



"CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION"

Contabilidade Ambiental Em Emergia de Sistema de Produção de Leite: O Selo Orgânico é Sinônimo de Produção Sustentável?

OLIVEIRA, M.W. a, b, *, AGOSTINHO, F. a

^a Universidade Paulista, São Paulo, Brazil ^b Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, Minas Gerais, Brazil

*Corresponding author: max.oliveira@ifsuldeminas.edu.br

Resumo

A produção agropecuária com manejo orgânico está presente e continua se expandindo pelo território brasileiro, anunciada como um sistema alternativo que produz alimentos saudáveis em um sistema sustentável. Para receber o certificado de orgânico, o sistema de produção deve obedecer às regulamentações da Lei nº 10.832/03 que sugere ações a serem respeitadas. Por outro lado, os sistemas orgânicos vêm sendo considerados como sinônimos de sustentáveis, mas informações quantitativas que sustentam esta afirmação são escassas, o que levanta dúvidas sobre o rótulo de sustentável para todo sistema orgânico. Este trabalho objetiva avaliar a relação entre o binômio orgânico-sustentável, para isso, um sistema de produção de leite certificado como orgânico existente no estado de São Paulo é considerado como estudo de caso. A contabilidade ambiental em emergia (com "m") é utilizada como metodologia para quantificar a sustentabilidade. Os resultados indicam que o sistema orgânico (SO) avaliado possui baixa renovabilidade (%R de 19%), explora ineficientemente os recursos da natureza o que resulta em elevada demanda de recursos da economia (EIR de 3,63 e EYR de 1,23), demanda grande quantidade de recursos não renováveis que causam moderada carga sobre o meio ambiente (ELR de 4,07), e possuem baixa sustentabilidade (ESI de 0,30). Todos estes índices possuem pior desempenho e estão longe dos índices encontrados em literatura para sistemas ecológicos de produção agropecuária sustentáveis. O SO avaliado não poderia ser rotulado como sustentável, desta forma, sistema de produção orgânico não pode ser considerado sinônimo de produção sustentável. De qualquer forma, sugere-se que outras abordagens sejam simultaneamente consideradas à avaliação em emergia para obter resultados sob diferentes aspectos de escala e tempo.

Palavras chave: Emergia; Indicadores de sustentabilidade; Produção de leite orgânico.

1 Introdução

Com a crescente preocupação da sociedade em consumir produtos mais saudáveis e sobre a capacidade de suporte do planeta, surgem sistemas alternativos para produção de alimentos, dentre estes, a agricultura orgânica. Segundo Brasil (2003), sistemas de produção agropecuários podem ser classificados como orgânicos quando utilizam técnicas que otimizam o uso dos recursos naturais e socioeconômicos regionais, evitando o emprego de produtos sintéticos e organismos geneticamente modificados, além de objetivar a sustentabilidade econômica e ambiental.

Usualmente rotulado como produção agropecuária sustentável e que produz alimentos mais saudáveis (Pessoa et al., 2002; Brasil, 2003), os sistemas orgânicos vem se expandindo por todo o território

brasileiro, atingindo em 2013 aproximadamente 10.000 unidades produtivas (MAPA, 2014). De acordo com Medaets e Fonseca (2005), a redução da demanda por insumos externos, aliado ao maior preço de venda, conjunção da economia local pela maior utilização de insumos da região, e além de uma maior consciência ambiental do consumidor, são fatores que estimulam a adoção do manejo orgânico pelos produtores agropecuários.

Para ser certificado como orgânico, o produto deve obedecer às normas e práticas da produção orgânica como regulamentadas pela Lei nº 10.831/03 (Brasil, 2003) e instrução normativa IN 17/2014 (Brasil, 2014). Sob o enfoque agroecológico e se baseando em informações qualitativas, Caporal e Azevedo (2011) afirmam que uma agricultura orgânica certificada não é necessariamente uma agricultura sustentável, pois o manejo inadequado de insumos orgânicos poderá provocar um colapso no ciclo natural da produção. Para Ehlers (1996), uma agricultura sustentável é aquela que não agride o meio ambiente e mantém as características do ecossistema por longos períodos. Com tudo isso, surge a seguinte pergunta: o rótulo de produto orgânico também pode ser considerado sinônimo de sustentabilidade do sistema de produção?

Na tentativa de responder a esta pergunta, existe uma série de abordagens metodológicas na literatura científica que são capazes de aprofundar na discussão quantitativa sobre a sustentabilidade de um sistema produtivo. Para isso, são considerados diferentes enfoques de tempo e espaço, assim como abordando os diferentes aspectos econômicos, sociais e ambientais que integram o mais amplo conceito de sustentabilidade. Como exemplo pode-se citar a Pegada Ecológica de (Wackernegal e Rees, 1996), a avaliação do ciclo de vida (LCA, 1997), indicadores sociais como GINI e qualidade do trabalho, abordagens econômicas, e uma integração de várias abordagens (Ulgiati et al., 2006). Entre elas, a Contabilidade Ambiental em Emergia (Odum, 1996) merece certo destaque devido à sua abordagem sistêmica e por considerar o valor de energia pelo lado do doador, o que permite a contabilidade de recursos da natureza que geralmente são considerados como gratuitos. Adicionalmente, a contabilidade ambiental em emergia considera o modelo de sustentabilidade forte, em que a esfera ambiental suporta o desenvolvimento social e econômico.

A contabilidade ambiental em emergia vem sendo utilizada para estudar diferentes sistemas agropecuários como a produção de cana de açúcar para produção de etanol (Agostinho e Ortega, 2012; Pereira e Ortega, 2010), soja para exportação (Cavalet e Ortega, 2009; Panzieri et al., 2000), aves como fonte de proteína (Bastianoni et al. 2010, Castellini et al., 2006), peixes (Vassallo et al. 2007; Vassallo et al. 2009), sistemas agrícolas integrados (Lefroy e Rydberg, 2003), café (Giannetti et al., 2011), leite (Jaklič et al., 2014; Vigne et al., 2013; Rótolo et al., 2010; Alfaro-Arguello et al., 2010). Devido à produção de leite orgânica no Brasil possuir legislação específica, dificilmente se encontra publicações científicas sobre sua sustentabilidade avaliada pela metodologia em emergia, ou quando encontrada (Albuquerque, 2006), os critérios metodológicos adotados são diferentes aos aplicados neste trabalho o que dificulta comparações e responde por diferentes perguntas de pesquisa.

O objetivo deste estudo é avaliar se a certificação orgânica pode ser considerada como sinônimo de sustentabilidade para a produção de leite. Para isto, a Contabilidade Ambiental em Emergia é aplicada no estudo de um sistema de produção de leite orgânico existente no Estado de São Paulo. Os indicadores obtidos são comparados com outros cinco sistemas de produção de leite que possuem manejo convencional, previamente avaliados por Oliveira e Agostinho ("under review").

2 Metodologia

2.1 Sistema de produção de leite orgânico (SO)

Brasil (2003) define sistema orgânico para aqueles que "adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente." Ainda segundo Brasil (2003), sistema ecológico,

biodinâmico, natural, regenerativo, biológico, agroecológicos entre outros, estão dentro do conceito de sistema orgânico de produção agropecuária. Produto orgânico poderá receber a certificação de organismos reconhecidos oficialmente ou serem comercializados diretamente com o consumidor, desde que este produtor esteja associado a uma organização cadastrada a um órgão fiscalizador.

Dados primários sobre o sistema de produção orgânico aqui avaliado foram coletados *in loco*. Apenas um sistema foi considerado como estudo de caso, pois se sabe que apenas um estudo é necessário para derrubar uma hipótese – a de que orgânico é sinônimo de sustentável. Sobre a representatividade do caso de estudo, a propriedade considerada foi recomendada por técnicos extensionistas (comunicação pessoal) como representativa de sistemas de produção orgânico da região sul de Minas Gerais e norte de São Paulo. A propriedade situa-se na mesorregião de Campinas, estado de São Paulo, a aproximadamente 925m de altitude. A temperatura média da região é de 23°C, com precipitação média anual de 1600mm. A área total é de 102ha, onde a área destinada à produção de leite integra 12ha de pastagem em piquetes, 3ha de cana de açúcar e 5ha de milho utilizados como ração complementar. Outras áreas da propriedade incluem vegetação natural, eucalipto, café, e de hortaliças, todos cultivados sob manejo orgânico. Existem 60 vacas da raça Girolando produzindo 1370 L_{leite}/dia, com ordenhadeira mecânica e mão de obra contratada.

Albuquerque (2006), utilizando a Contabilidade Ambiental em Emergia, avaliou esta mesma propriedade focando em sua sustentabilidade e considerando, como limites do sistema, a área total da propriedade. Foram incluídos nesta análise todos os seus sistemas de produção internos, como café, leite, hortaliças, vegetação natural, etc. Desta forma, os resultados encontrados por Albuquerque (2006) respondem a diferentes objetivos comparados aos do presente trabalho, pois aqui se considera como limites do sistema apenas a produção de leite. Busca-se, no presente trabalho, avaliar a sustentabilidade da produção de leite orgânico ao invés do sistema produtivo como um todo.

Para auxiliar nas discussões dos resultados, os indicadores de sustentabilidade aqui calculados para o SO são comparados aos do estudo de Oliveira e Agostinho ("under review") identificados na Tab. 1, que analisaram cinco diferentes sistemas de produção de leite convencionais e representativos da região sul de Minas Gerais. É válido ressaltar que os mesmos critérios metodológicos considerados por Oliveira e Agostinho ("under review") foram também considerados na avaliação do SO neste trabalho.

Tab.	1. Características	dos	sistemas	de	produção	de	leite	convencionais	estudados	por	Oliveira	е	Agostinho
("unde	r review").												

Sistema	Classificação	Características
G1	Semi-intensivo	Pasto de boa qualidade e dividido em piquetes. Uso de forrageiras e ração suplementar durante todo o ano. Mão de obra contratada. Ordenha mecanizada. Produção média de 4400 L _{leite} /dia. Produtividade média de 21 L _{leite} /vaca/dia.
G2	Semi-intensivo	Pasto de boa qualidade e dividido em piquetes. Uso de forrageiras e ração suplementar durante todo o ano. Mão de obra familiar e contratada. Ordenha mecanizada. Produção média de 360 $L_{\rm leite}/{\rm dia}$. Produtividade média de 12 $L_{\rm leite}/{\rm vaca}/{\rm dia}$.
G3	Extensivo	Pasto com baixa qualidade. Uso de forrageiras durante todo o ano Mão de obra familiar. Produção média de 30 $L_{\rm leite}/{\rm dia}$. Produtividade média de 5,5 $L_{\rm leite}/{\rm vaca}/{\rm dia}$.
G4	Intensivo	Confinamento total dos animais. Uso de forrageiras e ração durante todo o ano. Mão de obra contratada. Produção média de $1060 L_{leite}/dia$. Produtividade média de $21 L_{leite}/vaca/dia$.
G5	Intensivo	Confinamento total dos animais. Uso de forrageiras e ração durante todo o ano. Mão de obra contratada. Produção de $L_{\text{leite}}/\text{dia}$. Produtividade média de 31 $L_{\text{leite}}/\text{vaca}/\text{dia}$.

2.2 Contabilidade ambiental em emergia

A contabilidade ambiental em emergia (Odum, 1996) é uma metodologia que considera, além da contribuição da sociedade – recursos econômicos –, o trabalho passado e presente da natureza para a produção de um bem ou serviço. Todo fluxo de massa, energia, e até monetário que entram pelas fronteiras do sistema produtivo são contabilizados e convertidos em uma unidade de medida comum, o emjoule solar (seJ). Essa conversão é feita por meio da multiplicação dos fluxos de massa, energia, e

monetário (em g, J, e \$) pelos seus respectivos Valores Unitários de Emergia (UEVs), definidos como a quantidade de emergia solar necessária para gerar uma quantidade unitária do fluxo (por exemplo, seJ/J, seJ/g, seJ/\$). Particularmente, quando a UEV possui a unidade de seJ/J, ela é chamada de transformidade, indicando a eficiência na conversão da emergia solar em disponibilizar um Joule de energia na forma de bem ou serviço. Detalhes sobre a contabilidade ambiental em emergia podem ser encontrados, principalmente, em Odum (1996) e Brown e Ulgiati (2004).

A avaliação em emergia baseia-se em três etapas. (i) Na primeira etapa é elaborado o diagrama de energia que representa o sistema em estudo, indicando todos os fluxos de energia que cruzam seus limites, pois em todos os processos da biosfera existem fluxos de energia. Nesta etapa, busca-se identificar os fluxos mais importantes ao funcionamento do sistema, assim como, deixar claro, o funcionamento do sistema que está sendo avaliado. Os fluxos identificados são classificados em recursos renováveis da natureza (R), não renováveis da natureza (N), e os recursos provindos da economia (F). (ii) Na segunda etapa, uma tabela é organizada contendo todos os fluxos identificados no diagrama anterior, incluindo a quantidade destes fluxos que entram no sistema por determinado período de tempo – usualmente um ano –, a UEV correspondente a cada fluxo identificado - veja Apêndice A -, e, finalmente, a emergia de cada fluxo obtido pela multiplicação da quantidade do fluxo pela sua respectiva UEV. (iii) Na terceira etapa, os índices em emergia são calculados através das relações entre os recursos "R", "N", e "F", indicando o desempenho em emergia do sistema sob diferentes perspectivas, mas sempre relacionando à sustentabilidade do sistema. A Tab. 2 apresenta os índices em emergia considerados neste estudo.

Tab. 2. Índices em emergia considerados neste estudo.

Índice	Equação	Definição
Renovabilidade	$%R = 100 (R+M_R+S_R) / Y$	Razão entre os recursos renováveis da natureza e economia pela emergia total do sistema
Razão de Carga Ambiental	$ELR = (N+M_N+S_N) / (R+M_R+S_R)$	Razão entre os recursos não renováveis pelos renováveis
Razão de Rendimento em Emergia	EYR = Y / F	Razão da emergia total do sistema pela emergia provinda da economia
Razão de Investimento em Emergia	EIR = F / (R+N)	Razão entre os recursos da economia pela emergia da natureza
Índice de Sustentabilidade em Emergia	ESI = EYR / ELR	Indica a sustentabilidade do sistema
Valor Unitário de Emergia	UEV = Y / E	Razão entre a emergia total do sistema pela energia total disponibilizada

Legenda: R = recursos renováveis da natureza; N = recursos não renováveis da natureza; M = materiais da economia; S = serviços da economia; F = M + S = recursos da economia; Y = R + N + F = emergia total do sistema; E = energia que sai do sistema na forma de bens ou serviços; Os subscritos "r" e "n" significam renováveis e não renováveis respectivamente.

Todo o procedimento metodológico relacionado à emergia considerado neste trabalho está de acordo com Brown e Ulgiati (2004) e Odum (1996), exceto para a inclusão das renovabilidades parciais como agora se explica: reconhecendo que alguns sistemas utilizam insumos que podem possuir certo grau de renovabilidade, ou uma renovabilidade parcial, Tiezzi e Marchettini (1999) propuseram sua inclusão na contabilidade ambiental em emergia para melhor representar a sustentabilidade dos sistemas estudados. Posteriormente, Ortega et. al. (2002), Ulgiati e Brown (2014) e Agostinho et al. (2008) reconheceram a importância desta abordagem e também a utilizaram em seus estudos. No presente trabalho, são consideradas as renovabilidades parciais dos itens mão de obra, água para irrigação e para o consumo dos animais, e da cama de frango, este último utilizado como fertilizante orgânico. Os valores das renovabilidades parciais considerados são apresentados no Apêndice B.

Objetivando-se reduzir as incertezas na avaliação em emergia em relação à escolha de UEVs representativas, assim como na escolha de renovabilidades parciais apropriadas, a análise de Monte Carlo é considerada neste trabalho. Para isso assumiu-se 10.000 repetições randômicas e uma função de curva normal para representar a distribuição de probabilidades. A Fig. 1 apresenta o esquema com os procedimentos dos cálculos dos índices em emergia considerando a análise de Monte Carlo.

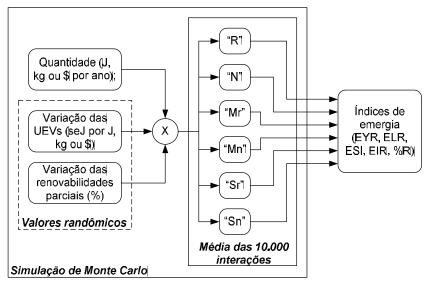


Fig. 1. Procedimentos de cálculo dos índices em emergia.

3 Resultados e Discussões

A Fig. 2 apresenta o diagrama de energia do sistema orgânico (SO) avaliado. Os recursos renováveis da natureza (R) são representados pelo sol, chuva, vento, e água subterrânea (apenas uma parte, pois a outra parte é considerada não renovável), fontes estas localizadas à esquerda do diagrama. Os recursos não renováveis (N) são representados pela outra parte da água subterrânea e pela perda de solo. Os recursos adquiridos da economia (F), localizados na parte superior e à direita do diagrama, são representados pelas sementes, mudas, eletricidade, sêmem, ração, fertilizante, aço, medicamentos, serviços, e mão de obra. Internamente, pode-se identificar a complexidade das relações entre os fluxos de energia que permitem o funcionamento do sistema, incluindo a produção de alimento para os animais (áreas de pastagem, produção de milho e cana-de-açúcar), o crescimento e manutenção dos animais representados como consumidores, o processo de retirada do leite, e a importante influência da mão-de-obra familiar em todas as atividades. Por fim, pode-se identificar o fluxo monetário que entra no sistema pela venda do leite, é armazenado, e sai do sistema para pagar a mão-de-obra externa e os serviços relacionados aos recursos da economia.

O diagrama de energia da Fig. 2 indica que o SO avaliado funciona de forma similar ao sistema de produção de leite semi-intensivo manejado de forma tradicional (como avaliado por Oliveira e Agostinho, 2013), diferenciando-se na demanda de fertilizantes orgânicos (adubação verde e cama de frango) ao invés de químicos sintéticos, no uso de medicamentos homeopáticos, e em uma alimentação a base de forrageiras de alto teor nutritivo vindas de pastagem dividida em piquetes, milho, e cana-de-açúcar produzidos dentro do próprio sistema, além de ração composta de uma mistura de milho e farelo de trigo.

O Apêndice C apresenta a tabela de avaliação em emergia do sistema orgânico (SO) de produção de leite avaliado – esta tabela não foi colocada no corpo do texto devido a questões de formatação. No Apêndice D encontra-se o memorial de cálculo. A cama de frango, utilizada como fertilizante, é responsável por mais da metade (55%) da emergia total demandada pelo sistema, seguido pelo consumo de milho utilizado para fazer a ração complementar (24%). Mesmo com todas as 10.000 iterações consideradas na análise de Monte Carlo, o fluxo total dos recursos da economia (F) se mantém em aproximadamente 95% da emergia total. Comparando aos resultados obtidos por Oliveira e Agostinho ("under review"), o valor de 95% de dependência de recursos "F" é similar aos dos sistemas intensivos tradicionais com confinamento total (denominados de G4 e G5, Tab. 1), indicando que, mesmo rotulado como orgânico, o sistema SO avaliado depende fortemente de recursos da economia que são por definição classificados como não renováveis. Interessante notar que a cama de frango é utilizada pelo sistema orgânico em substituição aos fertilizantes químicos sintéticos, porém, no trabalho de Oliveira e Agostinho ("under review"), os fertilizantes químicos correspondem a apenas 10% da emergia total dos sistemas G4 e G5 de confinamento total. Esta elevada influência da cama de

frango na emergia total do SO se deve, a priori, à sua elevada UEV estimada como co-produto da produção de frango orgânico do trabalho de Castellini et al. (2006).

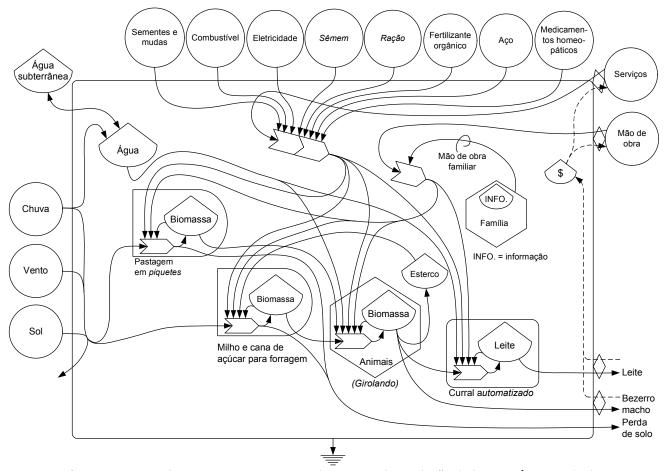


Fig. 2. Diagrama de energia representativo do sistema de produção de leite orgânico avaliado.

A Tab. 4 apresenta os valores dos índices de emergia calculados para o SO de produção de leite e dos sistemas convencionais analisados por Oliveira e Agostinho ("under review"). Para o índice de renovabilidade (%R), que indica a porcentagem de energia renovável utilizada pelo sistema, percebese que o sistema SO (19%) possui melhor desempenho comparado aos sistemas altamente intensificados como G1 (12%), G4 (4%), e G5 (5%). Ao mesmo tempo, o SO possui desempenho similar ao sistema semi-intensivo G2 (22%) e pior desempenho comparado ao sistema extensivo G3 (37%). Segundo Lefroy e Rydberg (2003), para um longo período de tempo, sistemas altamente dependentes de recursos não renováveis não suportarão as pressões do mercado em um futuro com baixa oferta destes recursos, desta forma poderão entrar em declínio. Os 19% de renovabilidade obtidos para o SO sugere que este possui maior capacidade de manter-se em um cenário de escassez de recursos não renováveis comparados aos sistemas convencionais G1, G4, e G5, mas que existe um potencial de melhoria para alcançar os 37% obtidos pelo sistema G3.

Em relação ao EYR, o desempenho do SO (1,23) está próximo ao do G1 (1,16) e G2 (1,33), mas superior ao do G4 (1,05) e G5 (1,07). Estes valores apontam um baixo rendimento para todos estes sistemas, pois não conseguem explorar eficientemente os recursos locais da natureza (R e N) o que resulta em forte dependência de recursos da economia. O sistema G3 (2,27) possui melhor rendimento comparado a todos os outros sistemas, ou seja, consegue utilizar recursos da natureza em maiores quantidades comparados aos outros sistemas. Por outro lado, é importante ressaltar a baixa produtividade do sistema G3, atingindo apenas 5,5 $L_{leite}/vaca/dia$, corresponde a apenas metade do menor valor dos outros sistemas $(12 L_{leite}/vaca/dia para o G2)$. Isso indica que, talvez, o melhor desempenho em explorar os recursos naturais como obtido pelo G3 esteja intimamente relacionado à sua baixa produtividade, e não ao seu desempenho real em produzir leite.

Tab. 4. Ind	lices de	emera	ia
--------------------	----------	-------	----

	· 9·•					
Índice	SO	G1	G2	G3	G4	G5
%R (%)	19,73	12,46	22,78	37,55	4,36	5,48
EYR	1,23	1,16	1,33	2,27	1,05	1,07
ELR	4,07	7,02	3,39	1,66	21,95	17,24
EIR	3,63	6,11	3,02	0,79	19,90	14,91
ESI	0,30	0,17	0,39	1,36	0,05	0,06
UEV (E12 seJ/L _{leite)}	5,96	2,67	2,58	13,60	5,60	4,30

Em relação ao ELR, Brown e Ulgiati (2004) argumentam que valores menores que 2 indicam que o sistema causa baixa pressão sobre o meio ambiente, valores entre 2 e 10 indicam que a pressão sobre o meio ambiente é moderada, e acima de 10 a pressão exercida sobre o meio ambiente é elevada. O ELR de 4,07 obtido pelo sistema SO indica que são necessários 4,07 unidades de emergia não renovável para cada unidade de emergia renovável, o que representa moderada carga sobre o meio ambiente. O desempenho moderado também foi obtido pelos sistemas semi-intensivos (G1 com 7,02, e G2 com 3,39). Os sistemas intensivos possuem ELR considerado alto (G4 com 21,95 e G5 com 17,24), enquanto o sistema extensivo G3, com ELR de 1,66, produz baixa pressão sobre o meio ambiente. Vale ressaltar que o ELR indica a demanda direta e indireta de recursos da biosfera pelo sistema, não tratando, portanto, de impactos ambientais causados localmente pela emissão de resíduos.

De acordo com Brown e Ulgiati (2004), o EIR analisa a eficiência com que o sistema utiliza a emergia investida quando comparado a alternativas que utilizam os mesmos recursos. Para um sistema ser competitivo, este índice deve ser menor que o dos outros sistemas produtivos. Segundo Odum (1996), um sistema de produção considerado sustentável é aquele que possui EIR próximo ao da região em que se encontra, apesar de que valores próximos à 1 indicarem um uso eficiente da emergia. O valor de 3,63 obtido pelo SO indica que ele demanda 3,63 unidades de emergia da economia para cada unidade de recursos provindos da natureza. Este desempenho pode ser considerado melhor comparado aos dos sistemas de produção de leite mais intensificados (G1, 6,11; G4, 19,90; G5, 14,91), de desempenho similar ao obtido pelo sistema semi-intensivo (G2, 3,02), e de desempenho inferior ao sistema extensivo (G3, 0,79). Para efeito de comparação, avaliando sistemas de produção agropecuário manejados de forma ecológica, Ortega et al. (2005), Francescato et al. (2008), e Agostinho et al. (2008) encontraram valores de EIR entre 0,37 a 0,45, indicando que o sistema SO aqui avaliado está distante do desempenho de um sistema ecológico.

Na tentativa de quantificar a sustentabilidade dos sistemas produtivos, Brown e Ulgiati (2002) argumentam que sistemas com ESI abaixo de 1 são considerados não sustentáveis, entre 1 e 5 possuem sustentabilidade moderada, enquanto acima de 5 são considerados sustentáveis em longo prazo. Com exceção de G3, que possui ESI de 1,36 considerado como de moderada sustentabilidade, todos os sistemas de produção de leite analisados encontram-se no intervalo classificado como de baixa sustentabilidade (SO com 0,30; G1 com 0,17; G2 com 0,39; G4 com 0,05; G5 com 0,06). Valores entre 4,04 a 9,97 para o ESI são encontrados por Ortega et al. (2005) e Francescato et al. (2008) que avaliaram agricultura ecológica, sugerindo que o SO avaliado possui baixo desempenho para ser considerado como um sistema ecológico.

Sobre a eficiência na conversão de energia representada pela UEV, o SO é um dos menos eficientes, com 5,96 E12 seJ/L_{leite}, desempenho similar ao sistema intensivo G4 (5,60 E+12 seJ/L_{leite}). Os sistemas G1 (2,67 E+12 seJ/L_{leite}), G2 (2,58 E+12 seJ/L_{leite}), e G5 (4,30 E+12 seJ/L_{leite}) possuem melhor eficiência comparada a SO e G4. Por outro lado, o sistema G3 (13,60 E12 seJ/L_{leite}) possui o pior desempenho entre todos avaliados, um reflexo de sua baixa produtividade de 5,5 L_{leite}/vaca/dia.

Considerando que a cama de frango é o insumo mais representativo na emergia total do sistema SO (55%), e que isto, talvez, seja um reflexo da UEV estimada como co-produto da produção de frango orgânico, decidiu-se considerar outro critério para contabilizar a cama de frango na avaliação em emergia. Nesta nova abordagem, a cama de frango é considerada como resíduo (dissipação de calor) devido ao seu baixo valor de mercado, além do fato de que sua incorreta disposição resultaria em prejuízos ao meio ambiente. Isso implica em um valor de UEV igual à zero para a cama de frango. Neste novo cenário, os índices em emergia para o SO passam a ser: %R de 10,45%, EYR de 1,08, ELR

de 8,76, EIR de 5,97, ESI de 0,13, e UEV de 2,86 E12 seJ/L_{leite}. Com exceção para o índice de eficiência representado pela UEV, todos os outros índices possuem pior desempenho comparado aos apresentados na Tab. 4, isto é, reforçam a indicação de que o SO possui desempenho em emergia similar aos sistemas semi-intensivos G1 e G2 de produção de leite, e desempenho inferior aos sistemas considerados ecológicos. O pior desempenho para o SO neste novo cenário ocorre porque a cama de frango, agora não contabilizada devido à sua UEV ser igual a zero, possui uma renovabilidade parcial de 28% (Apêndice B), o que contribui positivamente para a sustentabilidade do sistema quando contabilizada.

De todos os índices em emergia avaliados neste trabalho, pode-se considerar que dois deles possuem uma relação mais forte com a sustentabilidade do sistema comparado aos outros índices: %R e ESI. A renovabilidade obtida pelo SO (19%), menor que a do sistema semi-intensivo G2 (22%) e o sistema extensivo G3 (37%), e longe da %R de sistemas ecológicos de produção agropecuária (de 56% a 73%; Agostinho et al., 2010), indicam que este sistema não possui resiliência em um futuro com baixa disponibilidade de recursos não-renováveis. Adicionalmente, o ESI de 0,30 apresenta-se como não sustentável de acordo com as faixas de valores sugeridas por Brown e Ulgiati (2002), desempenho similar aos sistemas convencionais de produção de leite - exceção ao sistema G3. Desta forma, sob a abordagem da contabilidade ambiental em emergia, o sistema de produção leite orgânico avaliado neste trabalho não poderia ser rotulado como sustentável, derrubando a hipótese de que qualquer sistema orgânico é sinônimo de sustentabilidade.

4 Conclusões

Os índices em emergia calculados para o sistema orgânico (SO) de produção de leite avaliado neste trabalho mostram desempenho similar ao sistema semi-intensivo convencional de produção de leite denominado G2, considerado um sistema não sustentável devido à sua forte demanda de recursos da economia que, quase exclusivamente, são recursos não renováveis. O SO possui baixa resiliência em um futuro com recursos não renováveis escassos (%R de 19%), não consegue explorar eficientemente os recursos naturais o que resulta em elevada dependência de recursos da economia (EIR de 3,63 e EYR de 1,23), grande parte de sua emergia provém de recursos não renováveis o que causa moderada carga sobre o meio ambiente (ELR de 4,07), e finalmente, possui baixa sustentabilidade (ESI de 0,30). Adicionalmente, sua eficiência na conversão de emergia em leite é inferior aos sistemas semi-intensivos (5,96 E12 seJ/L_{leite}). Todos estes índices, além de serem semelhantes ao sistema G2, possuem pior desempenho e estão distantes dos mesmos índices de sistemas ecológicos considerados sustentáveis que possuem, por exemplo, %R variando de 56% a 73%. Com tudo isso, tem-se que o SO avaliado neste trabalho não pode ser considerado sustentável, logo, sistema de produção orgânico não é sinônimo de sistema de produção sustentável.

A contabilidade ambiental em emergia vem ganhando status de importante metodologia na avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção. Isso se deve à sua crescente aceitação e uso pela comunidade acadêmica internacional, que reconhece suas fortes bases científicas baseadas na termodinâmica e teoria de sistemas. Porém, é importante ressaltar que esta metodologia assume o modelo de sustentabilidade forte, em longo prazo, considerando a biosfera como escala de avaliação através de uma abordagem do doador de recursos aos sistemas produtivos. Desta forma, outros importantes e reconhecidos aspectos relacionados à sustentabilidade de sistemas de produção como os impactos causados ao meio ambiente à jusante do sistema (isto é, emissões de gases, resíduos sólidos e líquidos, etc.), impactos sociais diretos como quantidade e qualidade da mão-de-obra, assim como impactos sobre à micro-economia local, não são considerados na avaliação em emergia. Desta forma, sugere-se que outras abordagens metodológicas sejam utilizadas simultaneamente à avaliação em emergia para abranger diversos aspectos na discussão da sustentabilidade sob diferentes óticas de escala e tempo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Vice-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Paulista (UNIP), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES; bolsa PROSUP ao primeiro autor), e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia,

Sul de Minas Gerais. Agradecem, também, aos técnicos da Empresa de Associação Técnica e Extensão Rural do estado de Minas Gerais, e aos pesquisadores do Instituto Mineiro de Agropecuária.

Referências

- Albuquerque, T.C., 2006. Avaliação emergética de propriedades agrosilvipastoris do Brasil e da Colômbia. Dissertação, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R., Ortega, E. 2008. The use of emergy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. Ecological Modelling 210, 37-57.
- Agostinho, F., Ambrosio, L.A., Ortega, E., 2010. Assessment of a large watershed in Brazil using emergy evaluation and geographical information system. Ecological Modelling 221, 1209-1220.
- Agostinho, F., Ortega, E. 2012. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. Energy 37, 103-114.
- Alfaro-Arguello, R., Diemont, S.A.W., Ferguson, B.G., Martin, J.F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, J.D., Ruiz, R.P., 2010. Steps toward sustainable ranching: An emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico. Agricultural Systems 103, 639-646.
- Bastianoni, S., Boggia, A., Castellini, C., Stefano, C.D., Niccolucci, V., Novelli, E., Palotti, L., Pizzigallo, A., 2010. Measuring environmental sustainability of intensive poultry-rearing system. In: Lichtfouse, E. (Ed.), Sustainable Agriculture Reviews 4, Springer, Berlin, Germany, 24-51.
- Brasil, 2003. Lei nº 10.831/2003. Dispõe sobre agricultura orgânica e dá outras providencias. Endereço Eletrônico: http://www.planalto.gov.br/ccivil 03/leis/2003/l10.831.htm>. Acesso em 16/03/2015.
- Brasil, 2014. Instrução Normativa 17/2014. Normas para a produção de produtos orgânicos animais e vegetais. Endereço Eletrônico: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/IN-17.pdf. Acesso em 16/03/2015.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. Journal of Cleaner Production 10, 321-334.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 2004. Emergy Analysis and Environmental Accounting. Encyclopedia of Energy 2, 329-354.
- Caporal, F.R., Azevedo, E.O., (editores) 2011. Princípios e Perspectivas da Agroecologia. Instituto Federal do Paraná, 192pp.
- Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C, Dal Bosco, A., Brunetti, M., 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. Agriculture, Ecosystems & Environment 114, 343-350.
- Cavalett, O., Ortega, E., 2009. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. Journal of Cleaner Production 17, 762-771.
- Ehlers, E., 1996. Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma. Livros da Terra, São Paulo.
- Giannetti, B.F., Ogura, Y., Bonilla, S.H., Almeida, C.M.V.B., 2011. Accounting emergy flows to determine the best production model of a coffee plantation. Energy Policy 1, 1-9.
- Jaklič, T., Juvančič, L., Kavčič, S., Debeljak, M., 2014. Complementarity of socio-economic and emergy evaluation of agricultural production systems: The case of Slovenian dairy sector. Ecological Economics 107, 469-481.
- LCA. Life Cycle Assessment: a guide to approaches, experiences and information sources. European Environment Agency. 1997. Jensen, A.A., Hoffman, L., Moller, B.T., Schmidt, A., Christiansen, K., Elkington, J., van Dijk, F. (Editores).
- Lefroy, E., Rydberg, T., 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. Ecological Modelling 161, 195-21.
- MAPA, 2014. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Endereço Eletrônico: http://www.agricultura.gov.br. Acessado em 11/03/2014.
- Medaets, J.P., Fonseca, M.F.A.C., 2005. Produção orgânica: regulamentação nacional e internacional. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Estudos NEAD 8, 104 p.
- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley and Sons, New York.
- Oliveira, M., Agostinho, F., 2013. Avaliação Energético-Ambiental de Sistemas de Produção de Leite na Região Sul de Minas Gerais: Extensivo Versus "Minas Leite". Proceedings of 4th International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo, Brasil.
- Oliveira, M., Agostinho, F., "under review". Assessing alternative developments for milk production in the southern region of Minas Gerais State, Brazil: an emergy perspective. Proceedings of 8th Biennal emergy research conference, University of Florida, Gainesville, USA.

- Ortega, E., Anami, M., Diniz, G., 2002. Certification of food products using emegy analysis. Proceedings of 3rd International Workshop Advances in Energy Studies, Porto Venere, Itália, 227-237.
- Ortega, E., Cavalett, O., Bonifacio, R., Watanabe, M., 2005. Brazilian Soybean Production: Emergy Analysis with an Expanded Scope. Bulletin of Science, Technology & Society 25, 323-334.
- Panzieri, M., Marchettini, N., Hallam, T.G., 2000. Importance of the Bradhyrizobium japonicum symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. Ecological Modelling 135, 301–310.
- Pereira C.L.F., Ortega E., 2010. Sustainability assessment of large-scale ethanol production from sugarcane. Journal of Cleaner Production 18, 77-82.
- Pessoa, M.C.P.Y., Silva, A.S., Camargo, C.P., 2002. Qualidade e Certificação de produtos agropecuários. EMBRAPA Informação Tecnológica, Brasília.
- Rótolo, G.C., Charlón, V., Franzese, P.P., 2010. Emergy Accounting of an Integrated Grazing-Milking System In Argentina's Pampas. Proceedings of 6th biennial emergy evaluation and research conference, University of Florida, Gainesville, USA.
- Tiezzi, E., Marchettini, N., 1999. Che Cos'è Lo Sviluppo Sostenibile? Le basi scientifiche sostennibiilitá e i guasti del pensiero único. Donzelli Editore, Roma, Itália.
- Ulgiati, S., Raugei, M., Bargigli, S., 2006. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. Ecological Modelling 190, 432-442.
- Ulgiati, S., Brown, M.T., 2014. Labor and services as information carriers in emergy-LCA accounting. Journal of Environmental Accounting and Management 2, 160-167.
- Vassallo, P., Bastianoni, S., Beiso, I., Ridolfi, R., Fabiano, M., 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. Original Research Article. Ecological Indicators 7, 290-298
- Vassallo, P., Beiso, Bastianoni, S., Fabiana, M., 2009. Dynamic emergy evaluation of a fish farm rearing process. Journal of Environmental Management 90, 2699-2708.
- Vigne, M., Peyraud, J.L., Lecomte, P., Corson, M.S., Wilfart, A., 2013. Emergy evaluation of contrasting dairy systems at multiple levels. Journal of Environmental Management 129, 44-53.
- Wackernagel, M., Rees, W., 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island, BC, and Philadelphia, New Society Publishers.

Apêndice A. Valores Unitários de Emergia (UEV) utilizadas neste estudo

		Valor mínimo		Valor máximo		
Item	Unid.	para UEV	Referência	para UEV	Referência	Observação
		(seJ/Unid.)		(seJ/Unid.)		
Sol	J	1,00E00	Odum, 1996	1,00E00	Odum, 1996	Por definição
Chuva	J	3,10E04	Odum, 1996	3,10E04	Odum, 1996	-
Vento	J	2,45E03	Odum, 1996	2,45E03	Odum, 1996	-
Água	g	2,29E05		3,27E05		25% maior e menor
						que de Buenfill (2001)
						para água subterrânea
Perda de solo	J	1,24E05	Odum, 1996	1,24E05	Odum, 1996	
Diesel	J	1,36E05	-	2,26E05	-	25% maior e menor
						que Brown e Ulgiati
						(2011)
Aço	g	3,69E09	Bargigli e	6,94E11	Brown e	,
•	-		Ulgiati, 2003		Buranakarn,	-
					2003	
Aço Inox	g	5,90E09	-	8,68E10	_	O aço inoxidável requer
-	_					60% mais de energia
						para ser produzido do
						que o aço normal
						(Boustead e Hancock,
						1979). Considerou-se a
						UEV mínima do inox,
						como a UEV mínima do
						aço, acrescida de 60%.
						A UEV máxima do inox
						é 50% maior que sua
						UEV mínima.
Calcário	g	1,26E09	-	2,10E09	-	25% maior e menor
						que Odum (1996)

Apêndice A (Continuação). Valores Unitários de Emergia (UEV) utilizadas neste estudo

		Valor mínimo		Valor máximo		
Item	Unid.	para UEV (seJ/Unid.)	Referência	para UEV (seJ/Unid.)	Referência	Observação
Cama de frango	g	3,26E09	-	5,44E09	-	25% maior e menor que o valor da emergia para produção de frango (Castellini et al., 2006) dividida pela massa da cama de frango produzida (Coproduto).
Milho	g	2,40E09	Odum, 1996	1,30E10	Brandt- Williams, 2002	
Farelo de trigo	g	1,24E09		2,00E09		25% maior e menor que o valor de Cavalett and Ortega (2009)
Sementes	g	2,98E09	Fahd et al., 2012	3,23E09	Bastianoni et al., 2008	-
Mudas	g	1,06E09	-	1,76E09	-	25% maior e menor que valor de Agostinho e Ortega (2012)
Eletricidade	J	5,87E04	Brown e Ulgiati, 2002	1,02E05	Brown e Ulgiati, 2004	
Concreto	g	1,81E09	- '	3,02E09	- '	25% maior e menor que o valor de Buranakarn (1998)
Mão de obra	J	9,66E06		9,66E06		Cálculo no rodapé desta Tabela*
Serviços	USD	3,40E12	Coelho et al., 2003	3,40E12	Coelho et al., 2003	-

Todos os valores unitários de emergia referem-se a um orçamento global de 15,2 emergia E24 seJ/ano (Brown e Ulgiati, 2011) e não incluem Labor e Services.

Apêndice B. Porcentagem de renovabilidade para os itens considerados neste estudo

Item	% renovável	Observação
Sol	100	Renovável por definição
Chuva	100	Renovável por definição
Vento	100	Renovável por definição
Água	50 a 85	Estimativa dos autores baseada no volume anual de carga das bacias hidrográficas regionais
Perda de solo	0	Não renovável por definição
Diesel	0	a
Aço	0	a
Aço inoxidável	0	a
Lime	0	a
Cama de frango	28	Porcentagem de " R'' calculada para a produção de frango por Castelini et al. (2006)
Ração	0	a , ,
Sementes	0	a
Mudas	0	a
Eletricidade	0	a
Concreto	0	a
Mão de obra	15 a 50	O índice de renovabilidade do Brasil (15%, de Sweeney et al. 2007) é considerado como renovabilidade parcial mínima para a mão de obra. O valor de 50% considerado como máximo foi assumido pelos autores.
Emergia por PIB do Brasil em 2013	15.2	Sweeney et al. (2007)

^a Materiais de economia são não-renováveis porque a escala de tempo de sua produção é muito grande e está fora da janela de interesse desta pesquisa. Exceção para a cama de frango.

^{*} Emergia total do Brasil (5,5 E24 seJ/ano) / (1,89 E8 pessoa) (1,05 E7 J/pessoa/dia) (287 dias/ano)= 9,66E8seJ/J

Apêndice C. Tabela de avaliação em emergia do sistema orgânico (SO) de produção de leite.

			%R	%R	Unid./	UEV	UEV	Emergia	Emergia
Nota	Item	Unid.	mín.	max.		mín.	max.	(média)	(média)
			%	%	ha/ano	seJ/Unid.	seJ/Unid.	seJ/ha/ano	%
Renov	ráveis (R)							2,50E15	2,11
1	Sol	J	1	1	4,67E+13	1,00E+00	1,00E+00	-	-
2	Chuva	J	1	1	8,00E+10	3,10E+04	3,10E+04	-	-
3	Vento	J	1	1	9,20E+09	2,45E+03	2,45E+03	-	-
4	Água (subterrâ.)	g	0,5	0,85	1,11E+08	2,29E+05	3,27E+05	-	-
Não re	enováveis (N)							2,61E16	2,20
5	Perda de solo	J	0	0	2,09E+10	1,24E+05	1,24E+05	-	-
6	Água (subterrâ.)	g	0,15	0,15	1,11E+08	2,29E+05	3,27E+05	-	-
Materi	iais					Ren	ováveis (Mr)	2,08E16	17,51
						Não-rend	váveis (Mn)	8,92E16	75,16
7	Diesel	J	0	0	2,62E+09	1,36E+05	2,26E+05	-	-
8	Aço	g	0	0	2,04E+04	3,69E+09	6,94E+11	-	-
9	Inox	g	0	0	4,63E+03	5,90E+09	8,68E+10	-	-
10	Calcário	g	0	0	3,52E+06	1,26E+09	2,10E+09	-	-
11	Cama de Frango	g	0,28	0,28	1,69E+07	3,26E+09	5,44E+09	-	-
12	Ração								
	Milho	g	0	0	2,82E+06	2,40E+09	1,30E+10	-	-
	Farelo de Trigo	g	0	0	7,04E+05	1,24E+09	2,00E+09	-	-
13	Sementes	g	0	0	5,63E+03	2,98E+09	3,23E+09	-	-
14	Mudas	g	0	0	1,41E+06	1,06E+09	1,76E+09	-	-
15	Eletricidade	J	0	0	7,40E+09	5,87E+04	1,02E+05	-	-
16	Concreto	g	0	0	4,28E+05	1,81E+09	3,02E+09	-	-
Serviç	ços					Ren	ováveis (Sr)	7,02E14	0,59
_						Não-rend	ováveis (Sn)	2,88E15	2,43
17	Mão de obra	J	0,15	0,5	7,79E+08	9,66E+06	9,66E+06	-	-
18	Serviços	US\$	0,15	0,15	4,90E+02	3,40E+12	3,40E+12	-	-

Unid. = Unidade; %R = fração renovável; mín. = mínima; max. = máxima

Apêndice D. Memorial de cálculo do Apêndice C.

Nota#1 (Sol) radiação solar=16 MJ/m².dia (Tiba, 2000); albedo= 20% (Odum, 1996); fluxo de energia= 365 dias/ano \times 16 E6 J/m².dia \times 0,8 \times 10000 m²/ha= 4,67 E13 J/ha.ano

Nota#2 (Chuva) Pluviosidade= 1,6 m 3 /m 2 .ano (IMPE,2010); energia da água= 5000 J/kg (Odum, 1996); densidade da água= 1000 kg/m 3 ; fluxo de energia= 1,3 m 3 /m 2 .ano x 5000 J/kg x 1000 kg/m 3 x 10000 m 2 /há = 8,0 E10 J/ha.ano.

Nota#3 (Vento) Densidade do ar=1,3 kg/m³; velocidade média anual= 4,7m/s (Cresesb, 2001); vento geotrópico= 2,8 m/s (60% da velocidade média anual); coeficiente de arraste=0,001; fluxo de energia=1,3 kg/m³ x (2,82 m/s)^3 x 0,001 x 10000 m²/ha x 3,156 E7 s/ano= 9,2 E09 J/ha.ano.

Nota#4-6 (Água) Volume: 2355620 L/ano; Fluxo de massa = $(2.355.620 \text{ L/ano} \times 1.000 \text{ g/kg}) / 21,3 \text{ ha} = 1,11 \text{ E08 g/ha/ano}$.

Nota#5 (Perda de solo) Pastagem: perda de solo = 3400 kg/ha.ano (Santos et al., 1998); matéria orgânica = 4% (Rodriguez et al., 2002); fluxo de energia= (3.400 kg/ha.ano x 0,04 x 5400 kcal/kg.m.o. x 4186 J/kcal x 12 ha pasto)/21,3 há = 1,73E9 J/ha/ano. Plantação de milho: perda de solo = 3400 kg/ha.ano; fluxo de energia= (3.400 kg/ha.ano x 0,04 x 5400 kcal/kg.m.o. x 4186 J/kcal x 5 ha pasto) / 21,3 há = 7,26 E8. Plantação de cana de açúcar: perda de solo = 3000 kg/ha/ano; fluxo de energia= (3.000 kg/ha/ano x 0,04 x 5400 kcal/kg.m.o. x 4186 J/kcal x 3 ha pasto) / 21,3 ha = 3,82 E8 J/ha/ano. Construções: área = 1180 m²; 0,3 m de perda de solo por m²; fluxo de energia= (1180 m² x 0,3 m x 0,04 m.o./kgsolo x 1200 g/m³ x 5400 kcal/kg.m.o. x 4186 J/kcal) / 21,3 há = 1,8E10 J/ha/ano. Total = 2,09E10 J/ha/ano.

Nota#7 (Diesel) 15.696 L/ano; fluxo de energia = $(15.696 \text{ L/ano} \times 0.85 \text{ kg/L} \times 1.000 \text{ kcal/kg} \times 4186 \text{ J/kcal)}/ 21,3$ ha = 2,62 E09 J/ha/ano.

Nota#8 (Aço) Massa (trator, grade, ensiladeira, arado, roçadeira, bomba d'água, estrutura do telhado, cobertura) = 13.012 kg; fluxo de massa= (13.012 kg /30 anos) x (1.000 kg/g) /21,3 ha = 2,04 E04 g/ha/ano.

Nota#9 (Aço Inoxidável) massa (Tanque de expansão e encanamentos) = 2.960 kg. Fluxo de massa = (2.960 kg x 1000g/kg) / 30 anos / 21,3 ha = 4,63 E03 g/ha/ano.

Nota#10 (Calcário) Massa = 75.000 kg/ano. Fluxo de massa = $(75.000 \text{ kg/ano} \times 1000 \text{ g/kg}) / 21,3 \text{ ha} = 3,52 \text{ E6 g/ha/ano}$.

Nota#11 (Cama de frango) = 360.000 kg/ano. Fluxo de massa = $(360.000 \text{ kg/ano} \times 1000 \text{ g/kg}) / 21,3 \text{ ha} = 1,69 \text{ E07 g/ha/ano}$.

- Nota#12 (Ração) Milho = 60.000 kg/ano. Fluxo de massa = $(60.000 \text{ kg/ano} \times 1.000 \text{ g/kg}) / 21,3 \text{ ha} = 2,82 \text{ E6 g/ha/ano}$. Farelo de trigo = 15.000 kg/ano. Fluxo de massa = $(15.000 \text{ kg/ano} \times 1.000 \text{ g/kg}) / 21,3 \text{ ha} = 7,04 \text{ E5 g/ha/ano}$
- Nota#13 (Semente), Quantidade= 120 kg; Fluxo de massa = (120 kg /ano x 1.000 g/kg) / 21,3 ha = 5,63 E03 g/ha/ano.
- Nota#14 (Mudas) Quantidade (cana-de-açúcar) = 30.000 kg/ano; Fluxo de massa = $(30.000 \text{ kg/ano} \times 1.000 \text{ g/kg}) / 21,3 ha = <math>1,41 \text{ E06 g/ha/ano}$.
- Nota#15 (Eletricidade) 43.800 kWh/ano. Fluxo de energia = $(43.800 \text{ kWh/ano} \times 3,6 \text{ E6 J/kWh}) / (21,3 \text{ ha}) = 7,40 \text{ E09 J/ha/ano.}$
- Nota#16 (Concreto) Massa = 273.340 kg; Fluxo de massa = (273.340 kg / 30 anos) / 21,3 ha = 4,28 E05 g/ha/ano.
- Nota#17 (Mão de obra) 5 funcionários x 2500 kcal/dia x 4186 J/kcal x 317 dias / ano) / 21,3 ha = 7,79 E08 J/ha/ano.
- Nota#18 (Serviços) R\$315.126,80. Fluxo de caixa = $(189.126,80 \text{ R} \ / \ 2,2 \text{ R}/US\$)/21,3$ ha = 4,04E03 US/ha/ano.

Referências dos Apêndices

- Agostinho, F., Ortega, E., 2012. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. Energy 37, 103-114.
- Bargigli, S., Ulgiati, S., 2003. Emergy and life-cycle assessment of steel production in Europe. In: Brown, M.T., Odum, H.T., Tilley, D., Ulgiati, S. (Eds.), Emergy Synthesis
- Bastianoni, S., Coppola, F., Tiezzi, E., Colacevich, A., Borghini, F., Focardi, S., 2008. Biofuel potential production from Orbetello lagoon macroalgae: A comparison with sunflower feedstock. Biomass and Bioenergy 32, 619–628.
- Boustead, I., Hancock, G.F., 1979. Handbook of Industrial Energy Analysis. Ellis Horwood Limited, England.
- Buenfil, A., 2001. Emergy Evaluation of Water. Dissertation presented to the graduate School of University of Florida.
- Brandt-Williams, S. L. Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. 2002. Folio no. 4, Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 40p. Disponível em http://www.ees.ufl.edu/cep/. Acessado em 25/09/2014.
- Brow, M. T., Buranakan, V., 2003. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles options. Resources, conservation and recycling 38, 1-28
- Brown, M. T., Ulgiati, S., 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. Journal of Cleaner Production 10, 321-334
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 2004. Emergy analysis and environmental accounting. Encyclopedia of Energy 2, 329-354.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 2011. Understanding the global economic crisis: A biophysical perspective. Ecological Modelling 223, 4-13
- Buranakarn, V., 1998. Evaluation of Recycling and Reuse of Building Materials Using the Emergy Analysis Method. Dissertation (Doctor of Philosophy), University of Florida, Gainesville.
- Cavalett, O., Ortega, E., 2009. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. Journal of Cleaner Production 17, 762-771.
- Coelho, O., Ortega, E., Comar, V., 2003. Emergy assessment of Brazil using statistics of 1996, 1989 and 1981. In: Ecological Engineering and Sustainable Agriculture. Disponível em http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C05-Brasil-COC.pdf. Acessado em 16/06/14.
- CRESESB, 2001. Atlas do potencial Eólico Brasileiro. Disponível emhttp://www.cresesb.cepel.br/publicações/index.php?task=livro&cid=1. Acessado em 25/10/2014.
- Fahd, S., Fiorentino, G., Mellino, S., Ulgiati, S., 2012 Cropping bioenergy and biomaterials in marginal land: The added value of the biorefinery concept. Energy 37, 79-93
- Sweeney, S., Cohen, M., King, D., Brown, M., 2007. Creation of a Global Emergy Database for standardized national emergy synthesis. In Bardi, E. et al (eds.) Emergy Synthesis 4: Proceedings of the 4th Biennial Emergy Research Conference, Gainesville, FL, pp. 23.1-23.18.
- TIBA, C., 2000. Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Ed Universitária da UFPE. Recife, Pernabuco.