



Avaliação da Produtividade Global de um Agronegócio de Médio Porte

A. D. Frugoli^a, C. M. V. B. Almeida^b, P. A. Frugoli^c, A. P. Z. Santos^d, M. V. Mariano^e

a. Universidade Paulista, São Paulo, alefrugoli@unip.br

b. Universidade Paulista, São Paulo, cmvbag@unip.br

c. Universidade Paulista, São Paulo, pedrofrugoli@unip.br

d. Universidade Paulista, São Paulo, a_paulasantos@terra.com.br

e. Universidade Paulista, São Paulo, mirtesmariano@uol.com.br

Resumo

O trabalho estuda um agronegócio localizado na cidade de São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais, composto pela produção de alimentos (milho, ovos, porcos e leite) e analisa os efeitos da integração desses processos no que tange a sua sustentabilidade, quando comparada a de outros agronegócios. Para isso, o estudo aplica a contabilidade em emergia para avaliar os fluxos de energia e materiais do processo de produção da Fazenda Braghini. A emergia total da fazenda é de $1,23 \times 10^{18}$ seJ/ano. O cálculo da Produtividade Global (GP) dos coprodutos mostra valores maiores no agronegócio estudado do que nos tradicionais, demonstrando que a eficiência ambiental do sistema integrado de produção de alimentos é maior do que a dos sistemas convencionais. Os valores obtidos neste cálculo para os ovos, a carne de porco e o leite são, respectivamente, 24, 5 e 6 vezes maiores do que as encontradas na literatura.

Palavras-chave: emergia; agronegócios; transformidade; eficiência ambiental; produtividade global.

1 Introdução

A vocação agroindustrial do País foi a responsável pela motivação do trabalho, pois um terço de toda produção nacional vem dessa área. Os impactos ambientais causados pelo aumento nas áreas de plantio de grãos visando ao suprimento da nova demanda mundial, a necessidade do incremento da produtividade com a utilização intensa de fertilizantes e maquinário, o desmatamento provocado por estas ações devem ser observados com preocupação. Sendo assim, os sistemas agrícolas têm sido impulsionados para serem cada vez mais sustentáveis ambientalmente, explorando a maior utilização possível de recursos renováveis e a diminuição do uso de recursos não renováveis, mas essa necessidade não pode afetar a produtividade e, conseqüentemente, a competitividade desses agronegócios.

A cidade de São Sebastião do Paraíso (Minas Gerais), onde é localizada a Fazenda Braghini, possui uma área de 822 km² e uma população de 68.000 habitantes

(IBGE – 2009). A cidade possui um PIB per capita de R\$ 11.719,00 (IBGE 2007). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,812 e considerado elevado.

A Fazenda Braghini possui uma área de 101 ha, sendo 55 ha de área plantada, três represas de águas pluviais e um poço. O agronegócio possui 40.000 aves (galinhas) com produção mensal de 410.400 ovos, 3.000 suínos (porcos) com produção mensal de 350 carcaças e possui também 120 cabeças de gado com produção mensal de 18.000 litros de leite.

Vários estudos da utilização da contabilidade em emergia para avaliação da sustentabilidade de agronegócios foram encontrados na literatura (Cavalett et al, 2006; Martin et al, 2006; Castellini et al, 2006; Bonilla et al, 2010 etc).

Segundo Cavalett et al, 2006 a análise em emergia tem sido uma importante ferramenta no estudo de sistemas agrícolas, permitindo relacionar fatores econômicos com a carga ecológica. Os autores realizaram uma análise em emergia de sistemas integrados de produção de grãos, porcos e peixes em propriedades no Sul do Brasil e inovaram com a adição de um “fator de renovabilidade parcial de entradas”, que permite a descrição mais precisa dos complexos sistemas agrícolas. Esse trabalho compara os sistemas integrados estudados com sistemas isolados. Os autores concluem que os sistemas integrados têm uma eficiência em emergia mais elevada, têm mais capacidade para utilizar recursos locais e, portanto provocam menos danos ambientais.

Martin et al, 2006 fazem uma análise em emergia de três sistemas agrícolas com gerenciamentos diferentes para avaliar a sustentabilidade: a produção do milho realizada em grande escala, a produção de amoras pretas (*BlackBerry*) em pequena escala e a policultura de subsistência, onde os produtos são destinados apenas à população local. Os autores relatam que o aumento da sustentabilidade sem perdas significativas da produtividade é sempre um desafio. A análise contabiliza os recursos naturais (renováveis e não renováveis) e os advindos da economia e calcula os seguintes indicadores para comparação: intensidade do uso dos recursos (R, N e F), produtividade ($Y = N+R+F$), Índice de carga Ambiental (*Environmental Load Ratio, ELR*) e Índice de Sustentabilidade Ambiental em emergia (*Environmental Sustainability Indice, ESI*).

O estudo de Castellini et al, 2006 analisa e compara sistemas de engorda em granjas, utilizando a análise em emergia. A comparação é realizada entre um sistema de produção convencional e um sistema de produção orgânico. Os autores utilizam indicadores que mostram que a produção orgânica é mais sustentável, pois tem uma maior eficiência na transformação dos recursos disponíveis em produto final, utiliza mais recursos locais com um nível mais elevado de recursos renováveis (R) e apresenta menor densidade de energia. Entretanto o trabalho mostra que, em contrapartida, a produtividade orgânica é muito menor que a do sistema tradicional (206%) e possui transformidade 10% menor. Os autores propõem que outros indicadores de sustentabilidade devam ser estudados, como, por exemplo, a toxicidade de resíduos.

Bonilla et al, 2010 estuda a plantação do bambu gigante no Brasil avaliando a influência da mão de obra, do tempo e do espaço. Para comparação da produção do bambu em três diferentes países: Brasil, Austrália e China, foi utilizado um diagrama do Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Indice – ESI*) versus Produtividade Global (*Global Productivity – GP*). De acordo com a análise do gráfico realizada pelos autores, quanto maior a Produtividade Global maior é a eficiência ambiental do sistema.

O objetivo deste trabalho é a aplicação da metodologia para comparar se o processo produtivo do Agronegócio integrado (ovos, carne de porco e leite) é

ambientalmente mais eficiente que a produção obtida em propriedades cujos processos não são integrados.

Para isso aplica-se a metodologia da Síntese em Emergia com o objetivo de avaliar os efeitos da integração de um sistema agrícola de produção, em relação à eficiência ambiental do processo. Utiliza-se uma abordagem que permite a valoração da intensidade de utilização dos recursos naturais renováveis (R), dos não renováveis (N) e dos recursos provenientes da economia (F) para manutenção do negócio.

2 Metodologia

Por definição, emergia é a energia solar disponível e utilizada direta ou indiretamente para obter um produto ou serviço, incluindo as contribuições da natureza e da economia (Odum, 1996). A unidade de emergia é joule de energia solar (seJ).

Este estudo aplica a contabilidade ambiental em emergia como ferramenta para avaliar um Agronegócio. Foram considerados na análise recursos naturais renováveis e não renováveis bem como os recursos advindos da economia. Os recursos naturais são considerados renováveis (R) quando são consumidos em velocidade menor do que a natureza é capaz de repor, caso contrário, se os recursos são consumidos mais rapidamente do que a natureza pode repor, o recurso passa a ser considerado não renovável (N). Todas estas fontes foram tratadas de forma quantitativa e em uma base comum, a Emergia, contabilizando, dessa forma, os recursos necessários para a produção de ovos, carne de porco e leite.

A contabilidade ambiental em emergia valora toda a energia obtida da natureza, fator que outras metodologias, usualmente, não consideram. Esta contabilidade indica a quantidade de energia solar, seJ, incorporada aos processos de obtenção de produtos ou serviços.

Sendo assim, são considerados pela metodologia adotada todos os insumos necessários para obter um produto ou serviço. Isso significa incluir as contribuições da natureza (irradiação solar, chuva, vento, água de poço, solo e biodiversidade) e as fornecidas pela economia (materiais, combustíveis, maquinário, mão de obra etc).

A emergia pode ser usada para medir a eficiência ambiental dos processos. Quanto maior o fluxo de energia em um processo, maior será seu custo em termos de energia solar e, portanto maior o custo do meio ambiente para mantê-lo.

Este método usa a transformidade solar (emergia por unidade) como um indicador de qualidade e eficiência. A transformidade solar é a energia solar necessária para se obter um joule de um produto ou serviço. A emergia por unidade de tempo é calculada multiplicando-se o fluxo energético (J/ano) pela transformidade (seJ/J).

Este trabalho calcula a Produtividade Global (*Global Productivity- GP*) de acordo com Bonilla, 2010. A produtividade tradicional é calculada como sendo a relação das saídas e entradas (saídas/entradas) enquanto a Produtividade Global considera os serviços da biosfera como os recursos renováveis (R) e os recursos não renováveis (N). Sendo assim a *GP* é mais abrangente que a produtividade normalmente calculada. A produtividade global é obtida pela relação entre a energia e a emergia (unidade/emergia), ou seja, o inverso da transformidade (emergia/unidade).

Quando os dados estão em unidades de massa, volume ou dinheiro usa-se o termo

energia por unidade. A cada processo avaliado, as energias por unidade, retiradas da literatura, são utilizadas como um modo prático de determinação da energia (seJ) dos produtos ou serviços. As energias por unidade dos coprodutos obtidos na fazenda (ovos, carne de porco e leite) foram calculadas nesse estudo e comparadas com valores da literatura.


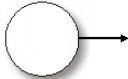
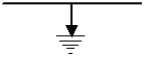
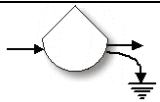
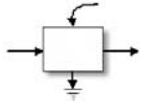
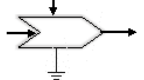
A contabilidade em energia é tradicionalmente feita em três etapas:

1^a etapa: construção de um diagrama definindo-se a fronteira do sistema e todas as fontes de energia e materiais que alimentam o sistema. A metodologia utiliza símbolos próprios para a representação dos diversos componentes do sistema em estudo. Neste trabalho são utilizados os símbolos descritos no quadro 1.

2^a etapa: a partir do diagrama, efetua-se a construção de uma tabela com todas as entradas de energia e materiais do sistema. Nesta etapa selecionam-se as energias por unidade e/ou as transformidades para o cálculo da energia. Os dados de quantidades (energia, massa, volume) foram obtidos em campo e os dados de energia por unidade/transformidade foram obtidos na literatura disponível. A energia foi calculada multiplicando-se as quantidades (energia, massa, volume) pelo valor da energia por unidade/transformidade.

3^a etapa: interpretação dos resultados e cálculo de indicadores. Os indicadores são ferramentas utilizadas para simplificar informações, permitindo comparar resultados.

Quadro 1. Símbolos para construção do diagrama de energia. (Odum, 1996)

	Fluxo de energia: um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou a intensidade da fonte que o produz.
	Fonte: um recurso externo de energia que fornece energia de acordo a um programa controlado externamente (função força).
	Sumidouro de energia: o sistema usa a energia potencial para produzir trabalho. O custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa intensidade. Todos os processos de interação e os armazenamentos dispensam energia.
	Estoque / Depósito: uma reserva de energia dentro dos limites do sistema determinada pelo balanço de entradas e saídas.
	Caixa: símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior. Representa um subsistema.
	Interação: Interseção de no mínimo dois fluxos de energia para produzir uma saída (trabalho) que varia de acordo com uma certa função de energia. Exemplos: uma ação de controle de um fluxo sobre outro, presença de um fator limitante, uma válvula.

3 Resultados

3.1 Diagrama de energia dos sistemas

O diagrama mostrado na figura 1 representa os fluxos de energia e materiais do Agronegócio. Nesse sistema é avaliado o custo ambiental de operação do processo produtivo da Fazenda Braghini. O limite do sistema abrange a manutenção do sistema com janela de um ano (representado pelo retângulo maior). O solo e a água foram representados pelo símbolo de estoque, pois são considerados uma memória de energia que persiste no tempo. Os fluxos de entrada de energia e

materiais são representados na ordem crescente de qualidade (energia por unidade).

São mostrados na figura 1, os fluxos de recursos naturais renováveis (Sol e chuva) à esquerda, os recursos naturais não renováveis (solo e água) na forma de estoque e os fluxos dos recursos provenientes da economia (fertilizante, equipamentos, mão de obra, sementes, farelo de soja e eletricidade) à direita. O milho é representado como estoque para utilização na fabricação de ração para os outros sistemas produtivos. A irradiação solar representa a incidência de luz solar durante o dia na propriedade. As saídas do processo são: os ovos, a carne de porco e o leite (coprodutos). A saída denominada embutidos não foi considerada porque o processo tem uma pequena produção, desprezível se comparada aos outros processos.

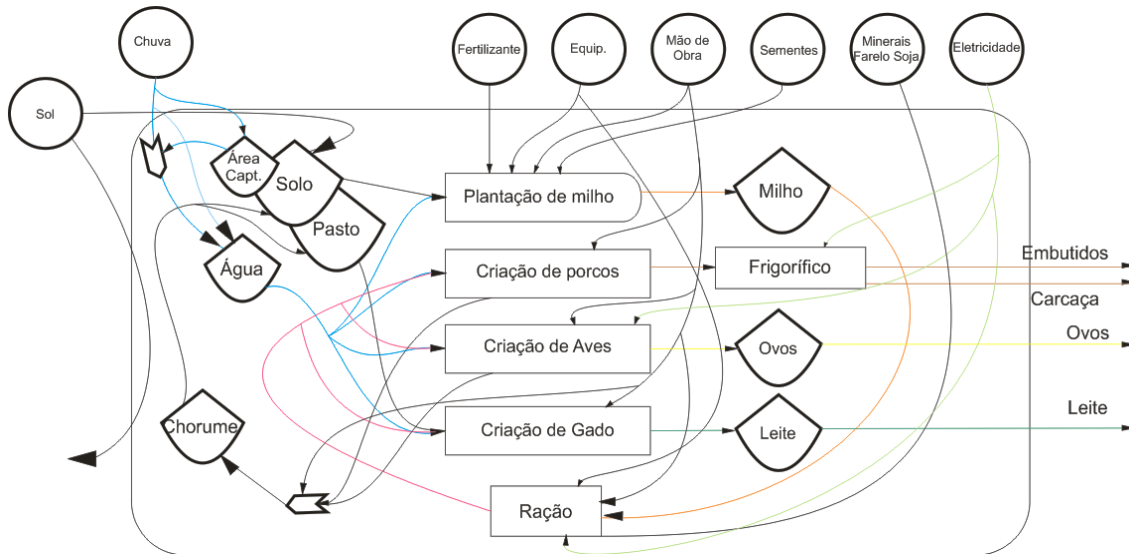


Fig. 1. Diagrama de energia da Fazenda Braghini.

3.2 Contabilidade em energia

A avaliação em energia do Agronegócio é apresentada na tabela 1. O levantamento dos dados foi realizado em campo e refere-se ao ano de 2010.

A tabela 1 mostra a contabilidade em energia do sistema produtivo da Fazenda Braghini, onde foram contabilizadas todas as entradas requeridas para a operação desse agronegócio. A mão de obra é o recurso mais significativo no valor da energia total da Fazenda (34%), devido ao número de funcionários distribuídos nos quatro processos de produção de alimentos que operam na fazenda (milho, ovos, carne de porco e leite). A chuva (23%), os fertilizantes (21%) e a eletricidade (19%) também contribuem de forma significativa na energia do sistema.

Tabela 1. Contabilidade em energia do Agronegócio da Fazenda Braghini

Item	Descrição	Un. ***	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 5
Operação							
1	Irradiação solar*	J	1,41 x 10 ¹³	1,00 x 10 ⁰	1,41 x 10 ¹³		Por definição
2	Chuva Tropical (química)	J	9,03 x 10 ¹²	3,06 x 10 ⁴	2,76 x 10 ¹⁷	23%	Odum, 1996
3	Chuva Tropical Geopotencial	J	4,48 x 10 ¹⁰	1,76 x 10 ⁴	7,88 x 10 ¹⁴	< 1%	Odum, 1996
4	Vento*	J	6,14 x 10 ¹²	2,45 x 10 ³	1,50 x 10 ¹⁶		Odum, 1996
5	Fertilizantes	g	4,90 x 10 ⁷	5,17 x 10 ⁹	2,53 x 10 ¹⁷	21%	Odum, 1996
6	Perda de solo (plantação)	J	3,11 x 10 ¹¹	6,25 x 10 ⁴	4,11 x 10 ¹⁵	2%	Odum, 1996
7	Perda de solo (pastagens)	J	7,32 x 10 ⁹	6,25 x 10 ⁴	4,58 x 10 ¹⁴	< 1%	Odum, 1996
8	Eletricidade	J	6,91 x 10 ¹¹	3,36 x 10 ⁵	2,32 x 10 ¹⁷	19,0%	Odum, 1996
9	Combustíveis	J	1,57 x 10 ¹⁰	1,11 x 10 ⁵	1,74 x 10 ¹⁵	< 1%	Odum, 1996
10	Mão de obra****	J	9,80 x 10 ¹⁰	4,30 x 10 ⁶	4,21 x 10 ¹⁷	34%	Coelho et al, 2002
11	Água	m ³	2,19 x 10 ⁴	1,05 x 10 ¹²	2,30 x 10 ¹⁶	2%	Buenfil, 2001
Produção de milho							
12	Sementes	g	1,08 x 10 ⁶	3,90 x 10 ⁸	4,21 x 10 ¹⁴	< 1%	Panzieri, 1995
Ração (produção de ovos)							
13	Milho**	kg	1,18 x 10 ⁴	2,08 x 10 ⁶	2,45 x 10 ¹⁰		Ortega et al, 2002
14	Farelo de soja	kg	1,12 x 10 ⁴	3,26 x 10 ⁶	3,65 x 10 ¹⁰	< 1%	Ortega et al, 2002
15	Núcleo	kg	5,60 x 10 ³	6,08 x 10 ⁶	3,40 x 10 ¹⁰	< 1%	Cavalett et al, 2006
Ração (produção de suínos)							
16	Milho**	kg	2,52 x 10 ⁴	2,08 x 10 ⁶	5,24 x 10 ¹⁰		Ortega et al, 2002
17	Farelo de soja	kg	2,40 x 10 ⁴	3,26 x 10 ⁶	7,82 x 10 ¹⁰	< 1%	Ortega et al, 2002
18	Núcleo	kg	1,20 x 10 ⁴	6,08 x 10 ⁶	7,30 x 10 ¹⁰	< 1%	Cavalett, 2006
Ração (produção de leite)							
19	Milho**	kg	8,40 x 10 ²	2,08 x 10 ⁶	1,75 x 10 ¹⁰		Ortega et al, 2002
20	Farelo de soja	kg	8,00 x 10 ²	3,26 x 10 ⁶	2,61 x 10 ¹⁰	< 1%	Ortega et al, 2002
21	Núcleo	kg	4,00 x 10 ²	6,08 x 10 ⁶	2,43 x 10 ¹⁰	< 1%	Cavalett, 2006
Energia Total					1,23 x 10¹⁸	100%	
Saídas							
22	Ovos	g	2,71 x 10 ⁸	4,54 x 10 ⁹	1,23 x 10 ¹⁸		Calculada (Anexo A1)
23	Carne de porco (carcaça)	J	3,09 x 10 ¹²	3,98 x 10 ⁵	1,23 x 10 ¹⁸		Calculada (Anexo A2)
24	Leite	g	2,23 x 10 ⁸	5,51 x 10 ⁹	1,23 x 10 ¹⁸		Calculada (Anexo A3)

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total. O Sol, o vento e a chuva são provenientes da mesma fonte de energia (o Sol), e, segundo Odum, 1996 a contabilização da contribuição em energia deve ser feita utilizando apenas o de maior transformidade dos três e não a soma deles, para evitar a dupla contagem de energia. Portanto considerou-se apenas o de maior transformidade que é a chuva.

** O milho utilizado na fabricação de ração também não foi contabilizado para evitar dupla contagem, pois as entradas do processo de produção do milho já estão contabilizadas na tabela.

*** Un. = unidade

**** Mão de obra: 30 funcionários x 260 dias/ano x 3000 kcal/dia x 4186 J/kcal = 9,8 x 10¹⁰ J

Na tabela 2 são mostradas as emergias por unidade, calculadas neste estudo, para a produção de ovos, de carne de porco e de leite e também as encontradas na literatura. A emergência por unidade da produção de ovos e da produção de leite foi calculada em seJ/g e a emergência por unidade (transformidade) da produção de carne de porco (carcaça) foi calculada em seJ/J.

Tabela 2. Comparação das emergias por unidades obtidas neste estudo com as da literatura.

Descrição	Unidades	Emergia/un. seJ/un. (Calculada)	Emergia/un. seJ/un. (Literatura)	Referências da coluna 4
Ovos	g	$4,54 \times 10^9$	$1,07 \times 10^{11}$	Brandt-Williams, 2002
Carne de porco (carcaça)	J	$3,98 \times 10^5$	$2,09 \times 10^6$	Cavalett, 2006
Leite	g	$5,51 \times 10^9$	$3,37 \times 10^{10}$	Brandt-Williams, 2002

A tabela 3 mostra a produtividade global dos três coprodutos do Agronegócio estudado, que foi calculada pelo inverso da transformidade ou emergência por unidade (energia/emergia). As emergias por unidade encontradas na literatura também foram transformadas em produtividade global. Os resultados mostram que Produtividade Global da Fazenda Braghini, que trabalha com sistema integrado de produção de alimentos é maior que a dos sistemas produtivos tradicionais (24 vezes maior para a produção de ovos, 5 vezes maior para a produção de carne de porco e 6 vezes maior para a produção de leite).

Os resultados apresentados indicam que o agronegócio estudado da Fazenda Braghini, que é um sistema integrado de produção de alimentos, é muito mais eficiente ambientalmente do que os sistemas tradicionais, o que corrobora com as conclusões de Cavallet et al, 2006. Os autores também compararam processos agrícolas integrados com processos individualizados e concluíram que a transformidade total do processo integrado é menor do que as transformidades encontradas para cada um dos processos.

Pode-se concluir que isto acontece porque os processos compartilham muitos dos insumos. Todo o milho colhido na propriedade é transformado em ração numa fábrica existente na própria fazenda. Os resíduos orgânicos dos animais são utilizados como adubo no solo que é utilizado na plantação do milho e no pasto. Dos 30 funcionários, 15 trabalham em todos os processos, o que faz com que cada um tenha uma pequena demanda de funcionários dedicados exclusivamente e, conseqüentemente, o agronegócio como um todo necessita de um número total de funcionários menor do que demandariam os processos separados. Os resultados indicam que tanto o custo operacional econômico quanto o ambiental são menores.

Tabela 3. Comparação da produtividade global.

Descrição	Unidades	Produtividade Global (1/Tr) un./seJ (Calculada)	Produtividade Global (1/Tr) un./seJ (Literatura)	Referências da coluna 4
Ovos	g	$1,85 \times 10^{-10}$	$9,35 \times 10^{-12}$	Brandt-Williams, 2002
Carne de porco (carcaça)	J	$2,1 \times 10^{-6}$	$4,78 \times 10^{-7}$	Cavalett, 2006
Leite	g	$1,53 \times 10^{-10}$	$2,97 \times 10^{-11}$	Brandt-Williams, 2002

4 Conclusão

A análise em emergência tem provado ser uma importante ferramenta na avaliação da eficiência ambiental de sistemas agrícolas. Essa análise permite também a determinação de diversos indicadores. Neste trabalho foi utilizada a Produtividade Global (GP) como indicador da eficiência ambiental do sistema produtivo.

Os valores de *GP* calculados no trabalho foram comparados com os encontrados na literatura e foram sensivelmente maiores, o que denota uma maior eficiência na utilização dos recursos ambientais. Isto se deve ao fato do processo ser integrado, o que otimiza a utilização dos recursos. Essa integração faz com que haja uma menor demanda por fertilizantes químicos, por mão de obra e por insumos necessários para a fabricação das rações.

Portanto a avaliação do sistema revelou que a integração dos processos traz importantes benefícios para o meio ambiente e para o produtor. O indicador estudado demonstrou que a eficiência ambiental do processo integrado é maior, o que implica numa maior sustentabilidade do sistema e, uma menor demanda por insumos advindos da economia minimiza o custo econômico operacional do agronegócio.

5 Referências Bibliográficas

Bastianoni S., Marchettini N., Panzieri M., Tiezzi E., 2001. Sustainability Assesment of a Farm in the Chianti Area (Italy). *Journal of Cleaner Production*. 9, 365-373.

Bonilla, S. H., Guarnetti, R. L., Almeida, C. M. V. B., Giannetti, B. F., 2010. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. *Journal of Cleaner Production*. 18, 83-91.

Brandt-Williams, S. L., 2002. Handbook of Emergy Evaluation - A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios - Folio #4 (2nd printing): Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy - Environmental Engineering Sciences - Table 4

Buenfil, A.A. Emergy Evaluation of water. 248 p. Thesis – University of Florida, USA, 2001.

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 and Environment*. 114, 343-350.

Cavalett, O., Queiroz, J. F., Ortega, E., 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*. 193, 205-224.

Coelho, O., Ortega, E., Comar, V., 2002. Balanço de emergia do Brasil. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C05-Brasil-COC.pdf>. Acessado em setembro/2010.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Agência de Informação Embrapa: Agronegócio do leite. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html. Acessado em fevereiro de 2011

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acessado em Agosto/2009.

Martin, J. F., Diemont, S. A. W., Powell, E.; Stanton, M., Levy-Tacher, S., 2006. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 115, 128-140.

Odum, H. T., Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1996.

Ortega, E., Anami, M., Diniz, G., 2002. Certification of food products using emergy analysis. In: Proceedings of IIIrd International Workshop Advances in Energy Studies, Porto Venere, Italy. 227-237.

Panzieri M., 1995. Análise ed Indagine Termodinamica di Sistemi Complessi. M.Sc. thesis, University of Siena, Italy.

SUNDATA, 2010, Disponível em: www.cresesb.cepel.br. Acessado em Julho/2010.

Ulgianti, S., Brown, M. T., Bastianoni, S., Marchettini, N., 1995. Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources. Ecological Engineering. 5, 519-531.

Anexo

Cálculo da emergia por unidade do sistema de produção de ovos (Quadro A1), do sistema de produção de carne de porco (Quadro A2) e do sistema de produção de leite (Quadro A3).

Quadro A1. Cálculo da emergia por unidade da produção de ovos

- Produção: 410.400 ovos por mês = 4.924.800 ovos por ano
- Massa de cada ovo: 55g
- Massa de ovos produzidos na Fazenda por ano: $4.924.800 \times 55 = 2,71 \times 10^8$ g/ano (energia em massa)
- Emergia total da Fazenda: $1,23 \times 10^{18}$ seJ
- Emergia por unidade da produção de ovos = Emergia da Fazenda/Emergia dos ovos: $1,23 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $2,71 \times 10^8$ g/ano = $4,54 \times 10^9$ seJ/g
- **Emergia/unidade = $4,54 \times 10^9$ seJ/g**

Quadro A2. Cálculo da emergia por unidade da produção de carne de porco (carcaça)

- Produção: 350 carcaças por mês = 4.200 carcaças por ano
- Massa de cada carcaça: 75 kg
- Massa de carcaças produzidos na Fazenda por ano: $4.200 \times 75 = 3,15 \times 10^5$ kg/ano (energia em massa)
- Emergia das carcaças (em joules): $3,15 \times 10^5$ kg x 2.341 kcal/kg (Cavalett, 2006) x 4186 J/kcal = $3,09 \times 10^{12}$ J.
- Emergia total da Fazenda: $1,23 \times 10^{18}$ seJ
- Emergia por unidade da produção de carne de porco = Emergia da Fazenda / Emergia das carcaças: $1,23 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $3,09 \times 10^{12}$ J/ano = $3,98 \times 10^5$ seJ/J
- **Emergia/unidade = $3,98 \times 10^5$ seJ/J**

Quadro A3. Cálculo da emergia por unidade da produção de leite

- Produção: 18.000 litros por mês = 216.000 litros por ano = $2,16 \times 10^8$ cm³ de leite por ano
- Densidade do leite (média): 1,032 g/cm³ (Embrapa)
- Massa de leite produzido na Fazenda por ano: $2,16 \times 10^8 \times 1,032$ g/cm³ = $2,23 \times 10^8$ g/ano (energia em massa)
- Emergia total da Fazenda = $1,23 \times 10^{18}$ seJ
- Emergia por unidade da produção de leite = Emergia da Fazenda / Emergia do leite = $1,23 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $2,23 \times 10^8$ g/ano = $5,51 \times 10^9$ seJ/g
- **Emergia/unidade = $5,51 \times 10^9$ seJ/g**