



# **Análise da eficiência econômica e termodinâmica da produção de soja em primavera do leste**

**Elisama Fonseca de Carvalho**

Faculdade de Economia da Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

elisama\_carvalho@hotmail.com

**Alexandre Magno de Melo Faria**

Faculdade de Economia da Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

dr.melofaria@gmail.com

**Dilamar Dalle mole**

Faculdade de Economia da Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

ddallemole@gmail.com

**Vallência Maíra Gomes**

Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Brasil.

vallencia@outlook.com

Fecha de recepción: 07/06/13. Fecha de aceptación: 05/05/2015

## **Resumo**

Mato Grosso é o maior estado produtor de soja do Brasil e o município de Primavera do Leste concentra cerca de 5% da soja regional. O objetivo desse trabalho foi determinar do ponto de vista econômico e ecológico a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos input-output da cultura da soja entre as safras de 2000 e 2010. Do ponto de vista econômico a sojicultura demonstra tendência de compressão da margem econômica bruta. Do ponto de vista termodinâmico, a sojicultura manteve uma eficiência termodinâmica de  $3,97 \pm 0,4$  na relação input-output de energia no período analisado. Os insumos mais importantes no input são os adubos e herbicidas, com participação crescente de combustíveis e fungicidas. Os insumos industriais alcançaram a média de 92,2% dos inputs energéticos no período analisado, enquanto os insumos biológicos (sementes e mão-de-obra) alcançaram 7,7% das entradas energéticas. Conclui-se que o sistema produtivo de soja em Primavera do Leste precisa ser planejado e ajustado para que se torne tendencialmente sustentável em relação à dependência de energia exógena.

**Palavras-chave:** Fluxos energéticos, agrotóxicos, soja, sustentabilidade, Mato Grosso.

## **Abstract**

Mato Grosso is the largest producer of soybeans in Brazil and town of Primavera do Leste focuses around 5% regional soy. The aim of this study was to determine the thermodynamic efficiency of the energy input-output flows of soybean harvests between 2000 and 2010. From an economic standpoint, soy production demonstrates trend of economic gross margin compression. From the thermodynamic point of view, the soybean production maintains a thermodynamic efficiency of  $3,97 \pm 0,4$  in relation input-output energy. The most important inputs are fertilizers and herbicides, with increasing participation of fuels and fungicides. The industrial inputs reached the average of 92.2% of energy inputs in the



analyzed period, while the biological inputs (seeds and hand labor) reached 7.7% of the energy inputs. It is concluded that the production of soybean in Primavera do Leste needs to be planned and adjusted to become sustainable.

**Keywords:** energy flows, pesticides, soy, sustainability, Mato Grosso.

**JEL Codes:** Q01, Q12, Q57.

## 1. Introdução

O campo de estudo desse trabalho é o município de Primavera do Leste em Mato Grosso, que tem uma economia fortemente atrelada à agricultura, destacando-se a produção de soja e algodão. A soja foi cultura escolhida por sua importância econômica que movimenta a cadeia do agronegócio em Mato Grosso. Estimativas de Faria et al. (2009) para o exercício de 2006 registram que o setor de cultivo e beneficiamento de soja gerou R\$7,201 bilhões de saldo positivo na Balança Comercial de Mato Grosso, equilibrando o déficit interno com a economia paulista, garantindo um saldo líquido de R\$6,783 bilhões, descontando as aquisições internas e externas. No agregado, somando o comércio nacional com o internacional, o setor de cultivo e beneficiamento de soja é responsável por 54% das saídas de mercadorias. O comércio externo é tão forte para a economia regional que o superávit representou em 2006, 21,6% do PIB mato-grossense.

Desta forma, a formação da riqueza regional e as possibilidades de desenvolvimento socioambiental passam, de forma direta ou indireta pela sojicultura que, por sua importância, merece estudos para que essa atividade se prolongue no tempo. Não se quer afirmar que a sojicultura é a única atividade econômica de importância no tecido produtivo regional, ou que não se possa no futuro selecionar outra trajetória técnica, econômica e política que substitua a monocultura da soja agroquímica, mas tão somente que neste momento histórico a sojicultura representa grande parcela do esforço social de gerar renda e riqueza em Mato Grosso.

A produção neste setor é de capital-intensivo devido à modernização mecânica, biológica e química que vem sendo implantada desde a década de 1970, mas que ganhou força a

partir da década de 1990 (Pereira 1995; Pereira 2007). A produção em Primavera do Leste possui as mesmas características verificadas em outras áreas produtoras de soja de Mato Grosso, como na região Norte, que envolvem os municípios de Sorriso, Sapezal, Nova Mutum, Campo Novo do Parecis, Nova Ubiratã, Diamantino, Lucas do Rio Verde, Campos de Júlio, Santa Rita do Trivelato, Brasnorte, Tapurah, Ipiranga do Norte, Nova Maringá, Vera, Sinop e São José do Rio Claro, dentre outras desta região. Também apresenta similaridade com a produção que é desenvolvida na região Sudeste e Nordeste de Mato Grosso, como Querência, Itiquira, Campo Verde, Canarana e Santo Antônio do Leste.

Como um estudo de caso pode indicar uma tendência regional, acredita-se que a análise da eficiência energética e econômica da produção de soja em Primavera do Leste permitirá identificar as condições estruturais de produção em Mato Grosso. Respeitando as limitações do estudo em função das especificidades microrregionais, este trabalho lança luzes sobre a eficiência energética e as tendências de utilização de energia na produção de soja no trópico úmido brasileiro, e sobre a capacidade de manutenção econômica do empreendimento.

Dentro deste cenário é possível refletir quanto ao aumento do consumo dos insumos nos *inputs* (entradas) no processo produtivo sojeiro em Primavera do Leste em relação à eficiência econômica e energética deste sistema, sendo este o desafio do trabalho, pois há muito tempo os estudos da economia agrícola voltam-se apenas às questões de custo de produção, produtividade, logística e de ganho de escala. Em função deste cenário, tem passado despercebidas às implicações do uso sustentável da estrutura orgânica e inorgânica da terra nas propriedades rurais, sendo que o sistema



produtivo da soja tem sofrido enormes desgastes pelo uso intensivo de fertilizantes, agrotóxicos e combustíveis fósseis.

Têm-se três objetivos específicos, sendo o primeiro a caracterização da economia mato-grossense e do município de Primavera do Leste, notadamente em relação à produção de soja. O segundo objetivo específico é estimar tanto a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos de entrada e saída (*input-output*) quanto a eficiência econômica (margem bruta) da produção de soja em Primavera do Leste entre 2000-2010, atrelando a análise às tendências de expansão ou retração da participação de cada insumo no custo de produção e no *input* energético. Por fim, buscar-se-á identificar a relação entre a eficiência econômica e a eficiência termodinâmica do processo produtivo sojeiro no município analisado.

## 2. A sojicultura em Primavera do Leste

O município de Primavera do Leste tem um clima tipo tropical semiúmido, com vegetação de Cerrado e chapadões. O relevo é aplainado, com cotas que vão desde 600 até 800 metros acima do nível do mar, sendo 30% suavemente ondulada e 70% plano, na forma de chapadões, com ótima aptidão para o cultivo das lavouras anuais (Faria et al. 2009; IBGE Cidades 2010). A região é reconhecida como um dos polos de produção de grãos e fibras de Mato Grosso e participa do complexo agroindustrial brasileiro com lavouras altamente tecnificadas, que ocupam 35% da área do município, sendo a soja sua principal lavoura.

O potencial agrícola da região foi desenvolvido tão fortemente que na década de 1990 o município de Primavera do Leste foi denominado como a “capital da soja”. Pode-se visualizar na Tabela 1 a área plantada de soja no município nas safras de 2000-2010. Nota-se que o município possui considerável quantidade de área plantada em relação a Mato Grosso, alcançando cerca de 5% da área cultivada regionalmente e 1% da área brasileira de cultivo de soja neste período.

O modelo agrícola adotado na região faz parte de um padrão de crescimento econômico que destrói os recursos ecológicos. Esse modelo do agronegócio empresarial usa o solo apenas como um substrato inerte onde se aplicam os insumos químicos externos aos ecossistemas, e substitui o trabalho humano agrícola por máquinas (Faria et al. 2009), com o objetivo de elevar a produção total e assim a acumulação de capital na fronteira agrícola.

O modelo agroquímico se materializa no volume produzido de soja, sendo que o município de Primavera do Leste ofertou em média, no período 2000-2010, 649.065 toneladas, rerepresentando em torno de 5% da oferta regional de soja, conforme Tabela 2. Na oferta nacional de soja, a produção de Primavera do Leste alcança aproximadamente 1,4% do volume produzido.

Na Tabela 3 percebem-se quatro momentos bem claros no período 2000-2010:

- (a) Entre 2000 e 2004 os custos de produção se expandem a uma taxa anual de 16,7% ao ano e as receitas a 29,01% ao ano, com uma forte capacidade de acumulação.
- (b) No biênio 2005-2006 os custos retrocedem a uma taxa geométrica anual de 15,09% e as receitas se deprimem a uma taxa de 30,56% ao ano, demonstrando uma forte crise no setor sojeiro.
- (c) Nas safras 2005-2006, especialmente em 2006, a queda do preço da soja no mercado internacional prejudicou a economia local e se vivencia em Primavera do Leste uma perda de capital.
- (d) Nas safras 2007-2010 percebe-se uma tendência de rentabilidade no intervalo entre 20% e 26%, com uma aproximação às taxas de acumulação do início da década de 2000.

No período 2007-2010 percebe-se uma recuperação econômica da soja, onde os custos de produção se expandem a 10,20% ao ano em relação a 2006, com as receitas



Tabela 1. Área plantada (Hectares) de soja no Brasil, Mato Grosso e Primavera do Leste, 2000 a 2010.

Safra	Brasil	Mato Grosso	Primavera do Leste
2000	13.693.677	2.906.648	170.000
2001	13.988.351	3.121.408	183.000
2002	16.376.035	3.818.231	220.000
2003	18.527.544	4.414.496	251.500
2004	21.601.340	5.279.928	262.680
2005	23.426.756	6.121.724	278.189
2006	22.082.666	5.822.867	220.000
2007	20.571.393	5.075.079	200.000
2008	21.063.721	5.470.149	210.000
2009	21.761.782	5.831.468	220.000
2010	23.339.094	6.227.044	224.600

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2010.

Tabela 2. Quantidade produzida (Toneladas) na lavoura de soja no Brasil, Mato Grosso e Primavera do Leste, de 2000 a 2010.

Safra	Brasil	Mato Grosso	Primavera do Leste
2000	32.820.826	8.774.470	522.070
2001	37.907.259	9.533.286	567.300
2002	42.107.618	11.684.885	686.400
2003	51.919.440	12.965.983	752.593
2004	49.549.941	14.517.912	736.721
2005	51.182.074	17.761.444	684.558
2006	52.464.640	15.594.221	550.440
2007	57.857.172	15.275.087	620.200
2008	59.242.480	17.212.351	656.250
2009	57.345.382	17.962.819	660.000
2010	68.756.343	18.787.783	703.188

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2010.



Tabela 3. Custo e Receita por Hectare\* (R\$/ha) e Valor da Produção\* em R\$1000 no município de Primavera do Leste, 2000 a 2010.

Safra	Custo (R\$/ha)	Valor da produção R\$1000	Receita (R\$/ha)	Rentabilidade
2000	581,46	130.517,50	767,75	32,04%
2001	591,66	141.825,00	775,00	30,99%
2002	643,71	240.240,00	1.092,00	69,64%
2003	968,59	459.083,07	1.825,38	88,46%
2004	983,76	469.658,70	1.787,95	81,75%
2005	1.089,48	280.667,66	1.008,91	-7,40%
2006	925,08	154.123,20	700,56	-24,27%
2007	942,27	235.676,00	1.178,38	25,06%
2008	1.469,16	387.157,50	1.843,75	25,50%
2009	1.439,01	400.085,40	1.818,57	26,38%
2010	1.216,73	330.498,90	1.471,50	20,94%

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2010.

Nota: \* valores deflacionados pelo IGP-DI da FGV, ano base 2010.

expandindo a 21,15% ao ano em relação a 2006. Estes dados indicam uma importante oscilação na atividade econômica e servem de parâmetro para perceber a necessidade de construção de mecanismos institucionais que venham a amortecer as flutuações do sistema produtivo, tendo em vista a importância regional da sojicultura.

### 3. A economia e a eficiência energética

A obra "The Entropy Law and the Economic Process" de Nicholas Georgescu-Roegen, publicada em 1971, ajudou a definir o conceito de "Economia Ecológica". Nesse livro ele introduz a ideia de irreversibilidade e de limites biofísicos dos recursos na teoria econômica, a partir da segunda lei da termodinâmica, especificamente a lei da entropia nas transformações da matéria (Romeiro 2003:9). A termodinâmica surgiu com Sadi Carnot (1824 *apud* Nascimento et al. 2004) nos estudos do balanço energético da máquina a vapor, apontando o fato do

calor se mover de forma espontânea e irreversível de um corpo quente para o frio, Carnot criou as bases para a formulação posterior por Clausius das Leis da Termodinâmica, em 1865. Georgescu tentou mudar a visão do fluxo circular unitário e isolado, segundo a qual capital e trabalho são considerados a estrutura do processo que transforma fluxo de energia em produtos e resíduos. Propôs uma visão metabólica do processo, mostrando que o sistema econômico não era um moto-perpétuo, que alimenta a si mesmo de forma circular, sem perdas, mas ao contrário, é um sistema que transforma recursos naturais em rejeitos que não podem mais ser utilizados. Ao desenvolver uma nova representação do processo, Georgescu destacou que ele não é isolado, mas aberto (Cechin 2010).

Enquanto o sistema econômico continuar a produzir sem considerar os limites ecossistêmicos e as interações dos agroecossistemas com o seu meio ambiente circundante, maiores serão as probabilidades



de formação de entropia. A questão é que mais energia desorganizada será descartada após a produção e o consumo, gerando acumulação de entropia. Além disso, mais energia organizada será necessária para a produção das mesmas quantidades de matéria e energia materializadas em mercadorias. Dito de outra forma, o sistema produtivo tornar-se-á crescentemente ineficiente do ponto de vista termodinâmico, incorrendo em maiores fluxos de energia para os mesmos resultados ou gerando mais entropia no final do processo para a mesma produção. Ele coloca que quanto mais rápido a sociedade decidir a reorganizar os sistemas altamente formadores de entropia, mais rápida será a transição para uma sociedade e uma economia menos insustentável.

#### 4. Energia na agricultura

Conforme Odum e Barret (2008), a alta produtividade e altas taxas de produtividade dos produtos agrícolas são devidas as entradas de energia não renovável utilizadas na lavoura. O combustível usado para acionar o maquinário das propriedades é uma entrada de energia tanto quanto o sol. Um exemplo disso ocorre na agricultura dos Estados Unidos, onde a entrada dos subsídios de energia na agricultura aumentou dez vezes entre 1900 e 1980, com entrada de energia que varia de uma a dez calorias para cada caloria de alimento colhido. Webber (2012) demonstra que na agricultura dos Estados Unidos da América a relação entre entrada e saída de energia está em 10:1, ou seja, entram 10,0 kcal e saem apenas 1,0 kcal. A duplicação do rendimento da colheita requer um aumento de dez vezes nas entradas de combustíveis fósseis, fertilizantes e defensivos.

Odum e Barret (2008) ressaltam ainda que, o outro modo pelo qual os humanos aumentam a produção de alimentos, não envolve uma elevação na produtividade bruta, mas a seleção genética no sentido de aumentar a razão de rendimento. A desvantagem é que a planta modificada não tem energia para produzir compostos químicos para se defender, assim dependerá do uso de

defensivos químicos, o que exigirá uma demanda de energia maior.

A transferência de energia ao longo da cadeia alimentar de um ecossistema é chamada de cadeia trófica ou cadeia de transformação dos fluxos de energia porque, de acordo com a lei da entropia, as transformações da energia são “unidirecionais” em contraste com o comportamento cíclico da matéria (Odum e Barret 2008). Conforme os autores, as altas taxas de produção ocorrem quando os fatores físicos são favoráveis, especialmente quando os subsídios de energia (como os fertilizantes de fora do sistema) aumentam o crescimento ou as taxas de produção dentro do sistema. Esses subsídios de energia também podem ser o trabalho do vento e da chuva em uma floresta, ou de combustíveis fósseis, o trabalho animal ou humano usado no cultivo agrícola.

O comportamento da energia é descrito pela primeira e segunda lei da termodinâmica. A primeira lei estabelece que a energia se transforma de uma forma para outra, mas não pode ser criada nem destruída, mas se degrada. A segunda lei termodinâmica determina que os processos que envolvem transformações de energia não ocorrerão espontaneamente, a menos que haja uma degradação de energia de uma energia organizada para uma forma não organizada (a entropia tende a aumentar). Esta determinação remete à importância da prudência ecológica na escolha de alternativas das fontes de energia (renováveis preferentemente) e de cadeias tróficas que exijam o mínimo de etapas de transformação, além da adoção de sistemas eco-eficientes (Odum e Barret 2008).

A distribuição do uso da energia também é um importante fator a ser considerado na avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas, porque ela está associada ao fluxo de matéria e de renda dentro e entre os sistemas. Isso implica que o fortalecimento relativo de um sistema produtivo resulta na fragilidade de outros, em função das relações de troca e/ou transferência que se estabelecem entre eles (Altieri e Masera



1997).

A avaliação dos *inputs* energéticos das operações de cultivo é importante para estimar a energia investida no sistema de produção e identificar os pontos de desperdícios energéticos e os componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência, além de melhorar a visibilidade sobre o balanço energético, edificando um novo suporte científico à produção de matéria e energia de forma sustentável.

## 5. Metodologia

Para obter a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos da soja foi necessário realizar o balanço energético ou análise input-output, que implica em transformar insumos e produtos em fluxos agregados de energia mediante o uso de coeficientes energéticos correspondentes a cada insumo, ou seja, contabilizar as energias das entradas (*inputs*) e as energias da saída (*output*), do sistema produtivo da soja em Primavera do Leste.

O Coeficiente Energético (CE) refere-se ao montante de energia consumida para se obter um determinado recurso utilizado na agricultura como insumo. Este valor é geralmente retirado de estudos de ciclo de vida dos materiais. Seu objetivo principal é traduzir em equivalentes energéticos os fatores de produção provenientes da economia humana, possibilitando a construção de valores de energia agregada comparáveis entre si, que permitam a intervenção no sistema produtivo visando melhorar sua eficiência (Bueno 2002).

Reconhecendo a importância desta metodologia, vários pesquisadores têm se utilizado dos balanços de energia para avaliar sistemas agrícolas, de diversas proporções e com distintas delimitações. A conversão energética dos fatores de produção envolvidos na produção de soja tem respaldo na literatura (FAO 1980; Scott e Krummel 1980; Pimentel et al. 1983; Campos et al. 1998).

A quantificação energética dos insumos foi

obtida através da multiplicação do produto físico pelos respectivos índices de conversão e apresentação final dos dados foi em quilocaloria (Kcal) como unidade de energia em todas as análises energéticas. Para obtenção dos *inputs* de energia foram considerados os índices calóricos constantes no Quadro 1.

O valor energético da soja foi obtido a partir da multiplicação da produção total em toneladas pela capacidade calorífica deste produto constante nas Tabelas de Composição de Alimentos do IBGE (1999) que é de 4.000 calorias por quilo, valor também constatado por Melo et al. (2007) e Campos et al. (2009).

### Eficiência termodinâmica

A eficiência termodinâmica corresponde a razão *output* (kcal de saída) entre *input* (kcal de entrada), como pode ser visto na equação 1.

$$(ET) = \Sigma E \text{ Output} / \Sigma E \text{ Input} \quad (1)$$

Em que:

$\Sigma E \text{ Output}$  = Total de saídas de energia (kcal)

$\Sigma E \text{ Input}$  = Total de entradas de energia (kcal)

Sendo que, o *output* representa a saída de soja (em forma de energia); e o *input* representa o conjunto de insumos mais importantes (em forma de energia), que são necessários para produzir aquele montante de soja.

Resultados com valores superiores a 1,00 representam um excedente energético, ou seja, na produção há maior energia de saída do que de entrada. Resultados com valores inferiores a 1,00 representam uma situação de perda energética, caracterizando uma produção termodinamicamente ineficiente. Para Risoud (1999), se o excedente energético for superior a um pode-se afirmar que houve eficiência naquele sistema agrícola.

Em outra abordagem, Schroll (1994) define como índice de sustentabilidade da produção agrícola um excedente de duas unidades energéticas (kcal) para que o sistema produtivo seja considerado sustentável.



Quadro 1. Coeficientes energéticos na agropecuária.

Bibliografia	Insumo	Coeficiente
Beltrão et al. (1993) Albuquerque et al.(2007)	Óleo diesel (7,0 l/hora)	9.583kcal/l
Pimentel et al. (1973)	Gasolina (15 l/hora)	9.532,89 kcal/l
Albuquerque et al. (2007)	Calcário	398,9 kcal/kg;
Pimentel et al. (1973) Lockeretz 1980)	Nitrogênio (inclui produção e processamento)	21.000 kcal/kg
Pimentel et al. (1973) Lockeretz 1980)	Fósforo (inclui mineração e processamento)	3.800 kcal/kg
Pimentel et al. (1973) Lockeretz 1980)	Potássio (inclui mineração e processamento)	2.625 kcal/kg
Albuquerque et al. (2007) Pimentel (1980)	Herbicidas	83.090kcal/kg
Albuquerque et al. (2007) Pimentel (1980)	Inseticidas	74.300kcal/kg
Albuquerque et al. (2007) Pimentel (1980)	Formicidas	21.340kcal/kg
Pimentel (1980)	Fungicidas	50.083 kcal/kg
Pimentel (1980)	Acaricidas, espalhantes, óleos minerais, inoculantes, adjuvantes	64.683 kcal por kg ou L
Albuquerque et al. (2010)	Força de trabalho humana	225kcal/hora
Ulbanere (1988) Freitas et al. (2006)	Demanda específica de energia (DEE) de máquinas agrícolas, trator com 65cv	4.322,70 kcal/hora
Ulbanere (1988) Freitas et al. (2006)	Demanda específica de energia (DEE) de máquinas agrícolas, trator com 105cv (7,6 ton de peso)	5.674,6kcal/h
Doering e Peart (1977) Castanho Filho e Chabariberi (1982)	Trator (ajustes em função da potência)	3.494.000 kcal/t

Fonte: elaboração própria.

Contudo, esta é apenas uma parte da análise. Deve-se avaliar também a qualidade das energias de entrada e saída. O consumo crescente de insumos industriais e de origem exaurível representam uma ameaça ao sistema, principalmente em função da origem exógena à economia local e regional. Por outro lado, quanto maior a participação de insumos de origem biológica e renovável, maiores as possibilidades de resistência e resiliência do sistema.

Para Heitschmidt et al. (1996), a eficiência de energia é medida pelo balanço energético ou pela relação output/input, a partir da determinação da quantidade de energia obtida na forma de produto em relação à energia cultural utilizada no sistema para produzi-lo. A relação output/input tem valor à medida que indica o nível de dependência de um agroecossistema qualquer por fontes externas de energia e da possibilidade de sobrevivência daquele modelo diante da



finitude de tais fontes de energia. Não bastaria observar somente o excedente energético, mas a capacidade de manter o fluxo de inputs estáveis ou mesmo crescentes no tempo.

Após a identificação da razão entre a saída e as entradas de energia, para determinar o excedente ou déficit energético, verificou-se a participação percentual de cada insumo. Os insumos foram agrupados de acordo com o tipo de recurso: adubo (nitrogênio, fósforo, potássio e calcário); sementes; agrotóxicos (herbicida, inseticida, formicida e fungicida), combustíveis (diesel e gasolina); máquinas; e mão-de-obra. Não se considerou as atividades pós-colheita.

### Eficiência econômica

Em forma similar ao índice da Eficiência Termodinâmica (ET), calcula-se o índice da Eficiência Econômica (EC) que visa demonstrar através da razão entre o Valor Bruto da Produção (VBP) e o Custo Total (CT) o quão sustentável pode ser a atividade de produção de soja a cada safra produzida, conforme a equação 2.

$$\text{Margem bruta (MB)} = \frac{\Sigma \text{ Receita Total (R\$)}}{\Sigma \text{ Custo Total (R\$)}} \quad (2)$$

A Receita Total representa o valor bruto da produção, que corresponde a multiplicação do valor de produção obtido do IBGE vezes o preço médio recebido. O Custo Total representa o somatório de insumos necessários à produção em valores monetários.

O custo de produção e o preço de venda da saca de 60 quilos de soja é a referência para se compreender a dimensão econômica da sojicultura local. Na Tabela 4 pode-se visualizar os preços anuais da soja, deflacionados com base em 2010.

Coefficientes abaixo de 1,00 indicam desacumulação de capital, enquanto coeficientes iguais a 1,00 indicam um *break even point*, ou seja, um ponto de nivelamento onde não há lucro ou prejuízo. Coeficientes

Tabela 4. Custo e Preço (R\$/saca 60 quilos) de Soja em Primavera do Leste, 2000 a 2010.

Safra	Custo (R\$/saca)	Preço (R\$/saca)
2000	11,36	15,00
2001	11,45	15,00
2002	12,38	21,00
2003	19,42	36,60
2004	21,05	38,25
2005	26,56	24,60
2006	22,18	16,80
2007	18,23	22,80
2008	28,21	35,40
2009	28,78	36,37
2010	23,32	28,20

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2010.

Nota: \* valores deflacionados pelo IGP-DI da FGV, ano base 2010.

acima de 1,00 indicam pontos onde ocorre *mark up*, ou seja, acumulação de capital, e quanto maior o coeficiente acima da unidade maior a capacidade de acumular excedentes.

A análise conjunta destes dois indicadores (ET e EC) podem lançar luzes sobre a capacidade de reprodução econômica e energética do sistema de produção de soja em Mato Grosso. Mais do que identificar os itens que compõem as referidas eficiências, torna-se interessante reconhecer a dinâmicas de tais métricas, que podem sugerir o caminho tendencial em direção à (in)sustentabilidade do sistema produtivo. De certa forma, podem indicar duas dimensões da sustentabilidade, a econômica e a ambiental.

Com os dados de preço final de venda e custo de produção pode-se calcular a rentabilidade econômica do empreendimento sojeiro em Primavera do Leste. A rentabilidade é um indicativo de desempenho monetário, podendo ser avaliada a capacidade de retenção do excedente econômico no setor avaliado. Na equação 3 pode-se visualizar o método de cálculo. Se a rentabilidade for negativa, o empreendimento



está desacomulando capital em suas operações. Se for positivo está havendo retenção de excedente, que pode ser totalmente distribuído aos agentes econômicos que participam do empreendimento, podendo também ser total ou parcialmente acumulado.

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Vendas} - \text{Custo total}}{\text{Custo Total}} \quad (3)$$

Como forma de apresentação dos dados obtidos junto à GECUP (Gerência de Custos) da CONAB (Companhia Nacional Abastecimento), empresa pública ligada ao MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil), tem-se as Tabelas 5 e 6.

## 6. Resultados e discussões

Após a promulgação da lei Kandir em setembro de 1996, que isentou os produtos primários e semielaborados com destino à exportação do pagamento de impostos estaduais (Imposto sobre Circulação de

Mercadorias e Serviços ou ICMS), Mato Grosso passou a produzir safras recordes de soja e de acordo com o MDIC o valor das exportações de soja que eram de pouco mais de R\$480 milhões em 1996 alcançou R\$7,201 bilhões de saldo positivo em 2006, rerepresentando 71,5% das exportações de Mato Grosso neste último ano (Faria et al. 2009). Verificou-se uma forte expansão da área para produção de soja e maior uso de agrotóxicos e fertilizantes. Todavia, não se observaram limites impostos pelos recursos naturais, quanto à fertilidade do solo no bioma Cerrado, que se constitui de um solo ácido sendo necessária a correção da acidez pela calagem. Para aumentar a produtividade e ganho de escala foram necessários estudos feitos pela EMBRAPA para tornar o Cerrado produtivo. A solução encontrada para o aumento na produtividade foi à aquisição dos pacotes tecnológicos da “revolução verde” (novas variedades de sementes, sobre tudo, transgênicos, agrotóxicos e fertilizantes), em detrimento, porém, dos custos ecológicos incorridos pela utilização desse pacote tecnológico que não foram incorporados no custo de produção. Conforme Sá (2009), na região Sudeste de Mato Grosso, que inclui

Tabela 5. Insumos utilizados na sojicultura de Primavera do Leste, em kcal: 2000-2010.

Safra	Adubos	Herbicida	Combustíveis	Inseticida	Sementes	Fungicida	Máquinas	Mão de obra	Calcário	Total calorías
2000	1.760.125,00	389.692,10	199.155,51	115.886,50	220.000,00	40.777,59	11.939,96	1.510,25	0,00	2.738.287,22
2001	1.862.500,00	489.400,10	199.155,51	94.546,50	220.000,00	53.298,34	12.789,54	1.561,00	0,00	2.932.392,45
2002	1.879.500,00	489.400,10	199.155,51	94.546,50	220.000,00	53.298,34	12.789,54	1.561,00	0,00	2.949.392,45
2003	1.879.500,00	489.400,10	184.892,39	147.506,50	220.000,00	53.298,34	12.789,54	1.561,00	0,00	2.988.947,88
2004	1.879.500,00	489.400,10	184.892,39	147.506,50	220.000,00	53.298,34	12.789,54	1.561,00	0,00	2.988.947,88
2005	1.879.500,00	489.400,10	184.892,39	147.506,50	220.000,00	53.298,34	12.789,54	1.561,00	0,00	2.988.947,88
2006	1.879.500,00	489.400,10	218.221,29	94.546,50	220.000,00	78.339,84	12.789,54	1.567,50	0,00	2.993.502,65
2007	1.879.500,00	489.400,10	218.221,29	94.546,50	220.000,00	78.339,84	12.789,54	1.567,50	0,00	2.993.502,65
2008	1.447.045,10	519.775,26	295.305,34	225.529,32	270.000,00	126.034,68	34.171,94	2.721,00	797,80	2.919.883,88
2009	1.445.934,84	519.775,26	322.137,74	225.529,32	245.500,00	136.051,28	38.810,52	2.919,00	797,80	2.935.850,31
2010	1.445.934,84	782.339,66	306.373,70	264.007,16	242.000,00	136.051,28	34.845,28	2.801,50	797,80	3.213.610,39

Fonte: elaborada pelos autores a partir de CONAB (2012).



Tabela 6. Insumos utilizados na sojicultura de Primavera do Leste, em unidades físicas por hectare: 2000-2010.

Safras	Nitrogênio (T)	Fósforo (T)	Potássio (T)	Herbicida (L)	Inseticidas (kg)	Fungicidas (kg)	Óleo Diesel (L)	Gasolina (L)	Máquinas (horas)	Sementes de milho (kg)	Sementes de soja (kg)	Trabalho humano (horas)	Calcário (kg)
2000	0,02	0,20	0,22	4,69	1,56	0,81	12,82	8,00	1,75	0,00	55,00	3,16	0,00
2001	0,02	0,20	0,26	5,89	1,27	1,06	12,82	8,00	1,88	0,00	55,00	3,12	0,00
2002	0,02	0,20	0,26	5,89	1,27	1,06	12,82	8,00	1,88	0,00	55,00	3,12	0,00
2003	0,02	0,20	0,26	5,89	1,99	1,06	11,34	8,00	1,88	0,00	55,00	6,94	0,00
2004	0,02	0,20	0,26	5,89	1,99	1,06	11,34	8,00	1,88	0,00	55,00	6,94	0,00
2005	0,02	0,20	0,26	5,89	1,99	1,06	11,34	8,00	1,88	0,00	55,00	6,94	0,00
2006	0,02	0,20	0,26	5,89	1,27	1,56	10,83	12,00	1,90	0,00	55,00	3,14	0,00
2007	0,02	0,20	0,26	5,89	1,27	1,56	10,83	12,00	1,90	0,00	55,00	3,14	0,00
2008	0,01	0,18	0,18	6,26	3,04	2,52	28,83	2,00	4,15	20,00	50,00	3,55	2,00
2009	0,01	0,18	0,18	6,26	3,04	2,72	31,63	2,00	4,55	13,00	50,00	3,55	2,00
2010	0,01	0,18	0,18	9,42	3,55	2,72	29,98	2,00	4,31	12,00	50,00	3,55	2,00

Fonte: elaborada pelos autores a partir de CONAB (2012).

Primavera do Leste, a matéria orgânica do solo pode ser degradada em até 7% ao ano em função da umidade, calor e complexidade de microrganismos presentes no solo. Em aproximadamente dez anos, a matéria orgânica pode ser totalmente degradada, caso não haja recomposição.

O modelo de produção agropecuária desenvolvido em Primavera do Leste tem seguido o pacote tecnológico estabelecido regionalmente, demonstrando utilização intensiva de tecnologia e máquinas, em detrimento do trabalho humano. O grande destaque no custo de produção de soja em Primavera é o custo dos adubos (nitrogênio, fósforo e potássio - NPK) que assume os maiores valores de participação com percentuais médios de 41,6%, com desvio-padrão de 3,2% no período entre 2000 e 2010. Esses valores podem ser explicados pelo fato do adubo exercer a função de correção e nutrição do solo, em função da elevada atividade microbiana em regiões tropicais que exaurem rapidamente a matéria orgânica disponível.

Quando há uma abertura de área, transformando a vegetação complexa e um monocultivo, utiliza-se inicialmente a matéria orgânica do solo como fonte de micronutrientes (NPK e outros) que foram depositados em milhares de anos de uma interação florística, faunística e microbiana. Contudo, após safras sucessivas, a matéria orgânica disponível decresce rapidamente, em função da atividade microbiana e da exportação dos micronutrientes materializados na produção agrícola, como a soja, o algodão, o milho e diversos outros sistemas produtivos. Findada a fase de utilização do “adubo natural endógeno”, torna-se necessária uma crescente incorporação de “adubos exógenos” para manter a produtividade.

Os cultivares de soja geneticamente modificada não tem recursos genéticos para produzir os compostos bioquímicos necessários para se defender dos predadores e competidores; assim se usam produtos da indústria química e farmacêutica para defendê-los das ervas daninhas e pragas agrícolas. Os agrotóxicos (herbicidas,



inseticidas, formicidas e fungicidas) são importantes na produção agrícola regional, pois em eles, não se atinge uma produtividade e lucro satisfatório, uma vez no trópico semiúmido a proliferação de espécies predadoras é elevada. Como resultado, os custos dos agrotóxicos assumiram valor expressivo no custo total entre 2000 e 2010, com média de 28,7% e desvio-padrão de 3,0%. Para evitar a perda da safra por ataque de pragas, o agricultor acaba por aplicar maior quantidade de agrotóxicos sucessivas vezes. Em especial, desde a safra 2002, a incidência de ferrugem asiática tem forçado a aplicação crescente de fungicidas (Yorinori et al. 2005).

Os combustíveis (gasolina e diesel) ganham destaque pela uso de máquinas agrícolas que operam com energia fóssil, para transportar insumos e produtos primários, no manejo agrícola e demais veículos automotores utilizados direta ou indiretamente no processo produtivo. No período analisado, o custo com combustíveis alcançou em média 16,1% dos custos totais, com desvio-padrão de 3,1%. A mecanização agrícola é um dos pilares do agronegócio, que substitui o trabalho humano por tecnologia mecânica. A participação relativa da mão-de-obra dentro do custo de produção (em R\$). Sua participação média foi de 3,4% com um desvio-padrão de 0,8% no período 2000-2010. As sementes de soja adquiridas compõe o quarto maior insumo, alcançando em média 9,7% dos custos de produção, com desvio-padrão de 2,5% no período analisado.

Destes dados se depreende que o conjunto formado por adubos químicos (41,6%), agrotóxicos (28,7%) e combustíveis (16,1%) representam 86,4% dos custos totais. Somando a biotecnologia das sementes (9,7%), estes insumos representam 96,1% dos custos totais.

Conclui-se que a produção de soja em Primavera mantém fortes ligações com setores agroindustriais à jusante da atividade primária, com forte integração com a indústria química, petrolífera, mecânica e de biotecnologia. A formação de oligopólios agroindustriais é um fator de risco para a

atividade agrícola, haja vista a falha de mercado que pode impactar no excedente do produtor e elevar o custo dos insumos.

Foi realizada também a análise da margem bruta, que é a razão entre a receita total (R\$) pelo custo total (R\$). Por hipótese, quanto maior a margem bruta de um sistema econômico, maior o nível de acumulação de capital e, por suposto, maior o aumento da capacidade produtiva do referido sistema em função do controle sobre excedentes passíveis de inversão. Trata-se de um indicador da eficiência econômica do sistema de produção de soja, como que pode ser observado na Tabela 7.

No primeiro biênio (2000-2001) é possível identificar uma eficiência da margem bruta com níveis estáveis de acumulação do capital com valores de (1:1,32), ou seja, para cada Real gasto no custo de produção houve uma contrapartida de R\$1,32 na receita. Já no triênio seguinte nota-se um crescimento bem maior, com níveis mais elevados de acumulação de capital para o setor, principalmente no ano de 2003 com valores de (1:1,88). Já a queda da margem bruta nos anos de 2005 com valores de (1:0,93) e 2006 (1:0,76), significa dizer que no ano de 2005 a cada Real gasto houve uma contrapartida de apenas R\$0,93 de receita total. No ano de 2006, para cada Real aplicado houve uma contrapartida de apenas R\$0,76. Tal fato reflete o endividamento líquido do setor, na qual os valores representam a desacumulação de capital dos setores produtivos a montante e a jusante, evidenciando a crise do agronegócio em Primavera do Leste, bem como ocorrido em todo o estado de Mato Grosso no mesmo período, demonstrando ineficiência econômica. E nos anos entre 2007 e 2010 houve o processo de recuperação com uma estabilidade na acumulação de capital, contudo inferior aos valores iniciais analisados. Tal fato revela que a eficiência econômica no sistema produtivo sojeiro em Primavera do Leste seguiu um padrão de cíclico com forte expansão da margem bruta no triênio 2002-2004 frente ao biênio anterior, seguido de uma forte retração da margem



Tabela 7. Margem Bruta a partir da relação receita/custos para produção de soja em Primavera do Leste, de 2000 a 2010.

Safra	Receita Bruta (R\$)	Custo Total (R\$)	Margem Bruta (R\$)	Margem Bruta (%)
2000	130.518.000	98.848.200	31.669.600	1,32
2001	141.825.000	108.273.780	33.551.220	1,31
2002	240.240.000	141.616.200	98.623.800	1,70
2003	459.082.000	243.600.385	215.481.615	1,88
2004	469.660.000	258.414.077	211.245.923	1,82
2005	280.669.000	303.081.352	(22.412.352)	0,93
2006	154.123.000	203.517.600	(49.394.600)	0,76
2007	235.676.000	188.454.000	47.222.000	1,25
2008	387.188.000	308.524.192	78.663.808	1,25
2009	400.085.031	316.583.151	83.501.880	1,26
2010	330.498.000	273.278.177	57.219.823	1,21

Fonte: Elaborada a partir dos dados da CONAB, 2012 e IBGE, 2009.

bruta, com desacumulação de capital no biênio 2005-2006. A recuperação no quadriênio 2007-2010 apenas apresentou um ajustamento à margem bruta próxima de 25%. No agregado, houve acumulação de aproximadamente R\$644 milhões no período, descontando os prejuízos de 2005-2006, porém, com tendência de compressão da margem bruta nas últimas quatro safras em relação a período pré-crise.

Realizou-se o levantamento dos insumos da produção no total dos *inputs* (energia de entrada) para cada ano, conforme Tabela 8, no sentido de verificar quais insumos apresentam maior importância na composição total na energia de entrada, ou seja, identificar o principal insumo responsável pela eficiência ou ineficiência termodinâmica do sistema em estudo. Os insumos analisados foram: mão-de-obra, adubos (NPK), sementes, combustíveis (gasolina e diesel), máquinas e agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, formicidas e fungicidas). É possível notar a partir da Tabela 8, que a participação da mão-de-obra

na análise energética é bem reduzida, de 0,1% com desvio-padrão tendendo a zero para todos os anos analisados, demonstrando que processo de produção da soja é extremamente mecanizado.

Os adubos apresentam a maior participação no custo da produção e também nos *inputs* de energia, com inserção de  $59,0\% \pm 7,2\%$  no período 2000-2010. A maior parcela é de fósforo e potássio, em proporções variáveis em função da safra. O uso de nitrogênio foi registrado somente no início da série, pois segundo Sfredo (2008), a fixação biológica do nitrogênio (FBN) realizado pelas micorrizas presentes na raiz da planta de soja é a principal fonte de nitrogênio para a própria cultura, não havendo necessidade de aplicar esse nutriente na adubação.

A participação das sementes nos *inputs* de energia alcançaram em média  $7,7\% \pm 0,6\%$  no período analisado. A partir da safra 2008, com o uso de milho para cobertura de palhada, tem-se uma maior participação deste insumo.



Tabela 8. Participação relativa (%) dos insumos na análise energética (kcal) da produção de soja em Primavera do Leste, 2000 a 2010.

Safra	Adbos	Agrotóxicos	Combustíveis	Sementes	Máquinas	M.Obra
2000	64,3	20,0	7,3	8,0	0,4	0,0
2001	63,5	21,7	6,8	7,5	0,4	0,0
2002	63,7	21,6	6,8	7,5	0,4	0,0
2003	62,9	23,1	6,2	7,4	0,4	0,1
2004	62,9	23,1	6,2	7,4	0,4	0,1
2005	62,9	23,1	6,2	7,4	0,4	0,1
2006	62,8	22,1	7,3	7,3	0,4	0,0
2007	62,8	22,1	7,3	7,3	0,4	0,0
2008	49,6	29,8	10,1	9,2	1,2	0,0
2009	49,3	30,0	11,0	8,4	1,3	0,0
2010	45,0	36,8	9,5	7,5	1,1	0,0
<b>Média</b>	<b>59,0</b>	<b>24,9</b>	<b>7,7</b>	<b>7,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,0</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>7,2</b>	<b>5,1</b>	<b>1,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>

Fonte: Elaborada a partir dos dados da CONAB, 2012.

A participação média dos combustíveis e de maquinaria foi crescente no período, pois são insumos complementares. Os combustíveis alcançaram média de  $7,7\% \pm 1,7\%$  e as máquinas de  $0,6\% \pm 0,1\%$ . Há um claro fortalecimento do uso de máquinas agrícolas. Na safra 2010 o uso de combustíveis e máquinas recua, porém mantém-se acima do período 2000-2007.

Entretanto, os agrotóxicos são os insumos que apresentam maior expansão no *input* energético da produção de soja. No período 2000-2010 este insumo representou  $24,9\% \pm 5,1\%$ . Contudo, desde a safra 2008 a aplicação de agrotóxicos tem sido crescente, alcançando importantes  $36,8\%$  na safra 2010. Entre as explicações do grande consumo de agrotóxico é que a soja geneticamente modificada não dispõe de processos biológicos para produzir os compostos químicos para se defender, passou a depender dos agrotóxicos para o controle biológico, e afinal exigirá uma demanda de energia maior (Odum e Barret 2008).

Na Tabela 9 estão listadas as participações relativas dos agrotóxicos no input energético da soja. Os herbicidas são os principais componentes do uso de agrotóxicos, com média de  $17,2\% \pm 2,5\%$  no período. Sua participação se eleva mais fortemente ao final da série, quando a tecnologia OGM (organismos geneticamente modificados) passam a representar a principal tecnologia biológica. Esta semente OGM necessita aporte maior de herbicidas, posto que a planta de soja é resistente a este produto químico e o seu uso elimina outras plantas competidoras.

Ademais, a necessidade de inseticidas é crescente e alcançaram  $5,0\% \pm 1,9\%$  no período, com destaque de elevação desde a safra 2008. Por sua vez, os fungicidas passam a ser crescentemente necessários desde a safra 2006, quando a ferrugem asiática se torna mais relevante e as perdas econômicas consideráveis. A sua participação média entre 2000 e 2010 foi de  $2,6\% \pm 1,1\%$ . Nas últimas três safras (2008-2010) a participação dos



fungicidas alcançou cerca de 4,4% dos inputs energéticos. Por suposto, os empreendimentos monocultores ao invés de buscar soluções preventivas que evitem a proliferação de espécies predadoras, buscam resoluções sintomáticas aplicando controladores químicos. Dialeticamente, quanto mais utilizam controladores da natureza, mais simplificam os ecossistemas gerando menor resistência e resiliência das culturas agrícolas. Neste quadro, o ataque de espécies predadoras pode se tornar exponencial.

Desta forma, percebe-se que o complexo químico-industrial é o grande fornecedor de energia para a sojicultura. Somando as participações médias dos adubos (59,0%), dos agrotóxicos (24,9%), dos combustíveis (7,7%) e das máquinas (0,6%), tem-se 92,2% da energia exógena incorporada no sistema produtivo somente de insumos industriais. As fontes biológicas se limitam a 7,7% com a participação das sementes, sendo a mão-de-obra infinitesimal. A energia do calcário é desprezível.

A análise da eficiência termodinâmica (ET) dos fluxos energéticos para o sistema de produção de soja em Primavera do Leste está apresentada na Tabela 10, onde estão mostrados os valores agregados de entrada (*input*) e saída (*output*). Nela, pode ser observados os resultados da razão *output/input* com valores médios de  $3,97 \pm 0,4$ . O maior saldo energético ocorreu em 2000 e no período 2000-2006 há uma clara tendência de redução da eficiência energética. A partir da safra de 2007 percebe-se uma maior inserção de energia exógena na forma de agrotóxicos. A produtividade de eleva aos níveis do início da década e há uma recuperação da eficiência energética que retorna ao patamar acima de 4,00. Contudo, no biênio 2009-2010 a eficiência volta a cair abaixo de 4,00 na safra 2010.

Os anos de maiores ineficiência energética foram 2005 e 2006, com valores de 3,29 e 3,34. Esses valores revelam uma crise velada do sistema, tendo como principal causador o alto custo energético do uso de agrotóxicos no trópico subúmido. Apesar de estar acima

Tabela 9. Participação relativa (%) dos agrotóxicos na análise energética (kcal) da produção de soja em Primavera do Leste, 2000 a 2010.

Safra	Herbicidas	Inseticidas	Fungicidas
2000	14,2	4,2	1,5
2001	16,7	3,2	1,8
2002	16,6	3,2	1,8
2003	16,4	4,9	1,8
2004	16,4	4,9	1,8
2005	16,4	4,9	1,8
2006	16,3	3,2	2,6
2007	16,3	3,2	2,6
2008	17,8	7,7	4,3
2009	17,7	7,7	4,6
2010	24,3	8,2	4,2
<b>Média</b>	<b>17,2</b>	<b>5,0</b>	<b>2,6</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>2,5</b>	<b>1,9</b>	<b>1,1</b>

Fonte: Elaborada a partir dos dados da CONAB, 2012.



da indicação de Risoud (1999) e de Schroll (1994) para sistemas superavitários em energia, a produção em Primavera do Leste é menos eficiente daqueles avaliados por Melo et al. (2007), que indicaram um excedente de 5,47 e de 5,41 na sojicultura na região Oeste do estado do Paraná nas safras de 2002 e 2003 respectivamente, além do trabalho de Campos et al. (2009) que estimou o excedente energético de 18,64 na sojicultura de plantio direto em Medianeira no Oeste do Paraná. Serrão e Ocácia (2007) apresentam um excedente energético de 6,33 para a sojicultura do Rio Grande do Sul.

A média de 3,97 em Primavera do Leste pode indicar que nestes espaços não há margem para grandes excedentes energéticos com a tecnologia atual naquela região. Deve-se buscar novas abordagens e procedimentos que venham a elevar a produtividade conjugada com uma restrição de incorporação de energia. Os resultados da sojicultura em Primavera podem indicar a necessidade de reflexão da manutenção desta atividade no trópico úmido e subúmido. Para a construção de modelos produtivos mais próximos da sustentabilidade, torna-se imperativo identificar os sistemas produtivos

mais eficientes, dadas as condições edafoclimáticas locais e regionais. E talvez a sojicultura em zonas tropicais úmidas e subúmidas necessitem de tais reflexões para se ter clareza da sua real capacidade de manutenção no longo prazo.

O uso do balanço energético distingue a energia útil para propósitos humanos e pode revelar que sistemas econômicos superavitários podem ser deficitários ou tendencialmente deficitários do ponto de vista energético. Quanto menor a energia organizada que está incorporada no produto final em relação à energia organizada de entrada nos insumos, maior a formação de entropia no sistema em função da perda de qualidade energética. No caso de Primavera do Leste, os insumos que apresentam crescimento elevado são os agrotóxicos, que podem inviabilizar a produção de soja tanto do ponto de vista energético quanto econômico.

Em qualquer sistema de produção se espera a expansão da produtividade para que haja cada vez maior excedente. Em Primavera do Leste percebe-se que a produtividade, no período de 2000 a 2010, tende a manter-se

Tabela 10. Eficiência termodinâmica da produção de soja em Primavera do Leste, 2000 a 2010 (em kcal).

Safra	Input	Output	Eficiência Termodinâmica (Output/Input)
2000	2,74E+06	1,23E+07	4,49
2001	2,93E+06	1,24E+07	4,23
2002	2,95E+06	1,25E+07	4,23
2003	2,99E+06	1,20E+07	4,00
2004	2,99E+06	1,12E+07	3,75
2005	2,99E+06	9,84E+06	3,29
2006	2,99E+06	1,00E+07	3,34
2007	2,99E+06	1,24E+07	4,14
2008	2,92E+06	1,25E+07	4,28
2009	2,94E+06	1,20E+07	4,09
2010	3,21E+06	1,25E+07	3,90
<b>Média</b>	<b>2,97E+06</b>	<b>1,18E+07</b>	<b>3,97</b>

Fonte: Elaborada a partir dos dados da CONAB, 2012.



estacionada, em torno de 2.946 ton./hectare, com desvio-padrão de 0,248 ton./hectare e um máximo de 3.130 ton./hectare na safra de 2010.

Como a produtividade da atividade agrícola (toneladas de soja/ha/ano) depende da interação dos processos biológicos com o meio físico, é importante perceber as restrições impostas pelos ecossistemas, na tentativa de um desenvolvimento sustentável. Caso a expansão da produção de soja tenha com base a incorporação de novas áreas e não no aumento da produtividade, cria-se, dialeticamente, uma antítese.

A antítese baseia-se na negação da complexidade da vida local em favor do monocultivo, que gera na verdade, menor capacidade de manutenção de estruturas biológicas. Quanto maior a área aberta de cultivo, menor a biodiversidade local e menor a interação com o meio físico, podendo reduzir a capacidade de resistência dos agroecossistemas locais (resiliência ecológica). Pelo princípio da precaução, o esforço em produzir deveria focalizar-se predominantemente na intensificação pelo uso de tecnologia apropriada, reduzindo as perdas de biodiversidade, de exposição dos solos, de possibilidade de lixiviação e erosão e da manutenção de populações biológicas. Quanto menor a resistência e resiliência dos ecossistemas locais, maiores serão as possibilidades de ataques de populações aos agroecossistemas (Costa 2007) e, isso explica o crescente uso de agrotóxicos na produção de soja em Primavera do Leste. Ou seja, dialeticamente, quanto mais se busca produzir com abertura de novas áreas, o sistema se torna menos sustentável, com crescente dependência de insumos exógenos para se manter.

Uma mutação gênica pode tornar a uma praga agrícola tolerante a determinado agrotóxico, passando essas características a seus descendentes. Com o uso intenso de um agrotóxico, a população de organismos sensíveis diminui e a dos resistentes aumenta por pressão de seleção. Nesses casos, o agricultor responde aplicando altas doses do agrotóxico. A praga, por sua vez, torna-se

resistente às altas doses do agrotóxico por um mecanismo de seleção natural. Caso o agricultor resolva mudar de agrotóxico, surgem os processos de resistência cruzada. De modo geral, nos insetos os genes ou os grupos de genes responsáveis pelos mecanismos de destoxificação, possuem um amplo espectro de ação, isto é, são capazes de codificar enzimas que metabolizam e degradam diferentes grupos químicos de agrotóxicos (Grisólia 2005).

Como resultados mais objetivos da eficiência energética e da margem bruta, tem-se um vetor cíclico de excedente energético em Primavera do Leste, sem tendência perceptível. Além disso, os dados indicam uma maior sensibilidade do sistema econômico em relação à acumulação de capital, pois muitos eventos dependem de variáveis externas e com grande oscilação e se materializam tanto na função custo quanto nos preços da soja. Há uma maior compressão das margens ao final do período analisado, conformando um quadro de maior competitividade pelo excedente econômico.

Por outro lado, o sistema produtivo tem respondido aos efeitos dos impactos naturais, incorporando mais energia externa para 'organizar' a produção, em especial, os agrotóxicos para dominar os ímpetus das espécies que porventura venham a se alimentar do precioso capital adiantado, temporariamente aprisionado, na planta de soja.

Este processo conjugado com a tendência geral de redução da produtividade aumenta a entropia do sistema. Esta entropia pode manter-se 'velada' sob o sistema econômico enquanto vigorarem condições de acumulação de capital, por causa dos preços da soja e das ações das estruturas institucionais.

Caso as condições de reprodução social do capital venham a ser constrangidas, seja por uma crise ecológica endógena que leve a utilizar em forma crescente os agrotóxicos e fertilizantes ou por mudança exógena dos preços ou condições institucionais, a sojicultura de Mato Grosso pode incorrer em riscos crescentes, com impactos



consideráveis no tecido produtivo e social regional.

## 7. Considerações finais

A eficiência termodinâmica da soja em Primavera do Leste tem apresentado um indicador médio de  $3,97 \pm 0,4$  entre as safras de 2000 e 2010. Conforme Schroll (1994) sugere, a eficiência energética deve estar acima de 2,00 para ser considerada tendencialmente sustentável. Para Risoud (1999), bastaria o sistema manter-se com um excedente acima de um para ser considerado superavitário.

Contudo, apenas avaliar o saldo energético não seria suficiente. Deve-se identificar as fontes dos insumos e a sua possibilidade de manutenção de longo prazo. Apoiar-se em grandes fluxos de energia exógena e potencialmente exauríveis pode representar um grau elevado de risco. Além disso, deve-se avaliar o potencial tóxico dos insumos utilizados. Os agrotóxicos podem contaminar vários compartimentos ambientais, além das populações faunísticas e florísticas no ecossistema circundante. A adubação pode interferir no equilíbrio das populações de bacias hídricas pelo processo de eutrofização. O uso de combustíveis fósseis eleva a emissão de carbono e não se sustenta no longo prazo.

Neste quadro, deve-se envidar esforços no monitoramento da sojicultura no trópico subúmido, buscando perceber se há uma tendência de ineficiência energética que implicaria em um sistema produtivo insustentável. Como a sojicultura apresenta uma margem bruta positiva, em uma análise superficial e economicista, parece esconder uma crise ecológica endógena.

Uma compreensão sistêmica mais ampla necessita incorporar indicadores ecológicos e sociais. Neste artigo buscou-se a interpretação da concretude alicerçada com o indicador da eficiência termodinâmica. Em estudos mais avançados sugere-se a incorporação de indicadores sociais. Porém, independente de novas métricas, a eficiência termodinâmica de Primavera do Leste sofre

de problemas estruturais.

O cálculo dos valores de eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos de um sistema constitui uma poderosa ferramenta de diagnóstico de sistemas produtivos agrícolas, no que se refere à questão energética, podendo auxiliar na tomada de decisão dos agricultores, além de analisar a propriedade como um sistema complexo e não apenas um subconjunto de um sistema.

Considera-se possível que os agentes econômicos quanto os planejadores do desenvolvimento regional e local reajustar seus sistemas produtivos em direção à sustentabilidade usando os indicadores energéticos conjugados com indicadores econômicos e sociais. A negligência no reconhecimento da crise ecológica e econômica da região e a falta de providências adequadas pode levar a uma forte crise socioeconômica.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, F.A., N.E.M. Beltrão, J.M.C. Oliveira, D.G. Vale, J.C.A. Silva, W.V. Cartaxo. 2007. *Balço energético da cultura do algodão na pequena propriedade rural no cerrado de Mato Grosso do Sul*. Uberlândia, Abrapa, VI Congresso Brasileiro de Algodão.
- Albuquerque, F.A., N.E.M. Beltrão, D.G. Vale. 2007. *Análise Energética do Algodoeiro na Agricultura Familiar em Diferentes Regiões nos Estados do Ceará e do Mato Grosso do Sul*. Circular Técnica n.º116, Campina Grande, Embrapa Algodão.
- Albuquerque, F.A., M.N. Batista, R.A. Oliveira, M.S. Tavares. 2010. *Análise Energética do Cultivo do Algodão Orgânico Consorciado com Culturas Alimentares*. IV Congresso Brasileiro de Mamona & I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, p.341-347.
- Altieri, M., O. Masera. 1997. *Desenvolvimento rural sustentável na América Latina: construindo de baixo para cima*. In: Almeida, J., Z. Navarro (Coord.). *Reconstruindo a agricultura: ideias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural 20 sustentável*. Porto Alegre: UFRGS, p.72-105.
- Beltrão, N.E.M., D.M.P. Azevedo, L.B. Nóbrega, M.R.B. Lacerda. 1993. *Estimativa da energia cultural na cotonicultura arbórea no nordeste brasileiro, comparando-se o mocó tradicional com o precoce*. Campina Grande: Embrapa Algodão. (Boletim de Pesquisa, 29).



- Bueno, O.C. 2002. *Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural*. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Campos, A.T., W.A. Ferreira, L.C.T. Yamaguchi. *Balanco econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite*. Engenharia Rural, Piracicaba, v. 9, n.1, p.10-20, 1998.
- Campos, A.T., E.S. Klosowsk, C.V. Souza, A. Zanini, T.M.V. Prestes. 2009. *Análise Energética da Produção de Soja em Sistema Plantio Direto*. Global Scientific Technology, v.02, n.02, p.38-44, mai/ago.
- Castanho Filho, E.P., D. Chabariberi. 1982. *Perfil energético da agricultura paulista*. São Paulo: IEA, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo do Estado de São Paulo, 55p. (Relatório de pesquisa 9/82).
- Cechin, A. 2010. *A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen*. São Paulo: Editora SENAC São Paulo/Edusp.
- Conab (Companhia Nacional de Abastecimento). 2012. *Dados referentes a coeficientes técnicos, custos, produtividade e área de plantada de algodão, soja e milho em Mato Grosso, 2000-2010*. Fornecido em mídia pela Gecup/Conab, em 30 de março.
- Costa, F.A. 2007. *O Desafio do Desenvolvimento na Amazônia*. In: Brito, M.F., A. Fanzeres, C. ELIA. Entrevista com Francisco de Assis Costa. Revista Amazônia Legal de Estudos Sócio-Jurídicos-Ambientais. Cuiabá, ano 1, n. 1, p.41-52, jan.-jun.
- Doering, O.C., R.N. Peart. 1977. *Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis*. Indiana: Purdue University, 128 p.
- Fao (Food and Agricultural Organisation). 1980. *Energia para la agricultura mundial: parte 2 - los flujos energéticos en la agricultura*. Roma: Fao, p.43-94. (Colección Fao: Agricultura, 7).
- Faria, A.M.M., D. Dallemole, S.C.F. Leite, M.G. Figueiredo, J.A. Lamera, V.M. Gomes, D.J.A. Almeida; L.S. Veiga Filho, A.P. Alves. 2009. *Balança Comercial de Mato Grosso: 2006*. In: *Análise do Mapeamento e das Políticas para Arranjos Produtivos Locais no Norte e Nordeste do Brasil e dos Impactos dos Grandes Projetos Federais em Estados Nordestinos Seleccionados*. Relatório do Projeto de Pesquisa Bndes/Funpec/Ufmt. Cuiabá setembro.
- Freitas, S.M., M.D.M. Oliveira, C.E. Fredo. 2006. *Análise comparativa do balanço energético do milho em diferentes sistemas de produção*. XLIV Congresso da Sober. Fortaleza, Anais.p.1-13. Disponível em: [www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=6832](http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=6832).
- Grisolia, C.K. 2005. *Agrotóxicos-Mutações, Reprodução e Câncer*. Brasília, DF, ed. Universidade de Brasília, p.392.
- Heitschmidt, R.K., R.E. Short, E.E. Grings. 1996. *Ecosystems, sustainability, and animal agriculture*. Journal of Animal Science, Champaign, v.74, p.1395-1405.
- Ibge (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1999. *Estudo Nacional da Despesa Familiar: Tabelas de Composição de Alimentos*. Rio de Janeiro: Ibge, 127p.
- Ibge (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2010. *Censo Agropecuário*. Rio de Janeiro: Ibge.
- Ibge (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2010. *Ibge Cidades: Primavera do Leste (Mato Grosso)*. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&odmun=510704&search=mato-grosso|primavera-do-leste>. Acesso em 01 de novembro.
- Lockeretz, W. 1980. *Energy inputs for nitrogen, phosphorus and potash fertilizers*. In: Pimentel, D. (Ed), "Handbook of energy utilization in agriculture". Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., p.23-26.
- Melo, D., J.O. Pereira, E.G. Souza, A. Gabriel Filho, L.H.P. Nóbrega, R. Pinheiro Neto. 2007. *Balanco energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná*. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 29, n. 2, p. 173-178.
- Nascimento, C.K., J.P. Braga, J.D. Fabris. 2004. *Reflexões sobre a Contribuição de Carnot à Primeira Lei da Termodinâmica*. Quim. Nova. Belo Horizonte, Vol.27, No.3, p.513-515.
- Odum, E.P., G.W. Barret. 2008. *Fundamentos de Ecologia*. São Paulo: Cengage Learning, 612p.
- Pereira, B.D. 1995. *Industrialização da Agricultura de Mato Grosso*. Cuiabá, Edufimt.
- Pereira, B.D. 2007. *Mato Grosso: Principais Eixos Viários e Modernização da Agricultura*. Cuiabá, Edufimt.
- Pimentel, D., L.D. Hurd, A.C. Bellotti, M.J. Forster, I.N. Oka, O.D. Sholes, R.J. Whitman. 1973. *Food production and the energy crises*. Science, New Series, N.Y. (USA), v.182, n.4111, p.443-449.
- Pimentel, D. 1980. *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc.
- Pimentel, D., G. Berardi, S. Fast. 1983. *Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture*. Agriculture, Ecosystems and Environment, n.9, p.359-372.
- Risoud, B. 1999. *Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles*. Économie Rurale, n. 252, p.16-27, juil./août.
- Romeiro, A.R. 2003. *Introdução à Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. May, P. H., M.C. Lustosa, V. Vinha (org.). Rio de Janeiro, Editora Campus.
- Sá, J.C.M. 2009. *Plantio Direto em Mato Grosso*. Palestra na Assembleia Legislativa de Mato Grosso. Cuiabá, outubro.
- Scott, W.O., J. Krummel. 1980. *Energy Used in*



*Producing Soybeans*. In: Pimentel, D. Handbook of Energy Utilization in Agriculture. Florida: CRC Press p.117-119.

Schroll, H. 1994. *Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture*. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.5, p.301-310.

Serrão, A.A., G.C. Ocácia. 2007. *Produção de biodiesel de soja no Rio Grande do Sul*. Novo Hamburgo, Revista Liberato, v.8, n.9, jan./jun.

Sfredo, G.J. 2008. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. Embrapa Documento 305. Embrapa Soja. Londrina, setembro. 148p. Disponível em ><http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc305.pdf><  
Acesso em: 03/02/2013.

Ulbanere, R.C. 1988. *Análise dos balanços energéticos e econômicos relativa à produção e perdas de grãos de milho no Estado de São Paulo*. 127f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

Yorinori, J.T., W.M. Paiva, R.D. Frederick, L.M. Costamilan, P.F. Bertagnolli, G.E. Hartman, C.V. Godoy, J. Nunes Junior. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. Plant Disease 89, p.675-677.

Webber, M.E. 2012. *Mais alimento, menos energia*. Scientific American Brasil, Aula aberta. Editora Moderna: Ano II, nº12, p.34-39.