Tecnologia Copersucar. O ciclo da cana-de-açúcar e reduções adicionais nas emissões de CO₂ através do uso como combustível da palha da cana, 2002. Disponível em: <<http://www.copersucar.com.br/>>. Acesso em: 25 jul. 2008.

FARINA, E. M. M. Q.; ZYLBERSZTAJN, D. **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: PENZA/FIA/FEA/USP-IPEA, 1998.

FURTADO, F. **Mecanização da colheita da cana traz benefício ambiental**. 2002. Disponível em: <<http://www.cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/1382>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

GODOY, S. G. M. **O Protocolo de Kyoto e o mecanismo de desenvolvimento limpo**: uma avaliação de suas possibilidades e limites. 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado em Economia Política) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC, São Paulo, 2005.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2008.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/sitexoops/index.php>>. Acesso em: 14 jul. 2008.

JUNQUEIRA, C. P.; STERCHILE, S. P. W.; SHIKIDA, P. F. A. Mudanças no padrão tecnológico do corte de cana-de-açúcar: uma análise do caso paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., Rio Branco, 2008. **Anais...** Rio Branco: SOBER/UFAC, 2008.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação geral de mudanças globais de clima. **Comunicação nacional inicial do Brasil**: à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. Brasília: [s.n.], 2004.

PINHEIRO MACHADO, F. de B. **Brasil, a doce terra – história do setor**. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/HistoriadoSetor.asp>>. Acesso em: 11 ago. 2008.

PRAZERES, F. **Projeto de Stephanes proíbe a queima de resíduos de cana**. 2007. Disponível em: <http://www.alep.pr.gov.br/arquivos/geral_noticias_conteudo.php?>. Acesso em: 15 jul. 2008.

RAMÃO, F. P.; SCHNEIDER, I. E.; SHIKIDA, P. F. A. Padrão tecnológico no corte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Paraná. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 21-32, jan./jun. 2007.

SCOPINHO, R. A. et al. Novas tecnologias e saúde do trabalhador: a mecanização do corte da cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, p. 147-161, jan./mar. 1999.

SHIKIDA, P. F. A. **A dinâmica tecnológica da agroindústria canavieira do Paraná**: estudo de caso das Usinas Sabarálcool e Perobálcool. Cascavel: Edunioeste, 2001.

_____. **A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995**. Cascavel: Edunioeste, 1998.

_____. Uma análise econométrica preliminar das ofertas de açúcar e álcool paraenses. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 21-32, jan./jun. 2007.

SILVA, J. G. da (Org.). **Política para o setor sucroalcooleiro frente à crise: uma proposta alternativa para o Estado de São Paulo** (2002). Disponível em: <http://www.pt.org.br/site/assets/politica_setor_sucroalcooleiro.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2008.

VANTAGENS da colheita mecânica de cana. Produção de R. A. Soares. São Paulo: CANAL RURAL, 2007. Exibido em: 5 out. 2007.

SOUZA, F. S. **Mecanismos de desenvolvimento limpo e créditos de carbono: as potencialidades do Brasil**. 2000. 150 f. Monografia (MBA Derivativos e Informações Econômico-Financeiras) - Fundação Instituto de Administração – FIA, 2007.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. 1997. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/quioto/protocolo.htm>>. Acesso em: 16 jul. 2008.

UNICA - União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br>>. Acesso em: 29 set. 2008.

VEIGA FILHO, A. de A. Estudo do processo de mecanização do corte na cana-de-açúcar: o caso do Estado de São Paulo, Brasil. **Recitec**, Recife, v. 3, n. 1, p. 74-99, 1999.

VEIGA FILHO, A. de A.; SANTOS, Z. A. P. de S. Padrão tecnológico da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: evidências empíricas da evolução na cultura. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 25, n. 8, p. 15-24, ago. 1995.

VIEIRA, G.; SIMON, E. Possíveis impactos da mecanização no corte de cana-de-açúcar em consequência da eliminação da queima da palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., Ribeirão Preto, 2005. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005.