

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO EM ENERGIA
DE UM AGRONEGÓCIO: SUSTENTABILIDADE
E PRODUTIVIDADE GLOBAL**

Alexandre Daliberto Frugoli

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

São Paulo

2013

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO EM ENERGIA
DE UM AGRONEGÓCIO: SUSTENTABILIDADE
E PRODUTIVIDADE GLOBAL**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profª. Drª. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida

Área de Concentração: Produção e Meio Ambiente

Linha de Pesquisa: Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial.

Projeto de Pesquisa: Avaliação e Aplicação de Ecoindicadores para Desenvolvimento Sustentável.

Alexandre Daliberto Frugoli

São Paulo

2013

Frugoli, Alexandre Daliberto

Análise de decomposição em emergia de um agronegócio: sustentabilidade e produtividade global/ Alexandre Daliberto Frugoli. São Paulo, 2013.
181 f (com Apêndice J.1 a J.10 em CD).

Tese (Doutorado) – Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, São Paulo, 2013.

Área de Concentração: Engenharia de Produção e Meio Ambiente

“Orientação: Prof^a. Dr^a. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida”

1. Sustentabilidade 2. Contabilidade Ambiental 3. Emergia 4. Indicadores 5. Análise de Decomposição I. Título.

Alexandre Daliberto Frugoli

**ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO EM EMERGIA
DE UM AGRONEGÓCIO: SUSTENTABILIDADE
E PRODUTIVIDADE GLOBAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA

Aprovado em: ___/___/___

Profa. Dra. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida
Universidade Paulista

Prof. Dr. José Roberto Cardoso
Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Marlei Roling Scariot
Universidade Federal de São Paulo

Profa. Dra. Silvia Helena Bonilla
Universidade Paulista

Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti
Universidade Paulista

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos filhos, Luca e Ana Luiza, minhas fontes de inspiração para continuar galgando progressos em minha vida profissional.

À minha mulher, Andrea, pela parceria ao longo dos anos e pela paciência de sempre.

Aos meus amados pais, Anarlete e Pedro, que desde minha infância zelam por minha educação, incentivam os meus estudos e são meus exemplos de vida. À minha mãe, que nas horas necessárias me mostrou os limites e me colocou no caminho correto. Ao meu pai, que é o maior e melhor modelo que eu poderia ter em minha carreira.

Aos meus irmãos, Marcio e Ivan, por toda a cumplicidade e amizade.

Aos meus filhos, mulher, mãe, pai e irmãos, pelo amor incondicional.

A todos que vibraram positivamente por mim.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida, pela dedicação, pelos ensinamentos, pela sabedoria, pelo inestimável apoio e pela imensurável paciência, fatores imprescindíveis e decisivos para o êxito desta tese.

Ao Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti, pela relevante contribuição para o término do trabalho, pelos ensinamentos transmitidos e por integrar a banca de examinadores.

À Prof^a. Dr^a. Silvia Helena Bonilla pela preciosa participação na minha formação acadêmica ao longo dos anos.

Às Prof^{as} Dr^{as} Silvia Helena Bonilla e Marlei Roling Scariot pelas valiosas sugestões no exame de qualificação e pela participação na banca de defesa desta tese.

Ao Prof. Dr. José Roberto Cardoso, pela honra de tê-lo em minha banca de examinadores.

Ao Prof. Dr. João Carlos Di Genio e ao Prof. Dr. Fábio Romeu de Carvalho, pelas oportunidades concedidas e pela confiança em meu trabalho.

Aos amigos José Carlos Braghini e Rafael Braghini, por terem aberto as portas de sua propriedade para que eu pudesse realizar este trabalho.

À Prof^a. Ana Paula Zaccaria dos Santos, pela imensa colaboração e intensa pressão, sem as quais o caminho teria sido mais longo.

Ao Prof. Dr. Fábio Sevegnani, pela amizade e revisão do abstract.

À Prof^a. Solimar Garcia, pela revisão do texto.

A todos os meus profundos e sinceros agradecimentos.

Finalmente, agradeço a Deus pela luz e proteção sempre recebida ao longo de minha vida.

“Se não puderes ser um pinheiro, no topo de uma colina,
Sê um arbusto no vale mas sê
O melhor arbusto à margem do regato.
Sê um ramo, se não puderes ser uma árvore.
Se não puderes ser um ramo, sê um pouco de relva
E dá alegria a algum caminho.

Se não puderes ser uma estrada,
Sê apenas uma senda,
Se não puderes ser o Sol, sê uma estrela.
Não é pelo tamanho que terás êxito ou fracasso...
Mas sê o melhor no que quer que sejas.”

Pablo Neruda

Resumo

A vocação agroindustrial do Brasil foi a responsável pela motivação do trabalho, pois aproximadamente um terço de toda produção nacional vem dessa área. Além disso, o aumento nas áreas de plantio de grãos, visando ao suprimento da nova demanda mundial, tem acelerado o processo de desmatamento e a necessidade do incremento da produtividade, o que provoca danos ambientais e exige um intenso uso de recursos não renováveis. Este contexto faz com que os sistemas agrícolas tenham que ser 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. O trabalho tem a proposta de estudar um agronegócio localizado na cidade de São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais, composto pela produção de milho, ovos, carne suína e leite e avaliar, por meio da Contabilidade Ambiental em Emergia associada à Análise Avançada de Sustentabilidade (ASA), os efeitos da integração desses processos produtivos na eficiência e na sustentabilidade ambiental dos produtos da Fazenda Braghini. São estudados sete cenários, o primeiro do sistema Integrado existente e os outros simulando a retirada de um dos subsistemas produtivos. A eficiência foi medida pela produtividade global (*GP*) e a ASA avaliou a sustentabilidade do agronegócio para o ano de 2010 e faz uma previsão para o ano de 2050. As produtividades globais obtidas no sistema integrado foram menores do que as pesquisadas, indicando maior eficiência ambiental. Em contrapartida, quando foi calculada a *GP* do sistema, levando-se em consideração a quantidade total de proteínas que é produzida e a emergia total necessária, a configuração mais vantajosa ambientalmente é a que interrompe a produção de ovos e aumenta a produção de carne suína em 1,89 vezes. Isto sugere que o simples fato de integrar processos de produção pode não garantir ganhos na sustentabilidade ambiental. A Análise de Decomposição Avançada indicou que o sistema integrado sem produção de milho foi o que apresentou um menor valor de emergia total durante todo o período avaliado, mas que foi o mais significativamente influenciado pelas variáveis simuladas, e em 2050 apresentaria os Índices de Rendimento em Emergia (*EYR*) e Investimento em Emergia (*EIR*) menos favoráveis. Quando a decomposição foi realizada do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, o resultado mostra que o sistema mais indicado é o que não produz ovos e aumenta a produção de carne em 1,89 vezes para que a receita seja mantida.

Palavras-chave: sustentabilidade; contabilidade ambiental; emergia; indicadores; análise de decomposição.

Abstract

The Brazilian vocation to the agribusiness motivated this work, since approximately one third of all domestic production comes from this area. In addition, the increase in grains planting areas, aiming to supply the worldwide new demand has accelerated the process of deforestation and the need to increase productivity, which causes environmental damages and require intensive use of non-renewable resources. In this context, farming systems have to be more environmentally sustainable, exploring the maximum possible use of renewable resources and reducing the use of non-renewable resources. However, this need cannot affect the productivity and, hence, the competitiveness of these agribusiness. This work studies an agribusiness located in São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais, comprising the production of corn, eggs, pork and milk and evaluates, through the Environmental Energy Accounting associated with Advanced Sustainability Analysis (ASA), the effects of the integration of these processes on efficiency and environmental sustainability of the Braghini Farm. Seven scenarios are studied, the first is the integrated existing system and the others are simulations in which one of the productive subsystems is removed. Efficiency is measured by the global productivity (GP) and ASA evaluates the agribusiness' sustainability for the year 2010, forecasting for the year 2050. The global productivity obtained for the integrated system is lower than those at the literature, indicating higher environmental efficiency. In contrast, when the GP of the systems is calculated, taking into account the amount of protein produced and the corresponding total emergy required, the most environmentally advantageous configuration is the one without egg production and increased production of pork in 1.89 times. This suggests that the simple fact of integrating production processes cannot assure gains in environmental sustainability. The Advanced Decomposition Analysis indicates that the integrated system without corn production has the lower value of total emergy throughout the studied period, but this system is the most significantly influenced by changes in variables. In 2050, this system would present less favorable Emergy Yield Ratio (EYR) and Emergy Investment Ratio (EIR). When the decomposition is conducted from the environmental sustainability viewpoint, the results show that the most indicated system is the one that does not produce eggs and increases 1.89 times the meat production in order to maintain the income.

Keywords: sustainability, environmental accounting; emergy; indicators; decomposition analysis.

Lista de figuras

Figura 1a. Diagrama de energia de um sistema de produção de café convencional (Fazenda Barrinha)	22
Figura 1b. Diagrama de energia de um sistema de produção de café orgânico (Fazenda Terra Verde)	22
Figura 2. Diagrama de fluxos de energia de um sistema típico de produção de soja	23
Figura 3. Símbolos para construção do diagrama de energia	35
Figura 4. Linhas de recurso: ponto no interior no diagrama ternário.	39
Figura 5. Diagrama ternário e as linhas de sustentabilidade.....	40
Figura 6. Vista aérea da Fazenda Braghini.....	44
Figura 7. Plantação e colheita de milho (à esquerda) e criação de aves para produção de ovos (à direita).....	45
Figura 8. Criação de porcos para produção de carne (à esquerda) e criação de gado para produção de leite (à direita)	46
Figura 9. Localização da cidade São Sebastião do Paraíso	46
Figura 10. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini.....	49
Figura 11. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne.....	53
Figura 12. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne e com aumento de 2,13 vezes na produção de ovos	55
Figura 13. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos.....	58
Figura 14. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos e com aumento de 1,89 vezes na produção de suínos	61

Figura 15. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de milho.....	63
Figura 16. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem o aproveitamento dos resíduos.....	65
Figura 17. Composição da energia das matérias-primas que fluem para cada sistema agregadas em categorias principais	67
Figura 18. Indicadores de todos os sistemas estudados.....	70
Figura 19. <i>EYR</i> x <i>GP</i> (gramas de proteína/seJ) dos ovos.....	72
Figura 20. <i>EYR</i> x <i>GP</i> (gramas de proteína/seJ) da carne.....	72
Figura 21. <i>ELR</i> x <i>GP</i> (gramas de proteína/seJ) dos ovos.....	73
Figura 22. <i>ELR</i> x <i>GP</i> (gramas de proteína/seJ) da carne.....	73
Figura 23. <i>ESI</i> x <i>GP</i> (gramas de proteína/seJ) dos ovos	74
Figura 24. <i>ESI</i> x <i>GP</i> (gramas de proteína/seJ) da carne	74
Figura 25. Diagramas ternários	75
Figura 26. Diagrama ternário representando o desempenho em energia de vários sistemas de produção agrícola	76
Figura 27. Decomposição dos cinco sistemas estudados para o ano de 2010	77
Figura 28. Variação dos fatores que compõem a energia total do sistema integrado para o período 2010-2050.....	79
Figura 29. Mudanças ao longo dos anos para \$ e MO/\$.....	80
Figura 30. Mudanças ao longo dos anos para U/F , $F/(R+N)$ e $(R+N)/\text{Área}$	80
Figura 31. Variação dos fatores para os sistemas estudados (com exceção daqueles em que há perda de receita) no período de 2010 a 2050	82

Figura 32. Variação da energia total ao longo do período considerado (à esquerda) e o delta de energia entre 2010 e 2050 (à direita)	83
Figura 33. Variação da parcela U/F (EYR) de 2010 a 2050.....	84
Figura 34. Variação da parcela EIR de 2010 a 2050.....	84
Figura 35. Variação da capacidade de carga local de 2010 a 2050.....	85
Figura 36. Variação da razão entre a energia da mão de obra e a receita, de 2010 a 2050.....	85
Figura 37. Variação da receita de 2010 a 2050.....	86
Figura 38. Decomposição do sistema integrado entre 2010 e 2050.....	87
Figura 39. Decomposição dos sistemas estudados entre 2010 e 2050.....	88
Figura 40. Variação de ES^* x GP ao longo do período considerado (à esquerda) e o delta previsto para 2050 (à direita)	89
Figura 41. Variação da parcela MO/F de 2010 a 2050.....	90
Figura 42. Variação da parcela R/área de 2010 a 2050.....	91
Figura 43. Variação da parcela UF/\$ de 2010 a 2050.....	92
Figura 44. Variação da parcela \$/U de 2010 a 2050.....	92

Lista de tabelas

Tabela 1. Descrição dos cenários considerados para avaliar a eficácia do sistema integrado.....	47
Tabela 2. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini	50
Tabela 3. Comparação das energias por unidade (UEVs) obtidas neste estudo com as da literatura	51
Tabela 4. Contabilidade em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne.....	54
Tabela 5. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem a produção de carne com aumento de 2,13 vezes na produção de ovos	56
Tabela 6. Comparação das energias por unidade obtidas neste estudo com as da literatura	57
Tabela 7. Contabilidade em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos.....	59
Tabela 8. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem a produção de ovos com com aumento de 1,89 vezes na produção de suínos.....	62
Tabela 9. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem a produção de milho	64
Tabela 10. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem o adubo orgânico (aproveitamento dos resíduos)	66
Tabela 11. Comparação das energias por unidade obtidas neste estudo (todos os sistemas) com as da literatura	68
Tabela 12. Comparação dos indicadores e das energias dos sistemas estudados.	69
Tabela 13. Comparação das produtividades globais obtidas neste estudo (todos os sistemas) com as da literatura	71

Tabela 14. Variação percentual de todos os fatores para o sistema integrado nos períodos de 2010-2030, 2030-2050 e 2010-2050	81
Tabela 15. Variação percentual nos períodos considerados para cada fator de contribuição ..	88
Tabela 16. Comparação dos resultados para os cinco sistemas com manutenção de receita	93

Lista de Apêndices

Apêndice A – Sistema integrado	104
Apêndice B – Sistema sem a produção de carne	115
Apêndice C – Sistema sem a produção de carne com manutenção da receita original (2,13 vezes a produção de ovos)	126
Apêndice D – Sistema sem a produção de ovos	137
Apêndice E – Sistema sem a produção de ovos com manutenção da receita original (1,89 vezes a produção de suínos)	147
Apêndice F – Sistema sem a produção de milho	158
Apêndice G – Sistema de produção de milho sem o adubo orgânico	168
Apêndice H – Análise Avançada de Sustentabilidade (ASA) - Demonstração da série que avalia as alterações no produto <i>ESI*</i> x <i>GP</i>	179
Apêndice I – Análise de sensibilidade.....	181
Apêndice J – Análise de decomposição	em CD

SUMÁRIO

1. Introdução	17
2. Objetivos	19
3. Revisão Bibliográfica	20
4. Metodologia	33
4.1. Contabilidade ambiental em emergia	33
4.2. Produtividade global	38
4.3. Diagrama ternário de emergia	38
4.4. Análise de decomposição	40
4.5. Descrição do sistema	44
5. Resultados e discussão	48
5.1. Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado da Fazenda Braghini.....	48
5.2. Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado sem a produção de carne ...	52
5.3. Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado sem a produção de carne com manutenção da receita total original (2,13 vezes a produção de ovos)	54
5.4. Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado sem a produção de ovos	58
5.5. Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado sem a produção de ovos com manutenção da receita total original (1,89 vezes a produção de suínos)	60
5.6. Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado sem a produção de milho	62
5.7. Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado sem a utilização de adubo orgânico (sem aproveitamento dos resíduos)	64
5.8. Avaliação dos indicadores.....	69

5.9. Análise de decomposição para o ano-base de 2010	76
5.10. Análise de decomposição para o período de 2010 a 2050	78
6. Conclusões	94
7. Propostas para trabalhos futuros	97
8. Referências	98
Apêndices A a I.....	104
Apêndice J	em CD

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio é responsável por uma parcela significativa das exportações brasileiras e por um número elevado de empregos gerados. Em 2005, este setor foi responsável por 28% do PIB nacional, 37% das exportações e 37% dos empregos. A vocação agroindustrial do País foi a responsável pela motivação deste trabalho, pois um terço de toda produção nacional vem dessa área. De acordo com o estudo da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), feito em 2011, o país lidera a produtividade agrícola na América Latina e Caribe e tem crescimento médio de 3,6% ao ano (Ministério da Agricultura, 2012).

Os impactos ambientais causados pelo aumento nas áreas de plantio de grãos visando suprir a nova demanda mundial, a necessidade do incremento da produtividade com a utilização intensa de fertilizantes e maquinário e o desmatamento provocado por estas ações devem ser observados com atenção e preocupação. Por outro lado, uma mudança importante no sistema alimentar mundial provém do aumento do consumo de proteínas (FITZHUGH, 1998; DELGADO *et al.*, 1999; SMIL, 2000). A demanda de carne vem aumentando rapidamente com o crescimento econômico e mais animais são criados e alimentados intensivamente com o uso de cereais. Em países industrializados, 73% dos cereais são empregados como alimentos para animais (SMITH, 2008) e nos países em desenvolvimento, cerca de 37% dos cereais são utilizados desta maneira. Diante destas exigências, os gestores de agronegócios têm se preocupado cada vez mais com a sustentabilidade ambiental, buscando a maior utilização possível de recursos locais renováveis e a diminuição de uso de recursos não renováveis, mas esta tendência não pode afetar a produtividade e, conseqüentemente, a competitividade destes agronegócios.

Atualmente, as preocupações com a sustentabilidade de agronegócios se centram na necessidade de desenvolver tecnologias e práticas agrícolas que: (i) não tenham efeitos adversos sobre o meio ambiente (em parte porque o ambiente é um ativo importante para a agricultura), (ii) sejam acessíveis e eficazes para os agricultores e (iii) resultem em melhorias tanto na produtividade de alimentos como em efeitos positivos sobre bens e serviços ambientais. A busca da sustentabilidade em sistemas agrícolas incorpora conceitos de resiliência (a capacidade dos sistemas para resistir a perturbações e ao estresse) e de persistência (a capacidade dos sistemas para continuar por longos períodos) e busca resultados mais amplos nos setores econômico, social e ambiental.

Considerando que os agroecossistemas ou agronegócios são ecossistemas alterados (ODUM e BARRETT, 2004; SWIFT *et al.*, 2004) com diferentes variáveis (produtividade, estabilidade, relações tróficas, resiliência, dependência de recursos externos etc.), sua sustentabilidade tem sido associada a substituir algumas práticas por outras que imitam aquelas dos sistemas naturais sem prejuízo significativo à produtividade e preservando as funções do ecossistema de entorno (RYDBERG e JANSEN 2002; FIRBANK *et al.*, 2006, 2008).

Dentre as tecnologias e práticas propostas para melhorar a produtividade e a utilização do capital natural dos agroecossistemas estão:

a. o manejo integrado, que busca tanto equilibrar a necessidade de fixar nitrogênio como reduzir a necessidade de importar fertilizantes inorgânicos (GOULDING *et al.*, 2008; MOSS, 2008);

b. a integração pecuária em sistemas de produção, tais como a criação de gado, suínos e aves (ALTIERI, 1995; WILKINS, 2008).

Este trabalho visa avaliar um agronegócio que contempla estas propostas. Localizado na cidade de São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais, o agrossistema é composto pela produção de alimentos (milho, ovos, porcos e leite). O estudo aplica a contabilidade em energia, associada à Análise Avançada de Sustentabilidade (ASA), para avaliar os fluxos de energia e materiais do processo produtivo da Fazenda Braghini, avaliando os efeitos da integração dos processos de produção de alimentos no que tange a sua sustentabilidade, quando comparada à produção isolada de alimentos deste e de outros agronegócios. O estudo toma 2010 como ano-base e faz uma projeção dos processos de produção de alimentos estudados até o ano de 2050.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a sustentabilidade ambiental de um agronegócio sob a perspectiva da biosfera para o ano de 2010 e efetuar uma projeção para o ano de 2050. Para tanto, se utiliza a contabilidade ambiental em energia combinada com a Análise Avançada de Sustentabilidade.

2.1 Objetivos específicos

Calcular a energia total do sistema integrado e dos sistemas de que se retira um dos processos de produção.

Calcular a eficiência global dos sistemas por meio do cálculo da Energia por Unidade (UEV) e da Produtividade Global (*Global Productivity - GP*).

Determinar os indicadores em energia: Índice de Rendimento em Energia (*Emergy Yield Ratio - EYR*), Índice de Carga Ambiental (*Environmental Load Ratio - ELR*), Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Index – ESI*).

Determinar a sustentabilidade dos sistemas utilizando o indicador $ESI^* \times GP$.

Construir o diagrama ternário de energia para os sistemas estudados.

Projetar o desempenho ambiental do agronegócio para o ano de 2050, considerando mudanças em fatores externos (mudanças climáticas e aumento de inflação).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vários estudos da utilização da contabilidade em energia para avaliação da sustentabilidade de agronegócios foram encontrados na literatura. Dentre eles foram selecionados, para compor a revisão bibliográfica deste trabalho, os que possuíam maior aderência e afinidade, pois avaliam a sustentabilidade de sistemas semelhantes utilizando a contabilidade ambiental em energia, de maneira que as discussões realizadas estivessem cientificamente embasadas.

Lagerberg e Brown (1999) realizaram um estudo para analisar a melhoria na sustentabilidade agrícola e para isso compararam um processo de cultivo de tomate na Suécia a um processo de cultivo tradicional na Flórida. A produção na Suécia é intensiva e cultiva os tomates em estufas, está inserida numa pequena área e possui alta produtividade. O Índice de Investimento em Energia (*EIR*) elevado, obtido na contabilidade em energia, demonstra que essa atividade utiliza de forma intensiva os recursos provenientes da economia como, por exemplo, o diesel utilizado nos motores que fazem o aquecimento das estufas. A transformidade encontrada para o processo sueco é dezenove vezes maior do que a encontrada na Flórida, o que denota uma menor eficiência na transformação dos recursos pelo primeiro processo. Os autores simularam, visando a obtenção de uma melhor sustentabilidade ambiental, a substituição dos motores movidos a diesel por sistemas que utilizam a queima de pó de madeira para os geradores de energia. O pó de madeira, além de ser um recurso renovável, também é um recurso local, o que faz com que o indicador de rendimento em energia (*EYR*) aumente, indicando uma melhora na utilização dos recursos. Na simulação, foi calculado o novo valor para a transformidade do sistema sueco e observou-se uma redução de 23 por cento, o que novamente permite concluir que o sistema pode melhorar sensivelmente o seu desempenho ambiental se alguns recursos forem substituídos.

No estudo de Bastianoni *et al.* (2001) foi realizada a análise em energia para a obtenção de indicadores que avaliam a eficiência de um sistema agrícola em uma fazenda em Chianti, perto de Siena, uma região de Toscana na Itália. A fazenda possui seis culturas: uva, azeitona, milho, girassol, forragem e cereais. Os resultados foram comparados com as médias italianas para obter uma ideia da sustentabilidade em longo prazo dos sistemas agrícolas. Os resultados mostram que as entradas de recursos naturais renováveis representam 97% da energia total e os recursos locais representam 48% da energia total, mostrando que a fazenda possui sustentabilidade em longo prazo. O Índice de Rendimento em Energia (*EYR*) foi maior que a

média do sistema agrícola italiano e o Índice de Carga Ambiental (*ELR*) foi menor que a média, mostrando que a fazenda depende dos recursos locais e tem baixa carga ambiental. Os cultivos de todas as culturas, exceto da uva, foram mais eficientes e possuem menor impacto ambiental que a média da Itália (menor carga ambiental). Para as uvas, os autores fazem um estudo comparativo dos vinhedos de Chianti com a média dos valores obtidos para as uvas italianas, mas, além disso, também compararam com regiões produtoras de uvas de alta qualidade, 'Brunello di Montalcino' e 'Nobile di Montepulciano'. Concluíram que também são mais eficientes (menor transformidade) e têm um valor intermediário de impacto ambiental quando comparadas com estes dois sistemas.

O estudo de Liu *et al.* (2004) faz a comparação entre o sistema de produção de grãos de duas províncias chinesas, Jiangsu e Shaanxi, com o intuito de analisar a eficiência e a sustentabilidade em relação à intensidade no uso de recursos naturais, de recursos advindos da economia e dos produtos produzidos. Os resultados demonstraram que os recursos ambientais continuam tendo um papel pouco importante na condução dos sistemas de produção. O uso excessivo de componentes inorgânicos tem aumentado drasticamente, enquanto o dos componentes orgânicos tem aumentado pouco ou diminuído. Dessa forma, a deterioração das energias de entrada afeta a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas, resultando em aumento do EIR e ELR, enquanto o EYR e o índice de sustentabilidade diminuem. Em geral, os indicadores de eficiência e sustentabilidade encontrados para a produção de grãos em Jiangsu foram piores do que em Shaanxi.

Ortega e Sarcinelli (2004) estudaram duas fazendas de produção de café no Brasil, sendo que uma delas utiliza sistema de cultivo orgânico e a outra utiliza sistema de cultivo convencional. A Fazenda Terra Verde, localizada em Albertina no Estado de Minas Gerais, utiliza o cultivo orgânico e a Fazenda Barrinha, localizada em Santo Antonio do Jardim, no Estado de São Paulo, utiliza o cultivo convencional. Os autores mostram que o sistema de cultivo convencional utiliza pesticidas, herbicidas e fertilizantes químicos, enquanto o sistema de cultivo orgânico utiliza recursos naturais e materiais orgânicos. Entretanto, este último utiliza mais mão de obra permanente do que o sistema convencional. Na produção orgânica a vegetação nativa auxilia no controle de pragas e na conservação do solo e da água. Os autores utilizaram a contabilidade ambiental em energia com cálculo dos indicadores para o estudo das produções de café e colocam em discussão os aspectos socioeconômicos. Os resultados mostraram que o sistema convencional (Figura 1a) necessita nove vezes mais recursos da economia e cinco vezes mais recursos não renováveis, enquanto o sistema orgânico (Figura

1b) utiliza dezesseis vezes mais recursos renováveis. Os autores concluíram que o café orgânico possui melhor retorno financeiro e que a utilização de recursos renováveis pelos pequenos produtores resulta em baixo custo de produção e conseqüente aumento de competitividade no mercado de café, pois a comparação demonstrou que o sistema biológico pode melhorar os resultados econômicos em pequenas propriedades.

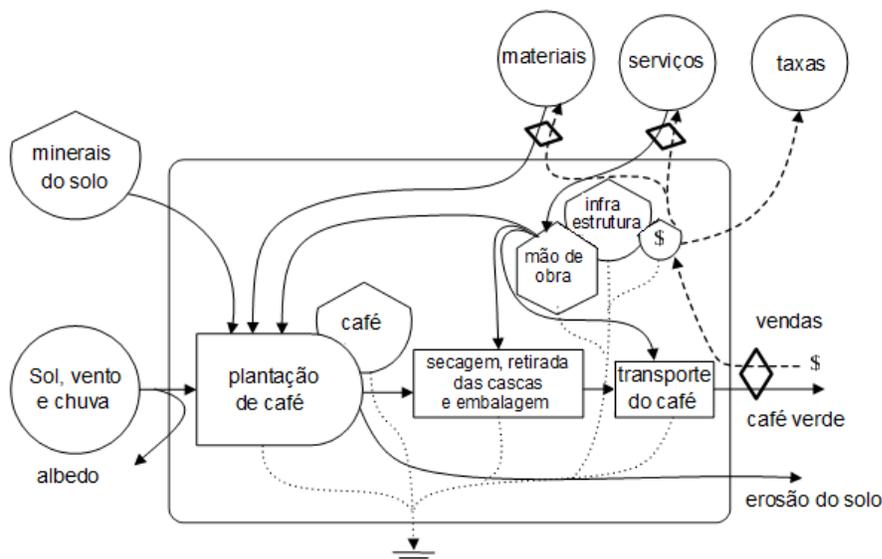


Figura 1a. Diagrama de energia de um sistema de produção de café convencional (Fazenda Barrinha).
Fonte: retirado de Ortega e Sarcinelli (2004). As informações do diagrama foram traduzidas para o português.

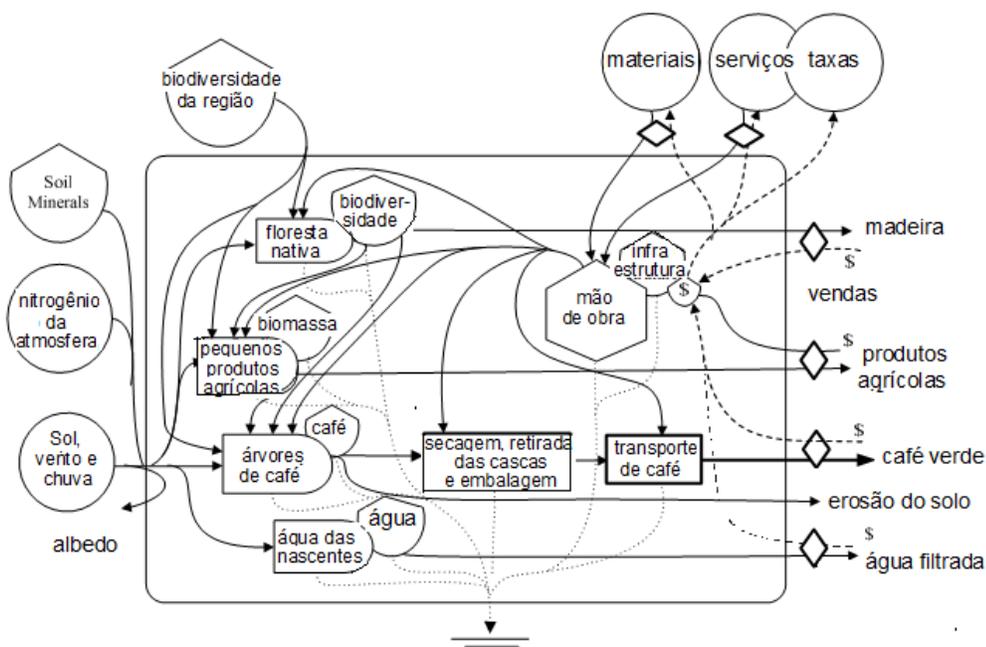


Figura 1b. Diagrama de energia de um sistema de produção de café orgânico (Fazenda Terra Verde).
Fonte: retirado de Ortega e Sarcinelli (2004). As informações do diagrama foram traduzidas para o português.

O estudo de Ortega *et al.* (2005) avalia quatro sistemas de produção de soja no Brasil por meio da análise em emergia e do uso de indicadores. Os sistemas agrícolas de produção de soja foram divididos em duas categorias: biológicos (orgânicos e ecológicos) e industriais (agroquímicos e de plantio direto com herbicidas). A fazenda biológica é de pequeno porte e caracteriza-se por gestão familiar e utilização dos recursos locais disponíveis, obedecendo as leis ambientais. A fazenda industrial pode ser média, grande ou muito grande e caracteriza-se por gestão empresarial, uso intensivo de produtos químicos e máquinas (em substituição à mão de obra), utilizam grande quantidade de energia fóssil, empregam poucos trabalhadores e consequentemente afetam o meio ambiente. A Figura 2 mostra um diagrama de energia de um sistema típico de produção de soja (diagrama utilizado na contabilidade ambiental em emergia para representar o sistema estudado). Os autores discutem a importância da liberação das sementes de soja transgênica no Brasil, porém, a discussão se restringe ao modelo industrial, não levando em consideração a produção biológica. Os resultados mostram que os sistemas biológicos apresentam melhores resultados de desempenho ambiental, econômico e social, pois exigem menor investimento financeiro para cada unidade de emergia produzida, possuem melhor capacidade de explorar os recursos locais disponíveis e oferecem menor pressão sobre o meio ambiente. O sistema ecológico é o mais eficiente (menor transformidade) e os sistemas biológicos (orgânico e ecológico) possuem maior percentual de energias renováveis (%R) e menor carga ambiental (ELR), já os sistemas industriais são grandes consumidores de energia fóssil e causam maior pressão no ambiente.

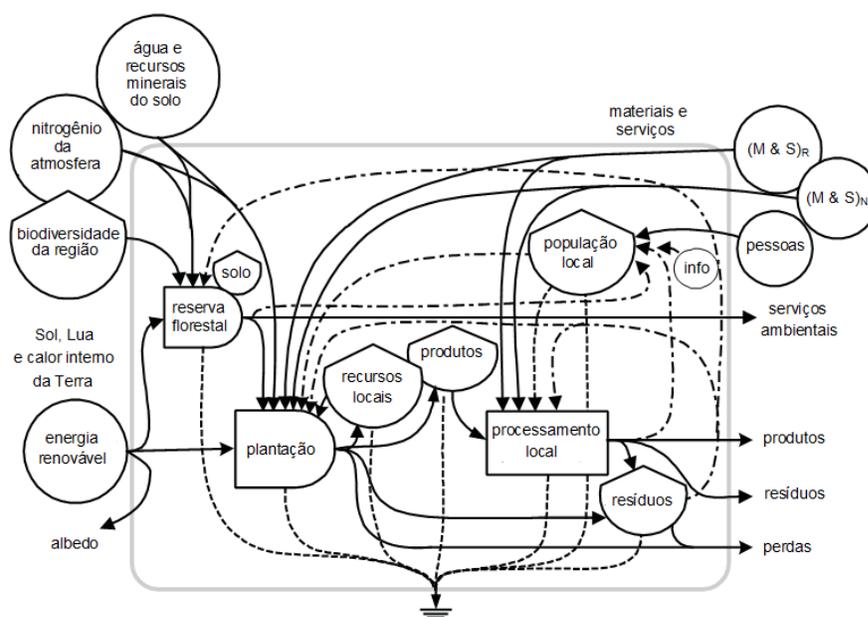


Figura 2. Diagrama de fluxos de energia de um sistema típico de produção de soja.
Fonte: retirado de Ortega *et al.* (2005). As informações do diagrama foram traduzidas para o português.

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 e concluem que os sistemas integrados têm uma eficiência em emergia mais elevada, mais capacidade para utilizar recursos locais e, portanto, provocam menos danos ambientais. Para isso, as emergias por unidade foram calculadas da forma tradicional, proposta por Odum (1996) e pelo método dos coprodutos estudado por Bastianoni e Marchettini (2000). A forma tradicional divide o total da emergia requerida pelo sistema pelos valores de energia de cada produto e a proposta de Bastianoni e Marchettini faz a divisão da emergia total requerida pelo sistema pela soma da energia de todas as saídas. A comparação da transformidade obtida para o sistema integrado, utilizando o método dos coprodutos, foi 948.000 seJ/J, enquanto os valores obtidos para os sistemas isolados, foram 2.087.000 seJ/J para os porcos e 3.040.000 seJ/J para os peixes. Dessa forma, os autores concluíram que o sistema integrado é mais eficiente na conversão de energia, o que significa dizer que ele pode produzir mais produtos usando a mesma emergia. O indicador *ELR* também demonstra que o sistema integrado é menos estressante ao meio ambiente e mais sustentável do que as produções de grãos, porcos e peixes operando de forma separada. Entretanto, os resultados indicam que é necessário um esforço para intensificar a reciclagem e a integração dos subsistemas, além da diminuição na utilização de insumos não renováveis.

Martin *et al.* (2006) fazem uma análise em emergia de três sistemas agrícolas com gerenciamentos diferentes, para avaliar a sustentabilidade: uma produção de milho realizada em grande escala, localizada em Republic County, Kansas, EUA; uma fazenda de amoras pretas (*blackberry*), em Columbus, Ohio, EUA, que produz em pequena escala; e uma policultura de subsistência, numa área denominada Lacandon Maya em Chiapas, México, 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*). Os

três sistemas ocupam grandes áreas e possuem fatores socioeconômicos que afetam o uso de recursos renováveis e a sustentabilidade. As produções de milho e amoras são caracterizadas pela necessidade de intensa mão de obra e pela busca de grandes lucros. Para a minimização de gastos com a mão de obra e conseqüente melhora no desempenho econômico, os produtores de milho acabam investindo em máquinas, fertilizantes e herbicidas, o que faz com que a carga ambiental destes sistemas seja elevada. Os produtores de amora têm o custo de mão de obra absorvido pelo alto valor agregado do seu produto. O sistema indígena tem baixos custos com mão de obra e nenhuma necessidade de gerar lucros o que permite a realização da multicultura. Os autores concluem que quantificar os insumos de sistemas de agricultura em uma base comum, a energia, permite identificar quais entradas de energia no processo devem ser manipuladas para que se tenha ganhos em sustentabilidade. Com isso é possível notar que a carga ambiental das produções de milho e amoras é muito grande, pois há necessidade de energia não renovável investida em irrigação, fertilizante e combustível. Quando estes insumos foram manipulados e diminuídos na produção indígena, notou-se um ganho na sustentabilidade. Entretanto, o rendimento nas produções de milho e amora é superior ao da policultura indígena, o que demonstra o desafio em identificar sistemas de produção de alimentos que sejam fundamentados em maior consumo de energias renováveis, mas tenham alto rendimento.

O estudo de Castellini *et al.* (2006) analisa e compara sistemas de engorda em granjas, utilizando a análise em energia. 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.

Cuadra e Björklund (2007) avaliaram o aspecto econômico e ambiental da produção agrícola de seis tipos diferentes de produtos, feijão, tomate, milho, abacaxi, café e repolho. Para a avaliação utilizaram três métodos diferentes: custo econômico e estimativa de retorno (CAR), pegada ecológica (EF) e análise em energia (EA). Os índices econômicos estudados foram receita e rentabilidade. Os índices de pegada ecológica abordados foram: pegada ecológica por

hectare de plantação (EF_{crop}), pegada ecológica por 1.000 USD de receita (EF_{rev}) e pegada ecológica por gigacaloria de energia produzida (EF_{Gcal}). Os índices em emergia foram: emergia fundamentada na rentabilidade (EA_{prof}) e emergia baseada na pegada ecológica (EA_{EF}). O artigo mostrou que as produções de tomate e repolho são as mais rentáveis, tanto no aspecto econômico quanto em termos de emergia, e que a produção de café é a menos rentável. Por outro lado, os cultivos de feijão, café e milho são os mais sustentáveis quando este fator é avaliado pela capacidade de carga ecológica, mensurada pela pegada ecológica ou pela pegada ecológica baseada em emergia. Neste quesito os piores desempenhos foram observados nos cultivos de repolho e tomate. A lucratividade medida em termos econômicos, em relação ao uso de emergia ou fundamentada na pegada ecológica, mostraram valores similares para todos os tipos de produções abordadas. Entretanto, a lucratividade medida pelo *CAR* foi maior da que a obtida pelo método que determinou o EA_{prof} , pois, este último leva em consideração os fatores ambientais. Os resultados demonstram a fraca coerência entre os fatores econômicos e a sustentabilidade ambiental.

La Rosa *et al.* (2008) examinaram, usando a análise em emergia, a produção de laranjas vermelhas na Sicília, com o objetivo de avaliar o uso de recursos, a produtividade, o impacto ambiental e a sustentabilidade deste processo produtivo. Foram estudadas quatro diferentes fazendas para que fossem comparados os processos de produção convencionais com os processos orgânicos. As propriedades tinham as seguintes características: a Fazenda La Mariorosa produz as laranjas de forma convencional e possui 100 ha; a Fazenda Santino utiliza a forma orgânica de produção, em larga extensão, numa propriedade de 30 ha; a terceira tem uma produção orgânica numa área de 6 ha; a quarta trabalha com um processo produtivo orgânico intensivo, realizado em apenas 2 ha. Vários índices em emergia foram utilizados: Indicador de Rendimento em Emergia (*Emergy Yield Ratio – EYR*), Indicador de Carga Ambiental (*Environmental Loading Ratio – ELR*) e Índice de Sustentabilidade (*Environmental Sustainability Index – ESI*). O *ESI* encontrado para a pequena propriedade que produz de forma orgânica foi 3,1, enquanto para a grande propriedade, que utiliza a forma convencional, foi de 0,03. O *ELR* e o *EYR* foram, respectivamente, 3,8 e 11,7 para a Fazenda Santino que produz de forma orgânica, e 43 e 1,5 para a Fazenda La Mariorosa, cujo processo de produção é convencional. Com a análise dos índices foi possível mostrar que, nos quatro tipos de propriedades avaliadas, os melhores resultados são obtidos pelos pequenos produtores orgânicos, pois estes utilizam uma maior parcela de recursos renováveis.

Bonilla *et al.* (2010) relatam que o aumento das áreas desmatadas e as pressões sobre as florestas tropicais, bem como contra as áreas de reflorestamento, fazem com que seja mais necessária a busca por materiais renováveis e por processos mais sustentáveis. Desta forma, estudaram a plantação do bambu gigante no Brasil, que tem como propriedades a rápida absorção de carbono da atmosfera, excelentes características físicas e mecânicas, o que o torna um promissor material no desenvolvimento de diversos produtos. Para comparação da sustentabilidade na produção do bambu realizaram a contabilidade de áreas de cultivo em três diferentes países, Brasil, Austrália e China. Para isso, determinaram os seguintes indicadores de energia: Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Index - ESI*), Índice de Carga Ambiental (*Environmental Load Ratio - ELR*), Índice de Rendimento em Energia (*Emergy Yield Ratio - EYR*) e Índice de Investimento em Energia (*Emergy Investment Ratio - EIR*). Os indicadores foram determinados de duas maneiras: uma levando em consideração o percentual indireto de recursos renováveis na mão de obra e outra sem isso ser considerado. Ao se levar em conta os valores calculados com o uso do percentual indireto de recursos renováveis na mão de obra, o Brasil apresentou leve vantagem no *EYR*, 1,99 contra 1,96 da Austrália e 1,83 da China. A carga ambiental encontrada foi praticamente a mesma para os três países, sendo respectivamente para Brasil, Austrália e China, 1,01, 1,04 e 1,02. O índice de sustentabilidade brasileiro foi um pouco maior do que o dos outros dois países. Os valores obtidos para estes indicadores foram utilizados para a determinação do diagrama ternário de energia, que indica que os três países têm sustentabilidade ambiental no curto prazo. Além disso, os autores analisaram o gráfico da Produtividade Global (*Global Productivity - GP*) versus Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Index - ESI*), permitindo avaliar, preliminarmente, qual seria o melhor dos três sistemas, do ponto de vista da sustentabilidade.

O estudo de Lu *et al.* (2010) analisa a produção de arroz na China e a sua substituição em algumas áreas por plantações de vegetais. O governo chinês vem tentando frear o abandono do plantio de arroz em benefício do plantio de vegetais e incentivando o aumento do sistema de rotação entre arroz e vegetais. O artigo propõe algumas perguntas fundamentais para a definição da melhor estratégia: “Qual a razão por trás desta conversão?”; “Qual sistema é mais produtivo e qual é mais sustentável?”; e “Como a política econômica pode ser usada para ajustar o uso das terras em busca do desenvolvimento sustentável?”. Para responder estas questões, os autores realizaram uma avaliação combinada destes sistemas usando indicadores de energia, emergia e econômicos. A análise econômica mostrou que a conversão

de áreas de plantio de arroz em áreas produtoras de vegetais se deve ao maior retorno financeiro obtido pelos produtores. Entretanto, as análises em emergia e energia demonstraram que o cultivo de arroz é mais favorável ao desenvolvimento sustentável. A análise do cenário indica que se o governo chinês melhorasse, como forma de incentivo, o preço do arroz em US\$ 0,4/kg e, além disso, levasse em consideração o valor das perdas orgânicas do solo, o cultivo do arroz e a rotação de culturas (arroz e vegetais) passariam a ser mais atrativos aos produtores do que a produção de vegetais. Os autores afirmam que os três métodos, emergia, energia e econômico são diferentes, mas complementares, cada um revela um aspecto diferente do mesmo sistema. O uso combinado dos métodos permite uma análise da condição atual do sistema e, mais do que isso, a percepção de quais fatores podem ser ajustados nos sistemas para que estes alcancem estados de maior sustentabilidade.

O trabalho de Giannetti *et al.* (2011) aplica a síntese em emergia para a avaliação do desempenho ambiental de uma fazenda produtora de café em uma região de Cerrado brasileiro. Com o objetivo de analisar os fluxos de energia do processo produtivo e, com isso, determinar o melhor modelo de produção combinando produtividade e sustentabilidade ambiental, foram avaliados os efeitos do uso da terra sobre a sustentabilidade, por meio da comparação dos indicadores em emergia ao longo de dez anos de produção. A avaliação dos índices em emergia, em função da produtividade da fazenda, indicou que quanto maior é o uso de fertilizantes, maior é a produtividade, porém, maiores são os danos ambientais. Quando a produção é maior do que 25 sacas por hectare a troca não é favorável ao meio ambiente e o Índice de Sustentabilidade em Emergia (*Environmental Sustainability Index – ESI*) é baixo. Em contraste, quando a produção é menor do que 10 sacas por hectare, a troca não é favorável ao produtor, o *ESI* é alto, mas a eficiência na produtividade é baixa. Sendo assim, o estudo sugere que para a obtenção de uma relação maximizada entre produtividade e sustentabilidade ambiental a produção da Fazenda Santo Inácio deve estar entre 10 e 25 sacas de café por hectare. Esta opção implica na diminuição no uso de fertilizantes no processo produtivo, principal entrada no fluxo de emergia, de maneira que seja utilizado um modelo de produção similar ao dos cafés orgânicos de alta qualidade. Este tipo de processo utiliza menos fertilizantes e mais mão de obra, o que significa mais empregos e menos danos ao meio ambiente. Os autores concluem também que o estudo entre o desempenho ambiental e a produtividade realizado neste trabalho pode ser utilizado para qualquer sistema de produção.

Cerutti *et al.* (2011) realizaram um estudo de revisão baseado na comparação de trabalhos que aplicam métodos de avaliação de impacto ambiental (indicadores) em sistemas

de produção de frutas. Os autores utilizaram 24 artigos para avaliar quatro métodos de avaliação ambiental (indicadores) que podem ser aplicados em sistemas de produção de frutas: Avaliação de Ciclo de Vida (*LCA*), Análise da Pegada Ecológica (*EFA*), Análise em Emergia (*EM*) e Balanço de Emergia (*EB*) e afirmaram que nenhum dos métodos é melhor que os outros. Os artigos estudados trabalham com estudos de caso. Dos 24 artigos estudados, dois deles aplicam dois métodos de avaliação de impacto ambiental (indicadores), sendo que nove aplicam Avaliação de Ciclo de Vida (*LCAs*), nove utilizam Balanço de Emergia (*EBs*), cinco aplicam a análise em emergia (*EMs*) e três utilizam a Análise da Pegada Ecológica (*EFAs*). Segundo os autores, existem muitos estudos de produção de alimentos que utilizam a contabilidade ambiental, porém, a aplicação de indicadores ambientais no setor de frutas ainda é rara e não há consenso do melhor indicador a usar. Os autores dividem o estudo em quatro categorias: desenvolvimento da metodologia, perfil profissional que inclui o número de pomares representativos na região, comparação de técnicas agrônomas que comparam a produção de frutas por processos convencionais, integrados e orgânicos e a quarta categoria compara frutas produzidas localmente com frutas de outros locais e transportadas para o local de consumo (frutas nacionais *versus* frutas importadas). Os artigos estudados descrevem o sistema, porém, apenas alguns tentam abordar o ciclo de vida completo de produção de frutas. O estudo diz que a análise em emergia é o método mais adequado para analisar sistemas que são uma interface entre sistemas humanos e naturais. Os autores concluíram que é importante comparar os resultados de diferentes estudos para a sustentabilidade e recomendaram que os métodos de avaliação ambiental (indicadores) devem ser utilizados com cautela, e sempre considerar o que seja mais apropriado para o estudo de caso específico.

Zhang *et al.* (2012) realizaram um estudo baseado na análise em emergia de quatro sistemas agrícolas na província chinesa de Shandong com a proposta de verificar se a diversificação de produções torna a região mais sustentável. O governo chinês tem aumentado a importância das políticas agrárias com o intuito de promover o desenvolvimento rural, o que não necessariamente significa aumentar as receitas com esse tipo de negócio, pois entre os objetivos estão os aspectos sociais e ambientais da região. Os sistemas avaliados foram: uma produção tradicional de milho, uma criação de peixes em cativeiro, um sistema de produção em escala de patos e um novo método de cultivo de cogumelos. Foram determinados os indicadores em emergia *EYR*, *ELR* e *ESI*, e estes foram comparados com os indicadores econômicos tradicionais. O objetivo da comparação foi a mensuração dos efeitos ambientais e econômicos na diversificação das produções. Os indicadores permitiram a conclusão de que as

produções de pato e cogumelos não estão num padrão de sustentabilidade desejável, mas possuem um resultado econômico mais favorável do que as produções de milho e peixes. Dessa forma, se observou que alcançar uma rentabilidade desejável e compatibilizá-la com sustentabilidade ambiental, inserindo-se novas culturas na região, não é uma tarefa fácil. Há influência de muitos fatores como o acesso da população à propriedade de terras, capacidade de investimento e disponibilidade de mão de obra. Os autores concluíram que é perigoso encorajar a diversificação de culturas com as práticas produtivas usadas atualmente, pois estas não levam muito em consideração a degradação do meio ambiente.

No estudo de Hu *et al.* (2012) foi realizada a análise em emergia em dois sistemas agrícolas de produção de frangos na China. Um dos sistemas tem características familiares e manejo orgânico e o outro é um sistema caracterizado pelo fato das aves ficarem “soltas” em um pomar. A análise em emergia foi utilizada com o intuito de avaliar e comparar a eficiência de produção dos dois sistemas, os impactos provocados ao meio ambiente e a sustentabilidade global dos processos. Além destes dois sistemas, os autores utilizaram como referência informações e resultados de um estudo similar realizado na Itália por Castellini *et al.* (2006). Um dos indicadores em emergia utilizados pelos autores foi o *EYR*, que calculado para os dois sistemas chineses analisados neste artigo, resultou em 1,10 e 1,11, respectivamente, para o sistema orgânico familiar e para o tradicional. Em ambos os casos o resultado é próximo de 1,0, o que significa que os dois sistemas são muito parecidos neste aspecto, simplesmente convertendo recursos de entrada em produtos, sem a contribuição de recursos locais. Adicionalmente, é possível verificar que estes valores de *EYR* são consideravelmente menores do que os relatados por Castellini *et al.* para os sistemas italianos, demonstrando que os dois sistemas chineses dependem mais de recursos comprados da economia e têm um maior custo econômico, conseqüentemente, tornando-os menos competitivos no mercado mundial. O indicador *ELR* obtido para a produção orgânica chinesa foi 3,10, enquanto para a produção tradicional foi de 3,44, o que representa uma menor carga ambiental provocada pelo processo orgânico. Na comparação com os valores de *ELR* das produções italianas (2,04 para a produção na pradaria e 5,21 para o sistema confinado de grande escala), observou-se que os valores obtidos nas fazendas chinesas estão localizados de forma intermediária, o que sugere uma movimentação dos processos chineses em direção à obtenção da maior sustentabilidade, aproximando-se assim de um processo realmente orgânico, mas necessitam de melhorias para atingirem o nível de impacto das produções de pradaria italianas. Os indicadores *ESI* dos quatro sistemas mostraram que o sistema orgânico familiar chinês é mais sustentável do que o

sistema convencional, porém, ambos têm um *ESI* muito menor do que o encontrado para o sistema de produção em pradarias na Itália. Finalmente, os autores concluíram, fundamentados na análise dos diversos indicadores, que as grandes diferenças entre os chamados sistemas orgânicos de produção de frangos na China e os sistemas de escala tradicionais, são as alterações no manejo da alimentação, construção de instalações e espaço para exercício das aves, mas ambos continuam extremamente dependentes de recursos não renováveis e exploram pouquíssimo os recursos locais, o que os deixa distantes dos reais objetivos da produção orgânica. Além disso, sugerem os autores, a implantação de uma “estratégia verde” para certificação dos produtos orgânicos, de maneira que isso agregue valor aos produtos e compense os investimentos necessários para a melhoria da sustentabilidade.

As análises de decomposição são conhecidas na literatura e têm sido utilizadas para avaliar o desempenho ambiental de sistemas. Ehrlich e Holdren (1971) desenvolveram um método para estimar o impacto ambiental do consumo das populações no meio ambiente. A Identidade de Ehrlich (Equação 1) leva em conta o aumento populacional e o seu ritmo e padrão de crescimento, e é descrita pelo produto de três fatores: população (P), afluência (A) e tecnologia (T), de forma que o impacto ambiental (I) pode ser expresso pela fórmula $I = P \times A \times T$.

$$\frac{\text{Poluição}}{\text{Área}} = \frac{\text{Habitantes}}{\text{Área}} \times \frac{\text{Produção Econômica}}{\text{Habitantes}} \times \frac{\text{Poluição}}{\text{Produção Econômica}} \quad (1)$$

Mais recentemente, a análise de decomposição tem sido amplamente utilizada para investigar os impactos das políticas que regulam o uso de energia (ANG e ZHANG, 2000; EUROPEAN COMMISSION, 2003; ANG, 2004; JUNGNITZ, 2008; REDDY e RAY, 2010; SHEINBAUM-PARDO *et al.*, 2012), o consumo de materiais (HOFFRÉN *et al.*, 2000; HOFFRÉN e LUUKKANEN, 2001; JUNGNITZ, 2008), as emissões de CO₂ (CIALANI, 2007; JUNGNITZ, 2008; REDDY e RAY, 2010; SHEINBAUM-PARDO *et al.*, 2012), bem como as consequências de fenômenos sociais como o aumento e envelhecimento da população e o uso da terra.

Entre as análises de decomposição encontradas na literatura, a Análise Avançada de Sustentabilidade (*Advanced Sustainability Analysis – ASA*) é um sistema de informação matemática desenvolvido pelo *Finland Futures Research Centre* que permite analisar o desenvolvimento a partir de diferentes pontos de vista. A abordagem do método ASA pode ser utilizada para focalizar os relacionamentos entre mudanças nas variáveis ambientais, econômicas e sociais. A ASA aplica a análise de decomposição com o objetivo de dividir as

mudanças observadas nos três aspectos e avaliar quais os parâmetros mais significativos nas alterações observadas no sistema, esses parâmetros podem ser chamados de fatores de contribuição. A combinação de todos os fatores de contribuição identificados e decompostos é igual à mudança total do indicador estudado. Diferentes técnicas de decomposição têm sido estudadas, principalmente no campo dos estudos de energia para modelar as alterações no uso e na intensidade de energia (ROSE E CASLER, 1996; CASLER e ROSE, 1998; VEHMAS, 2009; ANG e ZHANG, 2000; ANG, 2004).

Ghisellini *et al.* (2013) fazem um estudo que monitora e avalia a sustentabilidade do sistema agrícola italiano combinando, pela primeira vez, contabilidade ambiental em emergia com a análise de decomposição. Os autores afirmam que o setor da agricultura é crítico para a obtenção do desenvolvimento sustentável mundial, pois o balanceamento entre a produção de alimentos e os respectivos impactos provocados é de difícil equacionamento. O desempenho da agricultura italiana é monitorado e avaliado neste trabalho por meio da análise em emergia aliada a técnicas de decomposição, numa série de tempo de 25 anos. O objetivo do estudo é avaliar a sustentabilidade destes sistemas e identificar os parâmetros principais que provocam mudanças no desempenho, para desta forma nortear futuros cenários políticos. As regiões de Emilia Romagna, no Norte da Itália, e Campania, no Sul, foram escolhidas para representar o comportamento da agricultura italiana. Os resultados mostram uma estável diminuição nas áreas de cultivo, um aumento da fração de utilização de recursos renováveis e um aumento da sustentabilidade nas duas regiões. O aumento do *ESI* na região da Emilia Romagna foi de 2 por cento, passando de 14 para 16 por cento. Na região da Campania, o *ESI* mudou de 15 para 19 por cento. Na análise de decomposição, os resultados indicaram que os parâmetros mais importantes e significativos nas mudanças de desempenho do sistema foram o uso da terra e a produtividade da mão de obra.

4. METODOLOGIA

Com a aplicação da metodologia da síntese em emergia é avaliada a eficiência ambiental do processo produtivo original e são simuladas situações com o intuito de permitir a comparação entre essa eficiência (no sistema integrado atual) e a encontrada pela decomposição simulada do sistema. Isso é possível com a determinação e análise de indicadores ambientais.

Também são avaliados cenários com o objetivo de alcançar a condição que produza o melhor desempenho ambiental, sem que haja diminuição de faturamento do agronegócio ou implique em queda da qualidade de vida da sociedade local.

Nas análises do sistema integrado e das simulações é utilizada 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 a implantação e a operação do agronegócio. Com a distribuição de R, N e F obtida na contabilidade de emergia do processo são feitos os cálculos dos indicadores ambientais.

4.1 Contabilidade ambiental em emergia

Este estudo aplica a contabilidade ambiental em emergia como ferramenta para avaliar um agronegócio. 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 o joule de energia solar (seJ). Foram considerados na análise recursos naturais renováveis e não renováveis, bem como os recursos advindos da economia. Os recursos naturais são considerados renováveis 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. Todas estas fontes foram tratadas de forma quantitativa e em uma base comum, a emergia, contabilizando, dessa forma, os recursos necessários para as produções de ovos, de carne, de leite e de milho.

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. A contabilidade em emergia quantifica as relações entre os seres humanos e a biosfera.

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

A energia 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.

Esse método usa a transformidade solar (energia por unidade) como um indicador de qualidade e eficiência. A transformidade solar é um fator de conversão de energia em energia. A energia por unidade de tempo é calculada multiplicando-se o fluxo energético (J/ano) pela transformidade (seJ/J).

$$\text{Energia (seJ/ano)} = \text{Energia (J/ano)} \times \text{Transformidade (seJ/J)}$$

Para diferentes processos, altas transformidades indicam sistemas mais complexos e produtos de melhor qualidade do ponto de vista ambiental. Processos com menor transformidade tendem a ser mais simples e, portanto, mais eficientes. Quanto mais transformações contribuem para a formação de um produto ou serviço, maior será a sua transformidade. A transformidade solar foi definida por Odum (1996) como a energia de um produto por unidade de energia disponível. A transformidade solar é a energia solar necessária para se obter um joule de um produto ou serviço e sua unidade é o joule de energia solar por joule (seJ/J).

Quando os dados estão em unidades de massa, volume ou dinheiro usa-se o termo energia por unidade (UEV). 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:

1ª etapa: construção de um diagrama definindo-se a fronteira do sistema, todas as fontes de energia e materiais que alimentam o sistema, as interações do processo e suas saídas. A metodologia utiliza símbolos próprios para a representação dos diversos

componentes do sistema em estudo (ODUM, 1996). Neste trabalho são utilizados os símbolos descritos na Figura 3.

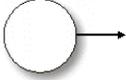
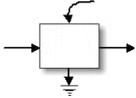
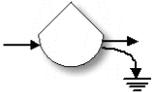
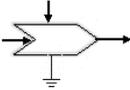
 <p>Fonte de recurso externo de energia que fornece energia aos processos internos do sistema.</p>	 <p>Fluxo de energia que pode ser proporcional à intensidade da fonte que o produz ou aos requisitos do processo que o recebe.</p>	 <p>Produtor que representa uma unidade de produção de biomassa.</p>
 <p>Caixa que representa uma unidade produção.</p>	 <p>Estoque ou reserva de energia localizada dentro dos limites do sistema.</p>	 <p>Interação entre no mínimo dois fluxos de energia que representa a ação de fluxos de maior qualidade sobre outros de menor qualidade.</p>

Figura 3. Símbolos para construção do diagrama de energia (ODUM, 1996)

A janela de tempo avaliada é de um ano e são contabilizadas todas as entradas necessárias para os processos de produção envolvidos.

O sistema é constituído por fluxos de recursos naturais renováveis, como a radiação solar, a chuva, o vento e a água de açude; por fluxos de recursos naturais não renováveis como a perda de solo da plantação e das pastagens. Também são contabilizados os fluxos de energia provenientes da economia que estão associados a todos os materiais necessários para a implantação das casas, dos galpões e dos equipamentos, e a todos os recursos utilizados na operação do sistema como fertilizantes, combustíveis, eletricidade, sementes, ração e trabalho humano (funcionários).

2ª etapa: a partir do diagrama, efetua-se a construção de uma tabela com todas as entradas de energia e materiais do sistema, identificados como R, N ou F. Nesta etapa selecionam-se as emergias por unidade e/ou as transformidades para o cálculo da emergia. Os dados de quantidades (energia, massa, volume) foram obtidos em campo (Apêndice A) e os dados de emergia por unidade/transformidade foram obtidos na literatura disponível e possuem suas respectivas referências. As *UEVs* foram multiplicadas por 1,68, após revisão dos valores encontrados na literatura. Esse número é a relação entre $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano (contribuição total da emergia para a geobiosfera baseada no novo cálculo das contribuições de energia

realizado no ano 2000) e $9,44 \times 10^{24}$ seJ/ano (contribuição de energia para a geobiosfera empregada por Odum (1996)). A energia foi calculada multiplicando-se as quantidades (energia, massa, volume) pelo valor da respectiva UEV.

As tabelas deste estudo são compostas por nove colunas: (1) item; (2) descrição; (3) classificação dos recursos em R, N ou F; (4) unidade dos dados; (5) quantidade em energia (J), massa (g) ou volume (m^3); (6) valores de energia por unidade; (7) energia (seJ); (8) porcentagem do total de energia e (9) referências para a coluna 6 de energia por unidade.

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

Nesta etapa, os fluxos que compõem os sistemas, a energia total dos sistemas e as transformidades, permitem avaliar a qualidade, a eficiência e a carga ambiental. Compreender os relacionamentos entre a energia, os ciclos de materiais e a sustentabilidade pode facilitar o entendimento do complexo relacionamento entre a biosfera e a sociedade (ODUM, 1996).

A contabilidade ambiental em energia (ODUM, 1996) é uma metodologia que permite contabilizar os recursos naturais e econômicos que entram em um sistema utilizando uma unidade comum, o joule de energia solar (seJ). Esta metodologia permite a utilização de vários indicadores de sustentabilidade a partir dos quais se pode avaliar a eficiência no uso dos recursos, a produtividade, a carga ambiental e a sustentabilidade global. Dentre os indicadores de energia desenvolvidos pelo autor são utilizados neste estudo três deles: Índice de Rendimento em Energia (*EYR*), Índice de Carga Ambiental (*ELR*) e Índice de Sustentabilidade (*ESI*) (ODUM, 1996).

Para o cálculo dos indicadores de energia foram realizadas visitas à Fazenda Braghini para o levantamento dos dados de todos os fluxos de recursos do sistema. Os fluxos são divididos em energia dos recursos naturais renováveis, energia dos recursos naturais não renováveis e energia dos recursos provenientes da economia.

4.1.1 Indicadores em energia

Os indicadores em energia desenvolvidos por Odum (1996), para a avaliação de sustentabilidade em relação à quantidade de recursos, foram definidos de acordo com os princípios de sustentabilidade introduzidos por Daly (1990).

- 1º princípio: os recursos naturais não devem ser consumidos a uma velocidade que impeça sua recuperação.
- 2º princípio: a produção de bens não deve gerar resíduos que não possam ser absorvidos pelo ambiente de forma rápida e eficaz.

Os indicadores em energia permitem um estudo envolvendo a economia e o ambiente, relacionando os recursos naturais renováveis e não renováveis e os investimentos econômicos. Os fluxos de recursos identificados na contabilidade em energia permitem calcular os indicadores ambientais em energia.

- Índice de Rendimento em Energia (*Emergy Yield Ratio, EYR*): calculado pela relação entre a energia total (R + N + F) e a energia proveniente da economia (F) (Equação 2). Esse indicador é utilizado para avaliar a capacidade do sistema em explorar os recursos naturais locais (renováveis e não renováveis), sem diferenciá-los (ODUM, 1996).

$$EYR = (R + N + F) / F \quad (2)$$

- Índice de Investimento em Energia (*Emergy Investment Ratio, EIR*): calculado pela relação entre a energia dos recursos provenientes da economia (F) e a energia dos recursos do ambiente (R + N) (Equação 3). Esse indicador é utilizado para avaliar as alternativas mais economicamente competitivas, confrontando os recursos da economia e os da biosfera (ODUM, 1996).

$$EIR = F / (N + R) \quad (3)$$

- Índice de Carga Ambiental (*Environmental Load Ratio, ELR*): calculado pela relação entre a soma da energia dos recursos não renováveis e a energia dos recursos provenientes do sistema econômico (N + F) e a energia dos recursos renováveis (R) (Equação 4). Mostra a carga que os fluxos necessários para a implantação e operação da fazenda impõem ao meio ambiente, considerando a utilização dos recursos naturais como fator principal em relação ao

investimento econômico. Um *ELR* alto significa um alto estresse na utilização dos recursos naturais renováveis locais (R), indicando a tensão que o sistema estudado gera no ecossistema (ODUM, 1996).

$$ELR = (N + F) / R \quad (4)$$

- Índice de Sustentabilidade Ambiental (*Environmental Sustainability Index, ESI*): segundo Brown e Ulgiati (2002), o índice é calculado pela relação entre o Índice de Rendimento em Energia e o Índice de Carga Ambiental (Equação 5). O conceito de sustentabilidade está vinculado à maximização do rendimento (*EYR*) e à minimização do consumo dos recursos ambientais (*ELR*). Quanto maior o aproveitamento dos recursos e menor o estresse ambiental, maior será a sustentabilidade do país. Valores mais altos indicam sustentabilidade por períodos de tempo maiores, e valores de *ESI* menores que 1 indicam processos não sustentáveis em longo prazo, já os valores de *ESI* entre 1 e 5 indicam processos sustentáveis a médio prazo e sistemas com *ESI* maiores que 5 indicam processos sustentáveis em longo prazo.

$$ESI = EYR / ELR \quad (5)$$

4.2 Produtividade global

Este trabalho calcula a produtividade global (*Global Productivity- GP*) de acordo com Bonilla *et al.* (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 e os recursos não renováveis. Sendo assim a *GP* é mais abrangente que a produtividade normalmente calculada. A produtividade global é obtida pela relação entre a energia e a emergência, ou seja, o inverso da transformidade. Com o objetivo de se efetuar uma análise mais útil no que se refere à sustentabilidade a produtividade global foi calculada em gramas de proteínas/seJ.

4.3 Diagrama ternário de energia

O diagrama ternário de energia é uma ferramenta gráfica representada por um diagrama triangular equilátero com três variáveis associadas a porcentagens, sendo que a soma dos três recursos será sempre 100% (BARRELLA *et al.*, 2005; GIANNETTI *et al.*, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2007). Cada vértice do triângulo representa uma categoria de recursos: renováveis, não renováveis e provenientes da economia. Os lados do triângulo representam

combinações binárias. Os fluxos R e N são fornecidos pela natureza e não possuem valor econômico e os recursos F são provenientes do sistema econômico e possuem valor em moeda. Todos os fluxos são utilizados na mesma unidade (seJ), o que permite a representação gráfica dos resultados.

As combinações dos três fluxos (R, N e F) são representadas por um ponto no interior do triângulo (Figura 4) e o valor percentual de cada fluxo é dado pela perpendicular que une o ponto e a lateral oposta ao vértice de interesse, onde é possível representar três variáveis em duas dimensões. A proporção de cada fluxo é dada pela perpendicular entre o ponto e o lado do triângulo oposto ao vértice que representa 100% de cada fluxo. As linhas de recursos, paralelas aos lados do triângulo, são úteis para comparar a utilização de cada fluxo por produtos ou processos (GIANNETTI *et al.*, 2007).

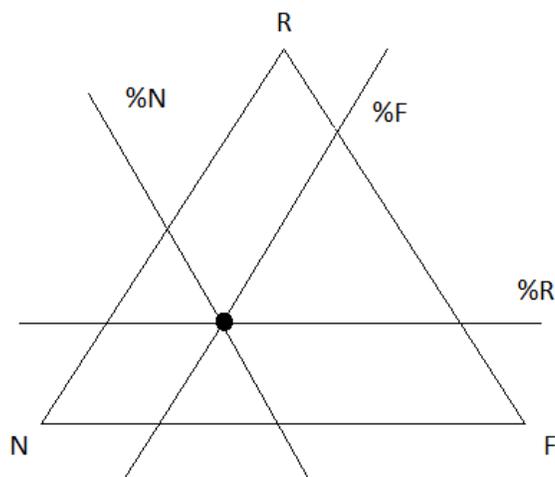


Figura 4. Linhas de recurso: ponto no interior no diagrama ternário

A ferramenta permite a melhor visualização dos dados e a comparação de sistemas, produtos e processos. A ferramenta gráfica também avalia melhorias e acompanha o desempenho de um sistema ao longo do tempo.

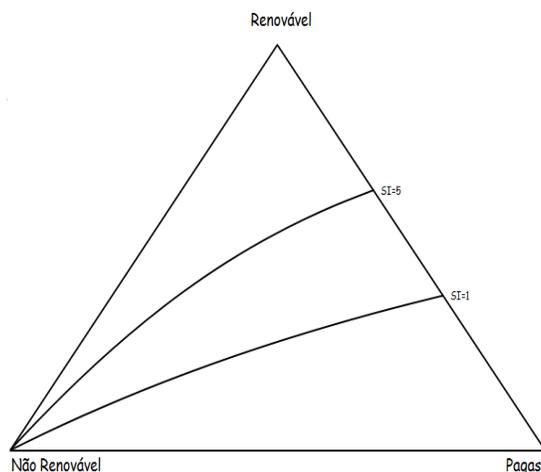


Figura 5. Diagrama ternário e as linhas de sustentabilidade

Com a ferramenta é possível traçar linhas que partem do vértice N (não renovável), permitem dividir o diagrama em “áreas de sustentabilidade” e facilitam a comparação entre a sustentabilidade de sistemas, produtos e processos (GIANNETTI *et al.*,2007). As linhas de sustentabilidade estão representadas no diagrama da Figura 5. Sistemas com valores de *ESI* menores que 1 representam processos que não são sustentáveis em longo prazo, os valores de *ESI* entre 1 e 5 representam sistemas sustentáveis em médio prazo e os valores de *ESI* maiores que 5 representam sistemas sustentáveis em longo prazo (BROWN e ULGIATI, 2002).

O diagrama ternário foi utilizado neste trabalho para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos na contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini. Além disso, a ferramenta facilita a visualização das respostas do sistema a algumas simulações propostas, como por exemplo, a alteração ou a supressão de processos produtivos e as modificações nas quantidades usadas de fertilizantes, fazem com que o ponto mude de posição e indique se estão levando o sistema a uma melhor condição de sustentabilidade.

4.4 Análise de decomposição

Neste trabalho é utilizada a análise de decomposição denominada Análise Avançada de Sustentabilidade (*Advanced Sustainability Analysis – ASA*). Os recursos principais da ASA incluem aplicar a técnica de decomposição em indicadores de estresse ambiental ou bem-estar social e interpretar os fatores decompostos de maneira que estes indiquem uma melhoria ou uma ameaça aos aspectos ambientais.

A ASA também pode ser aplicada para a construção de cenários e/ou definição de tendências por meio da definição de *drivers*, que podem ser livremente escolhidos entre os fatores identificados como contribuidores das mudanças observadas no sistema estudado. O conhecimento destes fatores que afetam o desempenho do processo é essencial para determinar novas políticas e avaliar as medidas implantadas para que o padrão de sustentabilidade desejado seja alcançado (JUNGNITZ, 2008).

Na abordagem da ASA há uma fase importante de definição dos fatores de contribuição. A seguir, mostra-se um exemplo geral da decomposição pelo método ASA de uma variável V. A equação 6 permite descrever o relacionamento entre os fatores (um fator intensivo V/X₁ e um fator extensivo X₁) de contribuição. A variável V pode ser expressa pela equação 6.

$$V = \frac{V}{X_1} \times X_1 \quad (6)$$

A decomposição determina o efeito/contribuição de cada fator escolhido e os respectivos efeitos integrados destes no processo todo. O método pode ser aplicado à múltiplos fatores, de maneira que a equação 6 seria acrescida de novos termos. Utiliza-se o resultado da primeira decomposição como ponto de partida para a seguinte, e, este novo resultado pode ser sucessivamente decomposto. A equação 7 mostra a contribuição das diversas variáveis selecionadas.

$$V = \frac{V}{X_1} \times \frac{X_1}{X_2} \times \frac{X_2}{X_3} \times \dots \times \frac{X_{n-1}}{X_n} \times X_n \quad (n \geq 2) \quad (7)$$

As equações definem uma série de fatores de contribuição X₁, X₂, X₃ e X₄ para uma variável V estudada (Equações 8a – 8e), e o fator λ pode ser calculado a partir de séries temporais (Equação 9). Este procedimento foi usado por Ghisellini *et al.* (2013) para decomposição da energia total de duas regiões agrícolas italianas.

$$V / X_1 = (X_{1_0} + \lambda_1 \Delta X_{1,t_0}) \times \Delta \left(\frac{V}{X_1} \right)_{t_0} \quad (8a)$$

$$X_1 / X_2 = \left(\left(\frac{V}{X_1} \right)_0 + (1 - \lambda_1) \Delta \left(\frac{V}{X_1} \right)_{t_0} \right) \times (X_{2_0} + \lambda_2 \Delta X_{2,t_0}) \times \Delta \left(\frac{X_1}{X_2} \right)_{t_0} \quad (8b)$$

$$X2/X3 = \left(\left(\frac{V}{X1} \right)_0 + (1-\lambda_1)\Delta \left(\frac{V}{X1} \right)_{t0} \right) \times \left(\left(\frac{X1}{X2} \right)_0 + (1-\lambda_2)\Delta \left(\frac{X1}{X2} \right)_{t0} \right) \times (X3_0 + \lambda_3\Delta X3_{t0}) \times \Delta \left(\frac{X2}{X3} \right)_{t0} \quad (8c)$$

$$X3/X4 = \left(\left(\frac{V}{X1} \right)_0 + (1-\lambda_1)\Delta \left(\frac{V}{X1} \right)_{t0} \right) \times \left(\left(\frac{X1}{X2} \right)_0 + (1-\lambda_2)\Delta \left(\frac{X1}{X2} \right)_{t0} \right) \times \left(\left(\frac{X2}{X3} \right)_0 + (1-\lambda_3)\Delta \left(\frac{X2}{X3} \right)_{t0} \right) \times (X4_0 + \lambda_4\Delta X4_{t0}) \times \Delta \left(\frac{X3}{X4} \right)_{t0} \quad (8d)$$

$$X4 = \left(\left(\frac{V}{X1} \right)_0 + (1-\lambda_1)\Delta \left(\frac{V}{X1} \right)_{t0} \right) \times \left(\left(\frac{X1}{X2} \right)_0 + (1-\lambda_2)\Delta \left(\frac{X1}{X2} \right)_{t0} \right) \times \left(\left(\frac{X2}{X3} \right)_0 + (1-\lambda_3)\Delta \left(\frac{X2}{X3} \right)_{t0} \right) \times \left(\left(\frac{X3}{X4} \right)_0 + (1-\lambda_4)\Delta \left(\frac{X3}{X4} \right)_{t0} \right) \times \Delta X4_{t0} \quad (8e)$$

$$\lambda_1 = \frac{\left| \frac{\Delta \left(\frac{V}{X1} \right)_{t0}}{\left(\frac{V}{X1} \right)_0} \right|}{\left| \frac{\Delta X1_{t0}}{X1_0} \right| + \left| \frac{\Delta \left(\frac{V}{X1} \right)_{t0}}{\left(\frac{V}{X1} \right)_0} \right|} \quad (9)$$

Neste estudo a análise de decomposição também foi associada e aplicada aos resultados da contabilidade em energia para avaliar as mudanças dos índices em energia em uma série temporal que utiliza como ano-base o ano de 2010 e estende a série temporal até o ano de 2050. Diferentemente dos estudos em que se empregam séries temporais existentes para o cálculo do λ , foram simuladas, ao longo de um período, alterações nos recursos naturais renováveis, em função de previsões de mudanças climáticas e a evolução da receita do agronegócio diante de estimativas governamentais de taxa de inflação, com o intuito de avaliar as possíveis alterações nas eficiências ambientais e sustentabilidades de cada sistema. Desta forma, além de se comparar os sistemas em estudo, a partir do desempenho observado nos índices e indicadores de energia, se pretende determinar quais fatores, no intervalo de tempo investigado, afetam direta e indiretamente os sistemas estudados.

Neste estudo são utilizados dois modelos de séries para a análise de decomposição:

- Série que visa avaliar as mudanças no uso total de energia (equação 10):

$$U = (U/F) \times F/(R+N) \times (R+N)/\text{área} \times \text{área}/\text{MO} \times \text{MO}/\$ \times \$ \quad (10)$$

Onde: (U/F) é a razão de rendimento em energia (EYR); F/(R+N) é a razão de investimento em energia (EIR); (R+N)/área é densidade de *empower* local (EDL) (uma medida da capacidade de carga baseada na disponibilidade local de recursos renováveis ou não, seJ/ha); área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (ha/funcionário); MO/\$ é o tempo de trabalho investido para a produção de uma unidade de produto econômico; \$ é o valor bruto da receita de produção.

- Série que avalia as alterações no produto *ESI* x *GP*, escolhida pelo fato de caracterizar amplamente a sustentabilidade de um sistema agropecuário. A explicação da equação 11, assim como a mudança de nomenclatura para *ESI** x *GP*, encontram-se no Apêndice H.

$$ESI^* \times GP = \text{MO}/F \times \text{área}/\text{MO} \times R/\text{área} \times \text{UF}/\$ \times \$/U \quad (11)$$

Onde: MO/F é a contribuição da energia da mão de obra em relação à energia importada; área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (ha/funcionário); R/área é a capacidade de carga renovável; UF é a unidade funcional em gramas de proteína; UF/\$ representa o preço unitário de cada grama de proteína; \$/U é a razão entre a receita financeira bruta e a energia total do sistema.

O intervalo de tempo aplicado neste trabalho foi estabelecido considerando as seguintes variações:

- 1) A receita teve variação positiva de 4,5% ao ano, de acordo com valor fixado pelo Conselho Monetário Nacional (CMN), Ministério da Fazenda do Brasil. Este percentual vem sendo utilizado desde o ano de 2005 e já está definido até 2015.
- 2) Redução de 1% na quantidade de chuvas anual de acordo com as previsões publicadas por pesquisadores da Embrapa para o Estado de Minas Gerais (ASSAD e PINTO, 2008; ASSAD, 2008).

- 3) Redução de 5% a cada dois anos na quantidade de milho produzida na propriedade, como consequência das mudanças climáticas previstas (ASSAD e PINTO, 2008; ASSAD, 2008).

4.5. Descrição do sistema

A Fazenda Braghini, representada na Figura 6, está localizada na cidade de São Sebastião do Paraíso (Minas Gerais), possui uma área de 101 ha, sendo 55 ha utilizados para a plantação de milho, 36 ha destinados às pastagens necessárias à criação de gado e nos outros 10 ha estão construídas as casas, os galpões etc. O agronegócio implantado nesta fazenda produz e comercializa ovos, carne suína e leite. Para a sua operação a propriedade possui uma casa-sede, seis casas para funcionários, 18 galpões e três represas de águas pluviais. A mão de obra necessária para os sistemas produtivos existentes no empreendimento é de 30 funcionários, sendo que 14 realizam atividades em mais de um processo ou realizam atividades comuns a todos os processos, 10 se dedicam exclusivamente ao processo de produção de ovos e seis são exclusivos do processo de produção de carne.



Figura 6. Vista aérea da Fazenda Braghini

O agronegócio faz plantio de milho (Figura 7, à esquerda) e tem uma produtividade média de 160 sacas de milho por hectare (ha). A produção de milho utiliza intensivamente recursos provenientes da economia como sementes, fertilizantes e combustível fóssil. Como

forma de tentar minimizar a utilização de recursos externos, a propriedade aproveita o resíduo dos porcos para fertilização do solo destinado ao plantio de milho. Este milho é integralmente utilizado na fabricação da ração consumida pelos animais da fazenda (aves, porcos e gado) numa outra tentativa de incrementar o uso de recursos locais.

No sistema de produção de ovos, a propriedade possui 40.000 aves (22.000 produzindo e 18.000 em fase de crescimento) que produzem 410.400 ovos por mês e consomem 56 toneladas de ração mensais. A energia das aves não foi considerada como uma das entradas do sistema, pois as aves procriam internamente. A Figura 7, à direita, mostra o galpão principal da produção de ovos.



Figura 7. Plantação e colheita de milho (à esquerda) e criação de aves para produção de ovos (à direita)

Para a produção de carne, a fazenda tem 3.000 porcos que consomem 120 toneladas de ração mensais. A quantidade de carne produzida mensalmente é de aproximadamente 350 carcaças. A energia dos porcos não foi contabilizada como entrada do sistema, pois os porcos se reproduzem internamente. A fazenda também possui um rebanho com 120 cabeças de gado, produzindo mensalmente 18.000 L de leite e consumindo 4 toneladas de ração por mês. A Figura 8 mostra um dos galpões utilizados na criação dos porcos, à esquerda, e o rebanho para produção de leite, à direita.



Figura 8. Criação de porcos para produção de carne (à esquerda) e criação de gado para produção de leite (à direita)

A cidade de São Sebastião do Paraíso está localizada no estado de Minas Gerais, na divisa com o Estado de São Paulo (Figura 9). A cidade possui área de 815 km², população de 64.980 habitantes (IBGE, 2010) e PIB per capita de R\$ 15.278,00 (IBGE 2010). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,812, número considerado elevado.



Figura 9. Localização da cidade São Sebastião do Paraíso

Os cenários considerados para avaliar a eficácia do sistema integrado são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos cenários considerados para avaliar a eficácia do sistema integrado

Sistema	Produtos	Critérios para decomposição	Receita	Apêndice
Integrado	Ovos, carne e leite	Sistema existente.	Atual	A
Sem a produção de carne	Ovos, leite e milho	Redução da infraestrutura, da energia elétrica, da mão de obra e da água. Não há compra de milho.	Redução de receita	B
Sem a produção de carne (com aumento de 2,13 vezes a produção de ovos)	Ovos, leite e milho	Aumento da energia elétrica, da mão de obra e da água. Não há compra de milho.	Manutenção da receita	C
Sem a produção de ovos	Carne, leite e milho	Redução da infraestrutura, da energia elétrica, da mão de obra e da água. Não há compra de milho.	Redução de receita	D
Sem a produção de ovos (com aumento de 1,89 vezes a produção de carne)	Carne e leite	Redução da energia elétrica, da mão de obra e da água.	Manutenção da receita	E
Sem a produção de milho	Ovos, carne e leite	Redução da mão de obra. Não tem perda de solo para plantação (somente pastagens). Não utiliza fertilizante.	Manutenção da receita	F
Sem o adubo orgânico	Ovos, carne e leite	Aumento do fertilizante.	Manutenção da receita	G

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O item 5.1 apresenta a contabilidade ambiental em emergia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini. O item 5.2 mostra a contabilidade ambiental em emergia do sistema da Fazenda Braghini em uma situação simulada na qual foi suprimido o processo de produção de carne e o item 5.3, além da exclusão de um dos processos (carne), simula o aumento na produção de ovos, objetivando substituir o decréscimo de receita provocado pela supressão de produção de carne, por uma receita adicional obtida na venda do produto cuja produção foi aumentada. Os itens 5.4 até 5.7 simulam as seguintes situações: 5.4, exclusão do processo de produção de ovos; 5.5, exclusão do processo produtivo de ovos com aumento na produção de carne visando manter a receita total original; 5.6, exclusão do cultivo do milho utilizado na produção de ração; 5.7, supressão da utilização do adubo orgânico (sem aproveitamento dos resíduos) na plantação de milho. Não foi contemplada em nenhuma das simulações a retirada ou a alteração da produção de leite, pois este processo requer um uso de recursos muito pequeno na sua implantação e na sua operação, além de produzir uma receita pequena em relação aos outros processos.

5.1 Contabilidade ambiental em emergia do sistema integrado da Fazenda Braghini

O diagrama mostrado na Figura 10 representa os fluxos de energia e materiais do agronegócio integrado da Fazenda Braghini. Nesse sistema é avaliado o custo ambiental de implantação e de operação do processo produtivo integrado da propriedade. O limite do sistema abrange a manutenção (operação) do sistema com janela de um ano (representado pelo retângulo maior). A implantação, o solo, a água e o pasto 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 (emergia por unidade), sendo que os fluxos de recursos naturais renováveis (sol, chuva e vento) estão à esquerda do diagrama, os recursos naturais não renováveis (solo e pasto) estão na forma de estoque e os fluxos dos recursos provenientes da economia (eletricidade, semente, equipamentos, combustíveis, farelo de soja, núcleo, milho, fertilizante e mão de obra) estão à direita do diagrama. A ração é representada como estoque para alimentação das aves, dos porcos e do gado. Da quantidade de milho utilizada na fabricação de ração, 70% são produzidos na propriedade e outros 30% provém de fonte externa (economia). O retângulo em cinza delimita a janela do sistema estudado e os produtos finais (saídas do processo) que são os coprodutos: ovos, carne e leite.

As entradas para a implantação das construções (casa-sede, casas dos funcionários e galpões operacionais) são o concreto e o aço. Para os equipamentos (máquinas agrícolas e tratores) foi contabilizado somente o aço. Estes insumos estão representados nos itens 1 e 2 da Tabela 2 (os dados coletados e calculados são mostrados no Apêndice A.1). Os fluxos referentes à operação do sistema estão representados nos itens 3 a 23 (os dados coletados e calculados são mostrados no Apêndice A.2). Entre os recursos naturais renováveis (sol, vento e chuva) apenas o de maior transformidade foi considerado no valor da emergia total (ODUM, 1996).

O levantamento dos dados foi realizado em campo e refere-se ao ano de 2010.

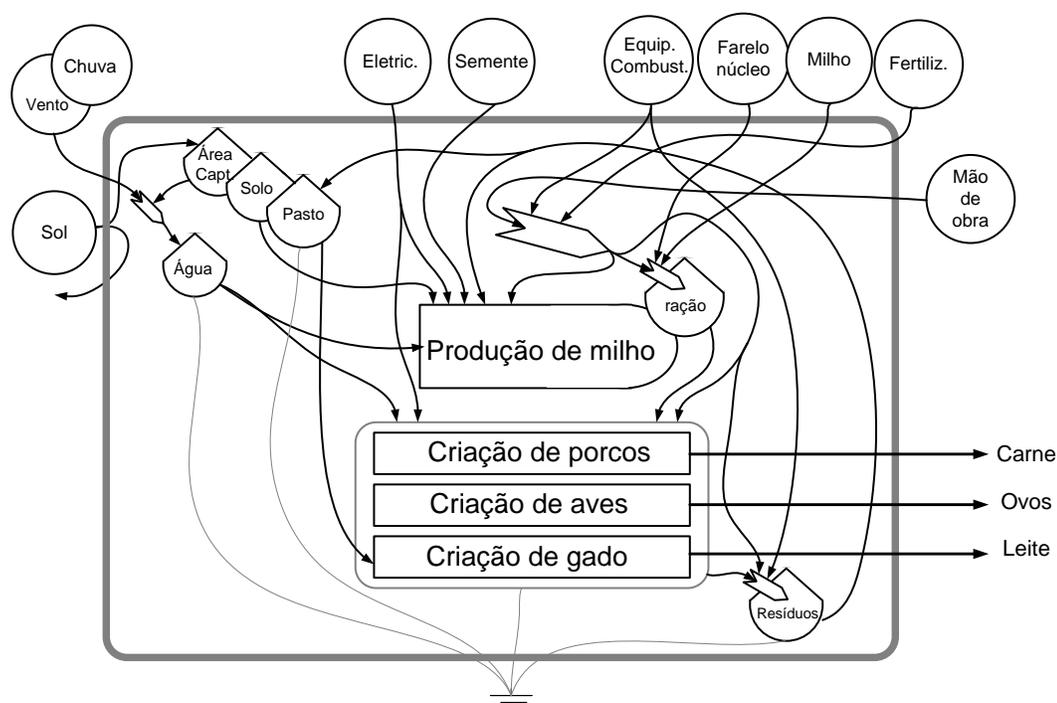


Figura 10. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini

A Tabela 2 mostra a contabilidade em emergia do sistema produtivo da Fazenda Braghini, na qual foram contabilizadas todas as entradas requeridas para a implantação e para a operação desse agronegócio. A mão de obra é o recurso mais significativo no valor da emergia total da fazenda (36%), devido ao número de funcionários distribuídos nos quatro processos de produção de alimentos existentes na fazenda (milho, ovos, carne de porco e

leite). O concreto (14,3%), a chuva (13,6%), os fertilizantes (12,5%) e a eletricidade (11,4%) também contribuem de forma significativa na energia do sistema.

Tabela 2. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini

Item	Descrição	R, N ou F	Un.***	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)*	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 6
Implantação								
1	Concreto	F	g	$3,16 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	$4,86 \times 10^{17}$	14,3%	Brown e Buranakarn, 2003
2	Aço	F	g	$1,05 \times 10^7$	$4,15 \times 10^9$	$4,35 \times 10^{16}$	1,3%	Brown e Buranakarn, 2003
Operação								
3	Irradiação solar*	R	J	$1,41 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^0$	$1,41 \times 10^{13}$		Por definição
4	Chuva tropical (química)	R	J	$9,03 \times 10^{12}$	$5,14 \times 10^4$	$4,64 \times 10^{17}$	13,6%	Odum, 1996
5	Chuva tropical geopotencial	R	J	$4,48 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^4$	$1,33 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
6	Vento*	R	J	$2,11 \times 10^{11}$	$4,12 \times 10^3$	$8,69 \times 10^{14}$		Odum, 1996
7	Fertilizantes	F	g	$4,90 \times 10^7$	$8,69 \times 10^9$	$4,26 \times 10^{17}$	12,5%	Odum, 1996
8	Perda de solo (plantação)	N	J	$3,11 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^5$	$3,86 \times 10^{16}$	1,1%	Odum, 1996
9	Perda de solo (pastagens)	N	J	$7,32 \times 10^9$	$1,24 \times 10^5$	$9,08 \times 10^{14}$	< 1%	Odum, 1996
10	Eletricidade	F	J	$6,91 \times 10^{11}$	$5,64 \times 10^5$	$3,89 \times 10^{17}$	11,4%	Odum, 1996
11	Combustíveis	F	J	$1,57 \times 10^{10}$	$1,86 \times 10^5$	$2,92 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
12	Mão de obra	F	J	$9,80 \times 10^{10}$	$1,15 \times 10^7$	$1,23 \times 10^{18}$	36%	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
13	Água	R	m ³	$2,19 \times 10^4$	$1,05 \times 10^{12}$	$2,30 \times 10^{16}$	1%	Buenfil, 2001
Produção de milho								
14	Sementes	F	g	$1,08 \times 10^6$	$6,55 \times 10^8$	$7,07 \times 10^{14}$	< 1%	Panzieri, 1995
Ração (produção de ovos)								
15	Milho**	F	g	$1,18 \times 10^7$	$2,08 \times 10^9$	$2,45 \times 10^{16}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
16	Farelo de soja	F	g	$1,12 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$3,65 \times 10^{16}$	1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
17	Núcleo	F	g	$5,60 \times 10^6$	$6,08 \times 10^9$	$3,40 \times 10^{16}$	1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de suínos)								
18	Milho**	F	g	$2,52 \times 10^7$	$2,08 \times 10^9$	$5,24 \times 10^{16}$	1,5%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
19	Farelo de soja	F	g	$2,40 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$7,82 \times 10^{16}$	2,3%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
20	Núcleo	F	g	$1,20 \times 10^7$	$6,08 \times 10^9$	$7,30 \times 10^{16}$	2,1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de leite)								
21	Milho**	F	g	$8,40 \times 10^5$	$2,08 \times 10^9$	$1,75 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
22	Farelo de soja	F	g	$8,00 \times 10^5$	$3,26 \times 10^9$	$2,61 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
23	Núcleo	F	g	$4,00 \times 10^5$	$6,08 \times 10^9$	$2,43 \times 10^{15}$	< 1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Energia total						$3,41 \times 10^{18}$	100%	
Saídas								
24	Ovos		g	$2,71 \times 10^8$	$1,26 \times 10^{10}$	$3,41 \times 10^{18}$		Calculada
25	Carne de porco (carcaça)		J	$3,09 \times 10^{12}$	$1,10 \times 10^6$	$3,41 \times 10^{18}$		Calculada
26	Leite		g	$2,23 \times 10^8$	$1,53 \times 10^{10}$	$3,41 \times 10^{18}$		Calculada

- Os valores das energias por unidade foram multiplicadas, quando necessário, por 1,68 para garantir o uso da base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano) (ODUM *et al.*, 2000).

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total, pois a irradiação solar, 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, para evitar a dupla contagem de energia.

** Da quantidade de milho utilizada na fabricação de ração 30% provém de fonte externa. Sendo assim, os valores observados na tabela só contemplam esse percentual. Os outros 70% são produzidos na propriedade e não foram contabilizados.

*** Un. = unidade.

O fluxo de energia total do sistema integrado é de $3,41 \times 10^{18}$ seJ/ano. Este valor indica o quanto de material e energia são investidos anualmente no agronegócio integrado da Fazenda Braghini, incluindo a implantação que é o conteúdo de energia do reservatório que persiste no tempo (casas, galpões e equipamentos) e a operação do sistema.

Os fluxos de saída são mostrados nos itens 24 a 26 da Tabela 2. A energia por unidade dos ovos, da carne e do leite produzidos na fazenda foram calculadas neste estudo e os cálculos são mostrados no Apêndice A.3. As outras transformidades (energia por unidade) foram retiradas da literatura conforme as referências mostradas na coluna 9 da Tabela 2.

A avaliação das UEVs do sistema integrado foi comparada com os valores encontrados na literatura para os produtos obtidos (Tabela 3). Observa-se que todos os valores são menores para todos os produtos, o que sugere que o sistema integrado estudado é eficiente, com destaque para a UEV da produção de ovos que emprega aproximadamente 10 vezes menos energia do que a empregada no sistema estudado por Brandt-Williams (2002) e 70 vezes menos energia que o sistema avaliado por Zhang *et al.* (2013) para produzir 1 g de ovos.

Tabela 3. Comparação das energias por unidade (UEVs) obtidas neste estudo com as da literatura

Sistema	Ovos (seJ/g)	Carne (seJ/J)	Leite (seJ/g)	Milho (seJ/g)
Integrado	$1,26 \times 10^{10}$	$1,10 \times 10^6$	$1,53 \times 10^{10}$	-----
Literatura*	$1,07 \times 10^{11a}$	$2,09 \times 10^6$	$3,37 \times 10^{10}$	$2,08 \times 10^9$
	$7,77 \times 10^{11b}$			

* As referências da literatura são: Brandt-Williams (2002^a) e Zhang *et al.* (2013^b) (ovos), Cavalett *et al.* (2006) (carne), Brandt-Williams (2002) (leite) e Ortega *et al.* (2002) (milho).

O resultado observado na Tabela 3 permite inferir que a alta eficiência ambiental encontrada na produção de ovos indica que é mais vantajoso para o produtor investir neste tipo de produto em detrimento dos outros.

De acordo com o Relatório Nosso Futuro Comum (CMMAD, 1988), para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado é necessário que haja harmonia entre o meio ambiente, a economia e a sociedade. Portanto, o aumento da produção de ovos na segunda simulação foi realizado de maneira que o produtor mantenha a mesma receita e a redução do número de funcionários seja a menor possível (CASTELLINI *et al.*, 2006; MARTIN *et al.*, 2006; HU *et al.*, 2012).

Procedeu-se a decomposição do sistema para determinar a configuração do sistema que maximize a produtividade, mas que mantenha ou aumente a sustentabilidade do sistema. Com este intuito, foram propostas duas configurações:

- a. a total interrupção da produção de carne e

b. a interrupção da produção de carne com aumento de 2,13 vezes na produção de ovos.

5.2 Contabilidade ambiental em energia do sistema integrado sem a produção de carne

Os fluxos de energia e materiais do sistema integrado e simulado sem a criação de porcos são mostrados no diagrama da Figura 11, em que é avaliado o custo ambiental de implantação e de operação do processo produtivo integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne.

Ao retirar do processo a criação de porcos (produção de carne), a fazenda não precisa mais de milho proveniente de fonte externa (economia), sendo a produção da fazenda plenamente suficiente e parte deste milho produzido na propriedade sobra e passa a ser uma saída do sistema. A ração produzida na fazenda é representada no diagrama como estoque para alimentação das aves e do gado. O milho produzido e que não é utilizado no sistema, os ovos e o leite são as saídas do processo (coprodutos).

Foram excluídas as entradas de materiais da implantação exclusivas da produção de carne (casas dos funcionários e galpões) e o memorial de cálculo é mostrado no Apêndice B.1. Nas entradas de operação do sistema foram considerados 24 funcionários (10 exclusivos da produção de ovos e 14 que trabalham em todos os sistemas de produção), 70% de energia elétrica (50% na produção de ovos e 20% em todos os processos) e 60% de água (40% na produção de ovos e 20% em todos os processos). Os cálculos das energias de operação deste sistema simulado são mostrados no Apêndice B.2.

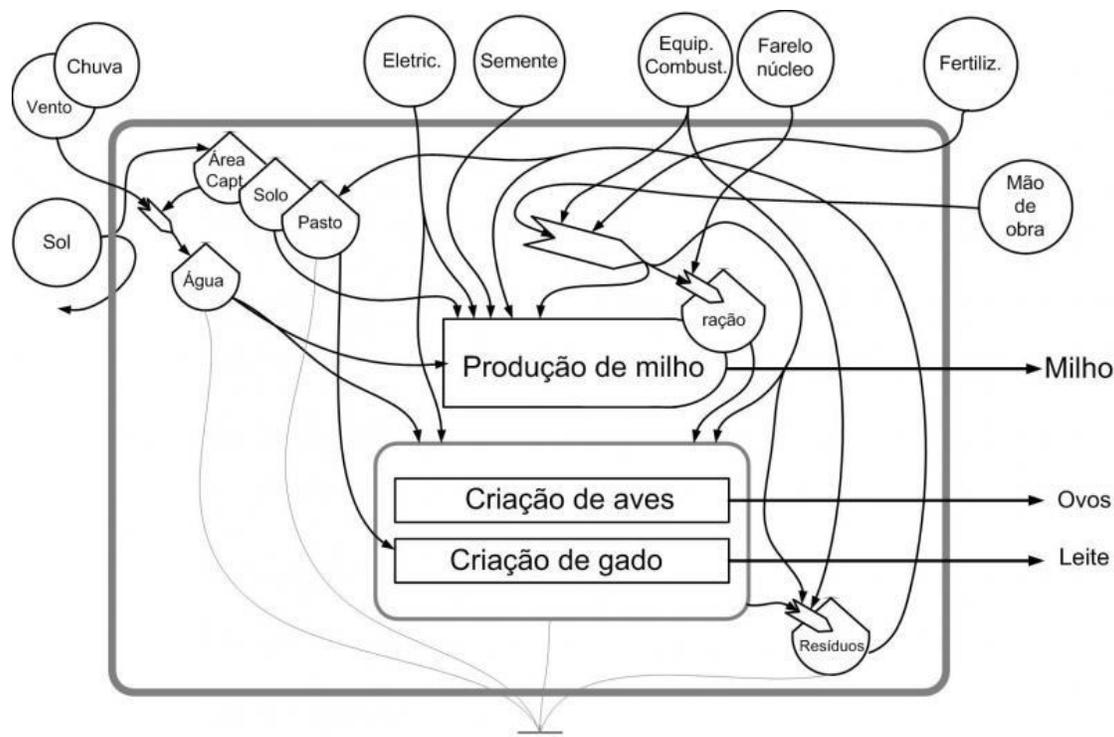


Figura 11. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne

As entradas requeridas para a avaliação em energia da simulação do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne é apresentada na Tabela 4, que mostra a mão de obra como o recurso mais significativo no valor da energia total (38,8%). As outras contribuições significativas são a chuva (18,2%), os fertilizantes (16,7%), a eletricidade (10,7%) e o concreto (9,4%).

O fluxo de energia total do sistema integrado simulado sem a criação de porcos (produção de carne) é de $2,55 \times 10^{18}$ seJ/ano. Este valor indica o quanto de material e energia são investidos anualmente na implantação e na operação do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne. Os fluxos de saída são mostrados nos itens 19 a 21 da Tabela 4 e o memorial de cálculo com as energias por unidade do milho que sobra dos ovos e do leite que foram obtidas neste estudo é apresentado no Apêndice B.3.

Tabela 4. Contabilidade em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne

Item	Descrição	R, N ou F	Un.**	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)*	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 6
Implantação								
1	Concreto	F	g	$1,55 \times 10^3$	$1,54 \times 10^9$	$2,39 \times 10^{17}$	9,4%	Brown e Buranakarn, 2003
2	Aço	F	g	$5,92 \times 10^6$	$4,15 \times 10^9$	$2,46 \times 10^{16}$	< 1%	Brown e Buranakarn, 2003
Operação								
3	Irradiação solar*	R	J	$1,41 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^0$	$1,41 \times 10^{13}$		Por definição
4	Chuva tropical (química)	R	J	$9,03 \times 10^{12}$	$5,14 \times 10^4$	$4,64 \times 10^{17}$	18,2%	Odum, 1996
5	Chuva tropical geopotencial	R	J	$4,48 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^4$	$1,33 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
6	Vento*	R	J	$2,11 \times 10^{11}$	$4,12 \times 10^3$	$8,69 \times 10^{14}$		Odum, 1996
7	Fertilizantes	F	g	$4,90 \times 10^7$	$8,69 \times 10^9$	$4,26 \times 10^{17}$	16,7%	Odum, 1996
8	Perda de solo (plantação)	N	J	$3,11 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^5$	$3,86 \times 10^{16}$	1,5%	Odum, 1996
9	Perda de solo (pastagens)	N	J	$7,32 \times 10^9$	$1,24 \times 10^5$	$9,08 \times 10^{14}$	< 1%	Odum, 1996
10	Eletricidade	F	J	$4,84 \times 10^{11}$	$5,64 \times 10^5$	$2,73 \times 10^{17}$	10,7%	Odum, 1996
11	Combustíveis	F	J	$1,57 \times 10^{10}$	$1,86 \times 10^5$	$2,92 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
12	Mão de obra	F	J	$8,59 \times 10^{10}$	$1,15 \times 10^7$	$9,88 \times 10^{17}$	38,8%	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
13	Água	R	m ³	$1,31 \times 10^4$	$1,05 \times 10^{12}$	$1,38 \times 10^{16}$	< 1%	Buenfil, 2001
Produção de milho								
14	Sementes	F	g	$1,08 \times 10^6$	$6,55 \times 10^8$	$7,07 \times 10^{14}$	< 1%	Panzieri, 1995
Ração (produção ovos)								
15	Farelo de soja	F	g	$1,12 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$3,65 \times 10^{16}$	1,4%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
16	Núcleo	F	g	$5,60 \times 10^6$	$6,08 \times 10^9$	$3,40 \times 10^{16}$	1,3%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de leite)								
17	Farelo de soja	F	g	$8,00 \times 10^5$	$3,26 \times 10^9$	$2,61 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
18	Núcleo	F	g	$4,00 \times 10^5$	$6,08 \times 10^9$	$2,43 \times 10^{15}$	< 1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Energia total						$2,55 \times 10^{18}$	100%	
Saídas								
19	Milho		g	$4,62 \times 10^7$	$5,52 \times 10^{10}$	$2,55 \times 10^{18}$		Calculada
20	Ovos		g	$2,71 \times 10^8$	$9,41 \times 10^9$	$2,55 \times 10^{18}$		Calculada
21	Leite		g	$2,23 \times 10^8$	$1,14 \times 10^{10}$	$2,55 \times 10^{18}$		Calculada

- Os valores das energias por unidade foram multiplicadas, quando necessário, por 1,68 para garantir o uso da base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano) (ODUM *et al.*, 2000).

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total, pois a irradiação solar, 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, para evitar a dupla contagem de energia.

*** Un. = unidade.

5.3 Contabilidade ambiental em energia do sistema integrado sem a produção de carne com manutenção da receita total original (2,13 vezes a produção de ovos)

A Figura 12 mostra o diagrama que representa os fluxos de energia e materiais do sistema integrado e simulado com aumento na produção de ovos para substituição da produção de carne de forma a manter a receita para o produtor. É avaliado o custo ambiental de implantação e de operação do processo produtivo integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne, porém, com produção de ovos 2,13 vezes maior, valor que mantém a receita total e é mostrado nos cálculos apresentados no Apêndice C.2.

Ao retirar do processo a produção de carne e aumentar a produção de ovos, parte do milho produzido na propriedade sobra e sai do sistema, e, neste caso a fazenda não compra milho de fonte externa (economia). As saídas do processo são: o milho produzido e que não é utilizado no sistema, a carne e o leite (coprodutos).

As entradas para a implantação (construções e equipamentos) são o concreto e o aço. Estes insumos estão representados nos itens 1 e 2 da Tabela 5 (os dados coletados e calculados são mostrados no Apêndice C.1). Os fluxos referentes à operação do sistema estão representados nos itens 3 a 18 (os dados coletados e calculados são mostrados no Apêndice C.2).

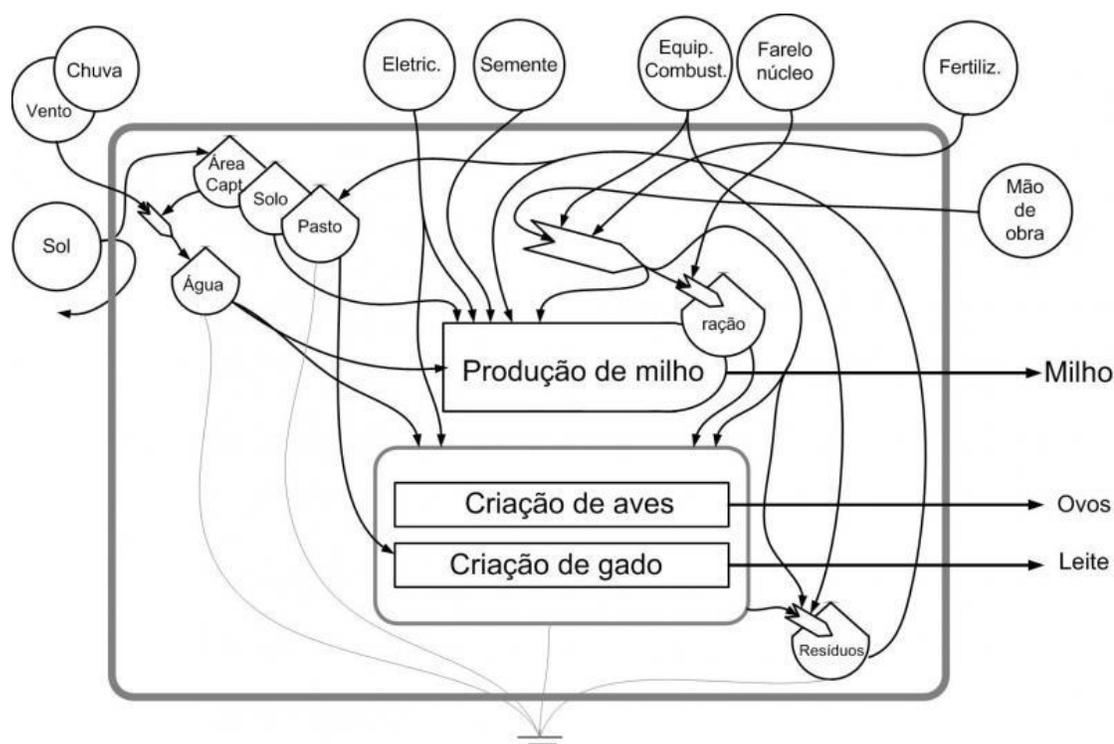


Figura 12. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne e com aumento de 2,13 vezes a produção de ovos

A Tabela 5 apresenta a contabilidade em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini simulada sem a criação de porcos (produção de carne), porém, com aumento na produção de ovos. Foram avaliados os insumos necessários para a implantação e para a operação da simulação do agronegócio integrado sem a produção de carne e com aumento na produção de ovos. A mão de obra possui a maior contribuição no valor da energia total

(37,2%). Os fertilizantes (18,4%), a eletricidade (12,8%), o concreto (12,6%) e a chuva (12%) também possuem participação significativa na energia do sistema.

O fluxo de energia total do sistema integrado simulado sem a criação de aves (produção de ovos) é de $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano. Este valor indica o quanto de material e energia são investidos anualmente no agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de carne com aumento na produção de aves e inclui a implantação e a operação do sistema.

Os fluxos de saída são mostrados nos itens 19 a 21 da Tabela 5. A energia por unidade do milho que sobra, dos ovos e do leite foram calculadas neste estudo e os resultados são mostrados no Apêndice C.3.

Tabela 5. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem a produção de carne com aumento de 2,13 vezes na produção de ovos

Item	Descrição	R, N ou F	Un.**	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)*	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 6
Implantação								
1	Concreto	F	g	$3,16 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	$4,86 \times 10^{17}$	12,6%	Brown e Buranakarn, 2003
2	Aço	F	g	$1,05 \times 10^7$	$4,15 \times 10^9$	$4,35 \times 10^{16}$	1,1%	Brown e Buranakarn, 2003
Operação								
3	Irradiação solar*	R	J	$1,41 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^0$	$1,41 \times 10^{13}$		Por definição
4	Chuva tropical (química)	R	J	$9,03 \times 10^{12}$	$5,14 \times 10^4$	$4,64 \times 10^{17}$	12%	Odum, 1996
5	Chuva tropical geopotencial	R	J	$4,48 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^4$	$1,33 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
6	Vento*	R	J	$2,11 \times 10^{11}$	$4,12 \times 10^3$	$8,69 \times 10^{14}$		Odum, 1996
7	Fertilizantes	F	g	$4,90 \times 10^7$	$8,69 \times 10^9$	$4,26 \times 10^{17}$	18,4%	Odum, 1996
8	Perda de solo (plantação)	N	J	$3,11 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^5$	$3,86 \times 10^{16}$	1%	Odum, 1996
9	Perda de solo (pastagens)	N	J	$7,32 \times 10^9$	$1,24 \times 10^5$	$9,08 \times 10^{14}$	< 1%	Odum, 1996
10	Eletricidade	F	J	$8,74 \times 10^{11}$	$5,64 \times 10^5$	$4,93 \times 10^{17}$	12,8%	Odum, 1996
11	Combustíveis	F	J	$1,57 \times 10^{10}$	$1,86 \times 10^5$	$2,92 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
12	Mão de obra	F	J	$1,29 \times 10^{11}$	$1,15 \times 10^7$	$1,44 \times 10^{18}$	37,2%	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
13	Água	R	m ³	$2,30 \times 10^4$	$1,05 \times 10^{12}$	$2,41 \times 10^{16}$	< 1%	Buenfil, 2001
Produção de milho								
14	Sementes	F	g	$1,08 \times 10^6$	$6,55 \times 10^8$	$7,07 \times 10^{14}$	< 1%	Panzieri, 1995
Ração (produção de ovos)								
15	Farelo de soja	F	g	$2,39 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$7,78 \times 10^{16}$	2%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
16	Núcleo	F	g	$1,19 \times 10^7$	$6,08 \times 10^9$	$7,25 \times 10^{16}$	1,9%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de leite)								
17	Farelo de soja	F	g	$8,00 \times 10^5$	$3,26 \times 10^9$	$2,61 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
18	Núcleo	F	g	$4,00 \times 10^5$	$6,08 \times 10^9$	$2,43 \times 10^{15}$	< 1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Energia total						$3,61 \times 10^{18}$	100%	
Saídas								
19	Milho		g	$1,90 \times 10^6$	$1,90 \times 10^{12}$	$3,61 \times 10^{18}$		Calculada
20	Ovos		g	$5,77 \times 10^8$	$6,26 \times 10^9$	$3,61 \times 10^{18}$		Calculada
21	Leite		g	$2,23 \times 10^8$	$1,62 \times 10^{10}$	$3,61 \times 10^{18}$		Calculada

- Os valores das energias por unidade foram multiplicadas, quando necessário, por 1,68 para garantir o uso da base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano (ODUM *et al.*, 2000).

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total, pois a irradiação solar, 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, para evitar a dupla contagem de energia.

** Un. = unidade.

A Tabela 6 compara as energias por unidades (*UEVs*) obtidas para os sistemas simulados em 5.2 e 5.3. Observa-se que, de fato, há um aumento de aproximadamente 20% na eficiência na produção de ovos quando se interrompe a produção de carne e que a eficiência dobraria se o produtor, mantendo seu faturamento atual, passasse a produzir apenas ovos. Evitando as entradas requeridas para a produção de carne suína com manutenção da receita, observa-se que há uma pequena redução da eficiência (6%) na produção de leite e que há um excedente de milho a ser comercializado, porém, com um custo ambiental maior que o produzido pelo sistema isolado avaliado por Ortega *et al.* (2002).

Tabela 6. Comparação das energias por unidade obtidas neste estudo com as da literatura

Sistema	Ovos (seJ/g)	Carne (seJ/J)	Leite (seJ/g)	Milho (seJ/g)
Integrado	$1,26 \times 10^{10}$	$1,10 \times 10^6$	$1,53 \times 10^{10}$	-----
Sem a produção de carne	$9,41 \times 10^9$	-----	$1,14 \times 10^{10}$	$5,52 \times 10^{10}$
Sem a produção de carne (2,13 ovos)	$6,26 \times 10^9$	-----	$1,62 \times 10^{10}$	$1,90 \times 10^{12}$
Literatura*	$1,07 \times 10^{11a}$	$2,09 \times 10^6$	$3,37 \times 10^{10}$	$2,08 \times 10^9$
	$7,77 \times 10^{11b}$			

* As referências da literatura são: Brandt-Williams (2002^a) e Zhang *et al.* (2013^b) (ovos), Cavalett *et al.* (2006) (carne), Brandt-Williams (2002) (leite) e Ortega *et al.* (2002) (milho).

Com base nestes resultados, o produtor poderia optar pela produção exclusiva de ovos e reduzir a área de plantação de milho, sem reduzir sua receita. Entretanto, o cálculo das energias por unidade (*UEVs*) fornecem informação apenas sobre a relação custo (em energia)/benefício (quantidade do produto obtido). A revisão bibliográfica efetuada mostra em vários estudos (CASTELLINI *et al.*, 2006; MARTIN *et al.*, 2006; HU *et al.*, 2012) que a melhora para o produtor, no que tange à receita ou à produtividade, pode resultar em prejuízo do desempenho ambiental do sistema, o que pode tornar o agronegócio insustentável ambientalmente.

A seguir, é realizada a decomposição do sistema de maneira a se obter as principais configurações/opções e efetuar a avaliação ambiental com o auxílio dos indicadores em energia. Para tanto, foram simuladas as seguintes situações:

- a. contabilidade ambiental em energia com a interrupção total da produção de ovos;
- b. interrupção da produção de ovos com aumento de 1.89 vezes na produção de suínos.

Para verificar se o manejo integrado, que busca reduzir a necessidade de importar fertilizantes inorgânicos (GOULDING *et al.*, 2008; MOSS, 2008), é um fator importante na busca do desenvolvimento sustentável foram estabelecidos os seguintes cenários:

- c. interrupção da produção de milho na propriedade;
- d. interrupção do uso dos resíduos da produção pecuária na produção de milho.

5.4 Contabilidade ambiental em energia do sistema integrado sem a produção de ovos

A Figura 13 mostra o diagrama que representa os fluxos de energia e materiais do sistema integrado e simulado sem a criação de aves.

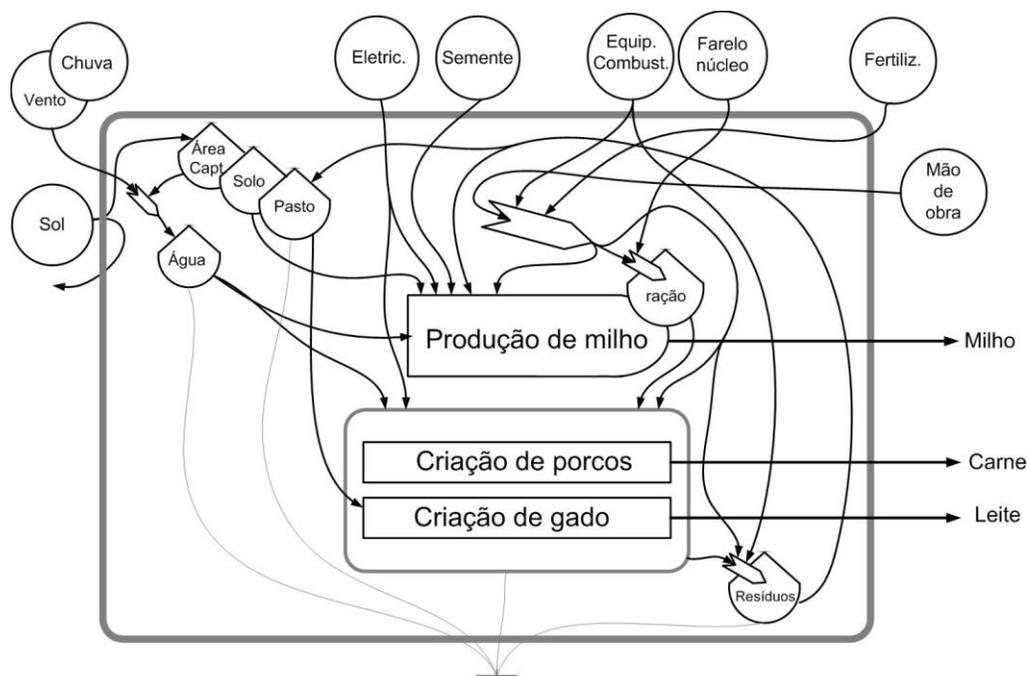


Figura 13. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos

Ao retirar do processo a criação de aves (produção de ovos), parte do milho produzido na propriedade sobra e passa a ser uma saída do sistema, e, neste caso a fazenda não compra milho de fonte externa (provenientes da economia). A ração é representada como estoque para alimentação dos porcos e do gado. As saídas do processo são: o milho produzido e que não é utilizado no sistema (sobra), a carne e o leite (coprodutos).

Nesta simulação, as entradas de materiais da implantação que são exclusivos da produção de ovos foram excluídas (casas de funcionários e galpões). Em relação à operação

do sistema, foram redistribuídos os fluxos de energia para adequar o sistema à condição simulada. Sendo assim, o número de funcionários foi reduzido para 20 (6 exclusivos da produção de carne e 14 que executam tarefas compartilhadas por todos os sistemas produtivos). Além disso, também foram readequados os percentuais referentes ao consumo de energia elétrica e de água, os novos valores são, respectivamente, 50% (30% da produção de carne e 20% de todos os processos) e 60% (40% da produção de carne e 20% de todos os processos). Os cálculos das energias de implantação e operação deste sistema simulado estão, respectivamente, nos Apêndices D.1 e D.2.

Tabela 7. Contabilidade em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos

Item	Descrição	R, N ou F	Un.**	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)*	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 6
Implantação								
1	Concreto	F	g	$1,85 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	$2,85 \times 10^{17}$	11,7%	Brown e Buranakarn, 2003
2	Aço	F	g	$6,76 \times 10^6$	$4,15 \times 10^9$	$2,81 \times 10^{16}$	1,1%	Brown e Buranakarn, 2003
Operação								
3	Irradiação solar*	R	J	$1,41 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^0$	$1,41 \times 10^{13}$		Por definição
4	Chuva tropical (química)	R	J	$9,03 \times 10^{12}$	$5,14 \times 10^4$	$4,64 \times 10^{17}$	19%	Odum, 1996
5	Chuva tropical geopotencial	R	J	$4,48 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^4$	$1,33 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
6	Vento*	R	J	$2,11 \times 10^{11}$	$4,12 \times 10^3$	$8,69 \times 10^{14}$		Odum, 1996
7	Fertilizantes	F	g	$4,90 \times 10^7$	$8,69 \times 10^9$	$4,26 \times 10^{17}$	17,5%	Odum, 1996
8	Perda de solo (plantação)	N	J	$3,11 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^5$	$3,86 \times 10^{16}$	1,6%	Odum, 1996
9	Perda de solo (pastagens)	N	J	$7,32 \times 10^9$	$1,24 \times 10^5$	$9,08 \times 10^{14}$	< 1%	Odum, 1996
10	Eletricidade	F	J	$3,46 \times 10^{11}$	$5,64 \times 10^5$	$1,95 \times 10^{17}$	8%	Odum, 1996
11	Combustíveis	F	J	$1,57 \times 10^{10}$	$1,86 \times 10^5$	$2,92 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
12	Mão de obra	F	J	$7,16 \times 10^{10}$	$1,15 \times 10^7$	$8,23 \times 10^{17}$	33,8%	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
13	Água	R	m ³	$1,31 \times 10^4$	$1,05 \times 10^{12}$	$1,38 \times 10^{16}$	< 1%	Buenfil, 2001
Produção de milho								
14	Sementes	F	g	$1,08 \times 10^6$	$6,55 \times 10^8$	$7,07 \times 10^{14}$	< 1%	Panzieri, 1995
Ração (produção de suínos)								
15	Farelo de soja	F	g	$2,40 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$7,82 \times 10^{16}$	3,2%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
16	Núcleo	F	g	$1,20 \times 10^7$	$6,08 \times 10^9$	$7,30 \times 10^{16}$	3%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de leite)								
17	Farelo de soja	F	g	$8,00 \times 10^5$	$3,26 \times 10^9$	$2,61 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
18	Núcleo	F	g	$4,00 \times 10^5$	$6,08 \times 10^9$	$2,43 \times 10^{15}$	< 1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Energia total						$2,44 \times 10^{18}$	100%	
Saídas								
19	Milho		g	$1,40 \times 10^6$	$1,74 \times 10^{12}$	$2,44 \times 10^{18}$		Calculada
20	Carne de porco (carcaça)		J	$3,09 \times 10^{12}$	$7,90 \times 10^5$	$2,44 \times 10^{18}$		Calculada
21	Leite		g	$2,23 \times 10^8$	$1,09 \times 10^{10}$	$2,44 \times 10^{18}$		Calculada

- Os valores das energias por unidade foram multiplicadas, quando necessário, por 1,68 para garantir o uso da base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano (ODUM *et al.*, 2000).

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total, pois a irradiação solar, 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, para evitar a dupla contagem de energia.

** Un. = unidade.

A avaliação em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini simulada sem a criação de aves (produção de ovos) é apresentada na Tabela 7, na qual as entradas requeridas

para a implantação e para a operação do agronegócio integrado sem a produção de ovos foram contabilizadas e novamente o recurso mais significativo no valor da energia total é a mão de obra (33,8%). As outras entradas que também contribuem de forma expressiva na energia do sistema são: a chuva (19%), os fertilizantes (17,5%), o concreto (11,7%) e a eletricidade (8%).

O fluxo de energia total do sistema integrado simulado sem a criação de aves (produção de ovos) é de $2,44 \times 10^{18}$ seJ/ano e indica o quanto de material e energia são investidos anualmente no sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos. Os fluxos de saída são mostrados nos itens 19 a 21 da Tabela 7 e as energias por unidade do milho que sobra, da carne e do leite foram calculadas e o memorial de cálculo é apresentado no Apêndice D.3.

5.5 Contabilidade ambiental em energia do sistema integrado sem a produção de ovos com manutenção da receita total original (1,89 vezes a produção de suínos)

Na Figura 14 é apresentado o diagrama de fluxos de energia e materiais referentes ao sistema integrado e simulado com aumento na produção de carne para substituição da produção de ovos de forma a manter a receita para o produtor. É avaliado o custo ambiental de implantação e de operação do processo produtivo integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos, porém, com produção de carne 1,89 vezes maior, esse valor foi obtido num dimensionamento que visa gerar o mesmo faturamento para o empreendimento, o detalhamento pode ser verificado no Apêndice E.2. As energias dos insumos para a implantação e operação do sistema foram calculados e o memorial de cálculo referente a implantação e operação estão nos Apêndices E.1 e E.2, respectivamente.

Ao aumentar a produção de carne em substituição à produção de ovos que foi retirada do processo, o milho produzido pela fazenda não é suficiente para a fabricação da ração necessária, portanto, há um aumento do milho comprado de fonte externa (economia). As saídas do processo são a carne e o leite (coprodutos).

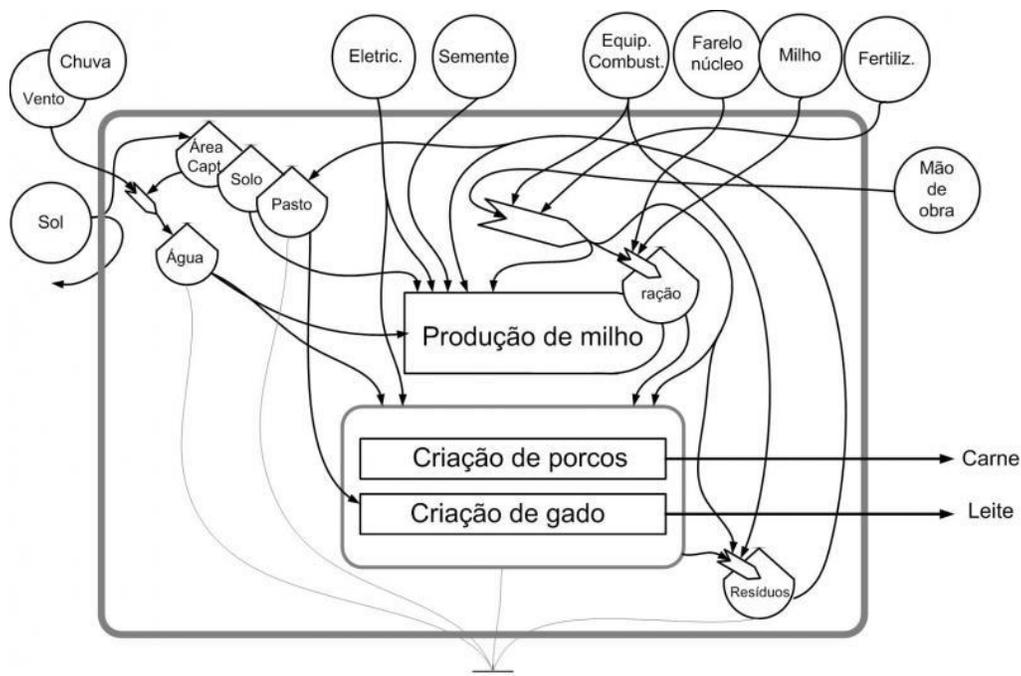


Figura 14. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos e com aumento de 1,89 vezes na produção de suínos

A avaliação em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini simulada sem a criação de aves (produção de ovos), porém, com aumento na produção de carne é apresentada na Tabela 8. Foram contabilizadas as entradas requeridas para a implantação e para a operação da simulação do agronegócio integrado sem a produção de ovos e com aumento na produção de carne. A mão de obra é um recurso que possui grande relevância no valor da energia total, constituindo o item com maior valor de energia (31,5%). A segunda maior contribuição é o concreto (14,4%). A energia da chuva, dos fertilizantes e da eletricidade contribuem, respectivamente, com 13,7%, 12,6% e 11,5%.

O fluxo de energia total do sistema integrado simulado sem a produção de ovos e aumentando a produção de carne para manter a receita do produtor é de $3,30 \times 10^{18}$ seJ/ano, valor que indica o quanto de material e energia são necessários anualmente na implantação e na operação do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de ovos e com aumento na produção de carne.

Os fluxos de saída são mostrados nos itens 21 e 22 da Tabela 8. A energia por unidade da carne e do leite foram calculadas neste estudo e os cálculos são mostrados no Apêndice E.3.

Tabela 8. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem a produção de ovos com aumento de 1,89 vezes na produção de carne

Item	Descrição	R, N ou F	Un.**	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)*	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 6
Implantação								
1	Concreto	F	g	$3,16 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	$4,86 \times 10^{17}$	14,4%	Brown e Buranakarn, 2003
2	Aço	F	g	$1,05 \times 10^7$	$4,15 \times 10^9$	$4,35 \times 10^{16}$	1,3%	Brown e Buranakarn, 2003
Operação								
3	Irradiação solar*	R	J	$1,41 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^0$	$1,41 \times 10^{13}$		Por definição
4	Chuva tropical (química)	R	J	$9,03 \times 10^{12}$	$5,14 \times 10^4$	$4,64 \times 10^{17}$	13,7%	Odum, 1996
5	Chuva tropical geopotencial	R	J	$4,48 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^4$	$1,33 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
6	Vento*	R	J	$2,11 \times 10^{11}$	$4,12 \times 10^3$	$8,69 \times 10^{14}$		Odum, 1996
7	Fertilizantes	F	g	$4,90 \times 10^7$	$8,69 \times 10^9$	$4,25 \times 10^{17}$	12,6%	Odum, 1996
8	Perda de solo (plantação)	N	J	$3,11 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^5$	$3,86 \times 10^{16}$	1,1%	Odum, 1996
9	Perda de solo (pastagens)	N	J	$7,32 \times 10^9$	$1,24 \times 10^5$	$9,08 \times 10^{14}$	< 1%	Odum, 1996
10	Eletricidade	F	J	$5,30 \times 10^{11}$	$5,64 \times 10^5$	$2,99 \times 10^{17}$	11,5%	Odum, 1996
11	Combustíveis	F	J	$1,57 \times 10^{10}$	$1,86 \times 10^5$	$2,92 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
12	Mão de obra	F	J	$9,30 \times 10^{10}$	$1,15 \times 10^7$	$1,07 \times 10^{18}$	31,5%	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
13	Água	R	m ³	$2,09 \times 10^4$	$1,05 \times 10^{12}$	$2,19 \times 10^{16}$	1%	Buenfil, 2001
Produção de milho								
14	Sementes	F	g	$1,08 \times 10^6$	$6,55 \times 10^8$	$7,07 \times 10^{14}$	< 1%	Panzieri, 1995
Ração (produção de suínos)								
15	Milho**	F	g	$7,25 \times 10^7$	$2,08 \times 10^9$	$1,50 \times 10^{17}$	4,4%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
16	Farelo de soja	F	g	$4,54 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$1,48 \times 10^{17}$	4,4%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
17	Núcleo	F	g	$2,27 \times 10^7$	$6,08 \times 10^9$	$1,38 \times 10^{17}$	4,1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de leite)								
18	Milho**	F	g	$1,28 \times 10^6$	$2,08 \times 10^9$	$2,64 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
19	Farelo de soja	F	g	$8,00 \times 10^5$	$3,26 \times 10^9$	$2,61 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
20	Núcleo	F	g	$4,00 \times 10^5$	$6,08 \times 10^9$	$2,43 \times 10^{15}$	< 1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Energia total						$3,30 \times 10^{18}$	100%	
Saídas								
21	Carne de porco (carcaça)		J	$5,84 \times 10^{12}$	$5,65 \times 10^5$	$3,30 \times 10^{18}$		Calculada
22	Leite		g	$2,23 \times 10^8$	$1,48 \times 10^{10}$	$3,30 \times 10^{18}$		Calculada

- Os valores das energias por unidade foram multiplicadas, quando necessário, por 1,68 para garantir o uso da base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano) (ODUM *et al.*, 2000).

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total, pois a irradiação solar, 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, para evitar a dupla contagem de energia.

** Un. = unidade.

5.6 Contabilidade ambiental em energia do sistema integrado sem a produção de milho

O diagrama da Figura 15 mostra os fluxos de energia e materiais do sistema integrado e simulado sem a produção de milho, no qual é avaliado o custo ambiental de implantação e de operação do processo produtivo da Fazenda Braghini com todo o milho proveniente de fonte externa. Ao simular o processo sem a produção do milho, não entram sementes e fertilizantes e todo o milho para a produção da ração (representada como estoque) são provenientes da economia. Os ovos, a carne e o leite são as saídas do sistema integrado que não possui a produção de milho.

As entradas para a implantação das construções (casa-sede, casas dos funcionários e os galpões operacionais) e do equipamento (somente um trator) foram contabilizadas (concreto e aço) e os cálculos são mostrados no Apêndice F.1. Para a operação do sistema, a perda de solo foi recalculada com 91 ha de área total para pastagens, pois os 55 ha da plantação foram somados aos 36 ha de pastagens; também foram considerados a utilização de apenas 30% de combustível e 26 funcionários. Os cálculos detalhados de toda a operação são apresentados no Apêndice F.2.

A avaliação em energia do agronegócio integrado da Fazenda Braghini simulada sem a produção de milho é apresentada na Tabela 9.

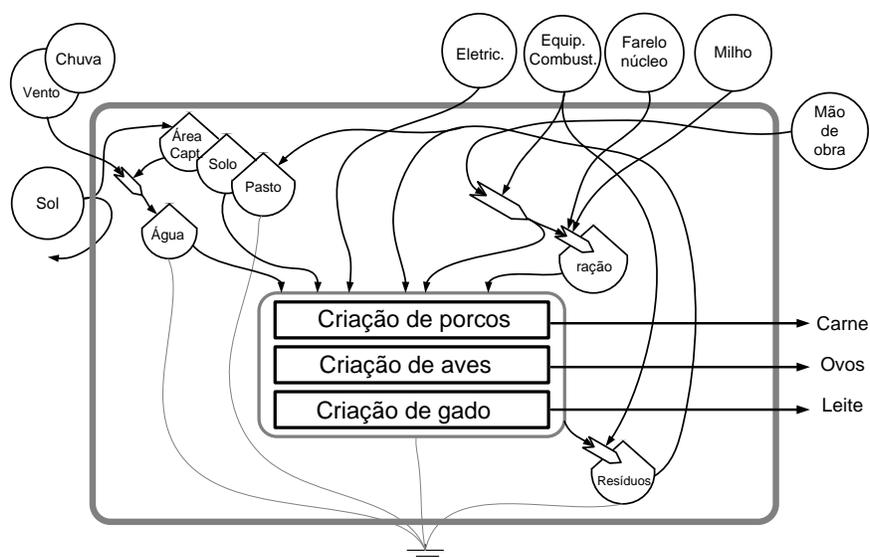


Figura 15. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem a produção de milho

As entradas requeridas para a implantação e para a operação da simulação do agronegócio integrado sem a produção de milho foram contabilizadas e apresentadas na Tabela 4, na qual novamente a mão de obra contribui de forma mais significativa na energia total do sistema (36,1%). O concreto (16,4%), a chuva (15,7%) e a eletricidade (13,1%) também contribuem de forma significativa na energia do sistema.

O fluxo de energia total do sistema integrado simulado sem a produção de milho é de $2,97 \times 10^{18}$ seJ/ano, que representa quanto de material e energia são investidos anualmente na implantação e operação do agronegócio integrado da Fazenda Braghini sem a produção de milho.

Tabela 9. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem a produção de milho

Item	Descrição	R, N ou F	Un.**	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)*	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 6
Implantação								
1	Concreto	F	g	$3,16 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	$4,87 \times 10^{17}$	16,4%	Brown e Buranakarn, 2003
2	Aço	F	g	$9,28 \times 10^6$	$4,15 \times 10^9$	$3,85 \times 10^{16}$	1,3%	Brown e Buranakarn, 2003
Operação								
3	Irradiação solar*	R	J	$1,41 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^0$	$1,41 \times 10^{13}$		Por definição
4	Chuva tropical (química)	R	J	$9,03 \times 10^{12}$	$5,14 \times 10^4$	$4,64 \times 10^{17}$	15,7%	Odum, 1996
5	Chuva tropical geopotencial	R	J	$4,48 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^4$	$1,33 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
6	Vento*	R	J	$2,11 \times 10^{11}$	$4,12 \times 10^3$	$8,69 \times 10^{14}$		Odum, 1996
7	Perda de solo (pastagens)	N	J	$1,85 \times 10^{10}$	$1,24 \times 10^5$	$2,29 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
8	Eletricidade	F	J	$6,91 \times 10^{11}$	$5,64 \times 10^5$	$3,90 \times 10^{17}$	13,1%	Odum, 1996
9	Combustíveis	F	J	$4,71 \times 10^9$	$1,86 \times 10^5$	$8,76 \times 10^{14}$	< 1%	Odum, 1996
10	Mão de obra	F	J	$9,31 \times 10^{10}$	$1,15 \times 10^7$	$1,07 \times 10^{18}$	36,1%	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
11	Água	R	m ³	$2,19 \times 10^4$	$1,05 \times 10^{12}$	$2,30 \times 10^{16}$	< 1%	Buenfil, 2001
Ração (produção de ovos)								
15	Milho**	F	g	$3,92 \times 10^7$	$2,08 \times 10^9$	$8,15 \times 10^{16}$	2,8%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
16	Farelo de soja	F	g	$1,12 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$3,65 \times 10^{16}$	1,2%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
17	Núcleo	F	g	$5,60 \times 10^6$	$6,08 \times 10^9$	$3,40 \times 10^{16}$	1,2%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de suínos)								
18	Milho**	F	g	$8,40 \times 10^7$	$2,08 \times 10^9$	$1,75 \times 10^{17}$	5,9%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
19	Farelo de soja	F	g	$2,40 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$7,82 \times 10^{16}$	2,6%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
20	Núcleo	F	g	$1,20 \times 10^7$	$6,08 \times 10^9$	$7,30 \times 10^{16}$	2,5%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de leite)								
21	Milho**	F	g	$2,80 \times 10^6$	$2,08 \times 10^9$	$5,82 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
22	Farelo de soja	F	g	$8,00 \times 10^5$	$3,26 \times 10^9$	$2,61 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
23	Núcleo	F	g	$4,00 \times 10^5$	$6,08 \times 10^9$	$2,43 \times 10^{15}$	< 1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Energia total						$2,97 \times 10^{18}$	100%	
Saídas								
24	Ovos		g	$2,71 \times 10^8$	$1,10 \times 10^{10}$	$2,97 \times 10^{18}$		Calculada
25	Carne de porco (carcaça)		J	$3,09 \times 10^{12}$	$9,61 \times 10^5$	$2,97 \times 10^{18}$		Calculada
26	Leite		g	$2,23 \times 10^8$	$1,33 \times 10^{10}$	$2,97 \times 10^{18}$		Calculada

- Os valores das energias por unidade foram multiplicadas, quando necessário, por 1,68 para garantir o uso da base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano) (ODUM *et al.*, 2000).

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total, pois a irradiação solar, 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, para evitar a dupla contagem de energia.

** Un. = unidade.

Os fluxos de saída são mostrados nos itens 24 a 26 da Tabela 8. A energia por unidade dos ovos, da carne e do leite foram calculadas neste estudo e os cálculos são mostrados no Apêndice F.3.

5.7 Contabilidade ambiental em energia do sistema integrado sem a utilização de adubo orgânico (sem aproveitamento dos resíduos)

O diagrama mostrado na Figura 16 representa os fluxos de energia e materiais do agronegócio integrado da Fazenda Braghini simulado sem o aproveitamento dos resíduos. Nesse sistema é avaliado o custo ambiental de implantação e de operação do processo

produtivo integrado da Fazenda Braghini com aumento na quantidade utilizada de fertilizantes para suprir as necessidades de nutrientes do solo da fazenda que antes eram parcialmente repostos pelo adubo orgânico.

A fazenda produz apenas 70% do milho necessário para a produção de ração, os outros 30% provêm de fonte externa (economia) e, portanto, aparecem no diagrama como fonte de entrada. As saídas do processo são: os ovos, a carne e o leite (coprodutos). Como os resíduos (adubo orgânico) não foram aproveitados no sistema, o diagrama possui uma saída de resíduos.

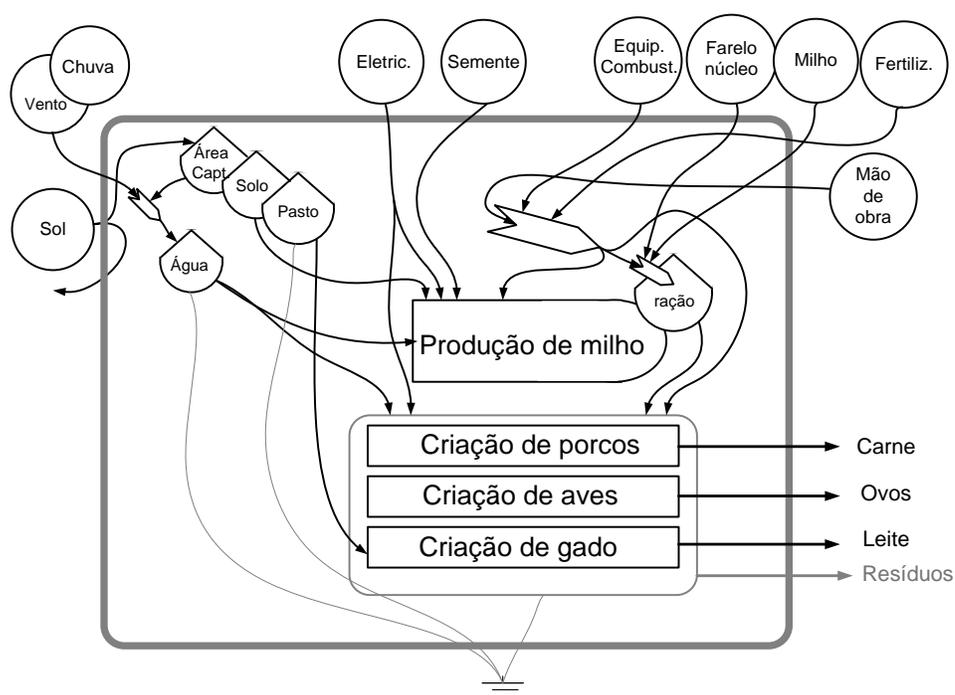


Figura 16. Diagrama de energia da operação do sistema integrado da Fazenda Braghini sem o aproveitamento dos resíduos

Os insumos contabilizados para a implantação das construções e equipamentos da fazenda no sistema integrado que não aproveitam os resíduos são o concreto e o aço e os cálculos referentes a estes insumos são mostrados no Apêndice G.1. Na operação do sistema foi aumentada a quantidade de fertilizante e o detalhamento dos cálculos são mostrados no Apêndice G.2.

Tabela 10. Contabilidade em energia do agronegócio da Fazenda Braghini sem adubo orgânico (sem aproveitamento dos resíduos)

Item	Descrição	R, N ou F	Un.**	Quant. (un/ano)	Energia/un. (seJ/un.)*	Energia (seJ)	% do total de energia	Referências da coluna 6
Implantação								
1	Concreto	F	g	$3,16 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	$4,86 \times 10^{17}$	13,5%	Brown e Buranakarn, 2003
2	Aço	F	g	$1,05 \times 10^7$	$4,15 \times 10^9$	$4,35 \times 10^{16}$	1,2%	Brown e Buranakarn, 2003
Operação								
3	Irradiação solar*	R	J	$1,41 \times 10^{13}$	$1,00 \times 10^0$	$1,41 \times 10^{13}$		Por definição
4	Chuva tropical (química)	R	J	$9,03 \times 10^{12}$	$5,14 \times 10^4$	$4,64 \times 10^{17}$	12,9%	Odum, 1996
5	Chuva tropical geopotencial	R	J	$4,48 \times 10^{10}$	$2,96 \times 10^4$	$1,33 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
6	Vento*	R	J	$2,11 \times 10^{11}$	$4,12 \times 10^3$	$8,69 \times 10^{14}$		Odum, 1996
7	Fertilizantes	F	g	$8,17 \times 10^7$	$8,69 \times 10^9$	$7,10 \times 10^{17}$	19,8%	Odum, 1996
8	Perda de solo (plantação)	N	J	$3,11 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^5$	$3,86 \times 10^{16}$	1,1%	Odum, 1996
9	Perda de solo (pastagens)	N	J	$7,32 \times 10^9$	$1,24 \times 10^5$	$9,08 \times 10^{14}$	< 1%	Odum, 1996
10	Eletricidade	F	J	$6,91 \times 10^{11}$	$5,64 \times 10^5$	$3,89 \times 10^{17}$	10,8%	Odum, 1996
11	Combustíveis	F	J	$1,57 \times 10^{10}$	$1,86 \times 10^5$	$2,92 \times 10^{15}$	< 1%	Odum, 1996
12	Mão de obra	F	J	$9,80 \times 10^{10}$	$1,15 \times 10^7$	$1,13 \times 10^{18}$	31,4%	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
13	Água	R	m ³	$2,19 \times 10^4$	$1,05 \times 10^{12}$	$2,30 \times 10^{16}$	< 1%	Buenfil, 2001
Produção de milho								
14	Sementes	F	g	$1,08 \times 10^6$	$6,55 \times 10^8$	$7,08 \times 10^{14}$	< 1%	Panzieri, 1995
Ração (produção de ovos)								
15	Milho**	F	g	$1,18 \times 10^7$	$2,08 \times 10^9$	$2,45 \times 10^{16}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
16	Farelo de soja	F	g	$1,12 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$3,65 \times 10^{16}$	1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
17	Núcleo	F	g	$5,60 \times 10^6$	$6,08 \times 10^9$	$3,40 \times 10^{16}$	1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de suínos)								
18	Milho**	F	g	$2,52 \times 10^7$	$2,08 \times 10^9$	$5,24 \times 10^{16}$	1,5%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
19	Farelo de soja	F	g	$2,40 \times 10^7$	$3,26 \times 10^9$	$7,82 \times 10^{16}$	2,2%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
20	Núcleo	F	g	$1,20 \times 10^7$	$6,08 \times 10^9$	$7,30 \times 10^{16}$	2%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Ração (produção de leite)								
21	Milho**	F	g	$8,40 \times 10^5$	$2,08 \times 10^9$	$1,75 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
22	Farelo de soja	F	g	$8,00 \times 10^5$	$3,26 \times 10^9$	$2,61 \times 10^{15}$	< 1%	Ortega <i>et al.</i> , 2002
23	Núcleo	F	g	$4,00 \times 10^5$	$6,08 \times 10^9$	$2,43 \times 10^{15}$	< 1%	Cavalett <i>et al.</i> , 2006
Energia total						$3,59 \times 10^{18}$	100%	
Saídas								
24	Ovos		g	$2,71 \times 10^8$	$1,32 \times 10^{10}$	$3,59 \times 10^{18}$		Calculada
25	Carne de porco (carçaça)		J	$3,09 \times 10^{12}$	$1,16 \times 10^6$	$3,59 \times 10^{18}$		Calculada
26	Leite		g	$2,23 \times 10^8$	$1,61 \times 10^{10}$	$3,59 \times 10^{18}$		Calculada

- Os valores das energias por unidade foram multiplicadas, quando necessário, por 1,68 para garantir o uso da base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano) (ODUM *et al.*, 2000).

*A irradiação solar e o vento não foram somados no valor da energia total, pois a irradiação solar, 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, para evitar a dupla contagem de energia.

** Un. = unidade.

A Tabela 10 mostra a avaliação em energia do agronegócio da Fazenda Braghini, simulada sem o aproveitamento dos resíduos. Foram contabilizadas as entradas requeridas para a implantação e para a operação do processo produtivo, no qual a mão de obra é o recurso mais significativo no valor da energia total da fazenda (31,4%). Os fertilizantes (19,8%), o concreto (13,5%), a chuva (12,9%) e a eletricidade (10,8%) também possuem grande contribuição na energia do sistema.

O fluxo de energia total do sistema integrado simulado sem o aproveitamento dos resíduos é de $3,59 \times 10^{18}$ seJ/ano. Este valor indica o quanto de material e energia é investido anualmente na implantação e operação do agronegócio integrado da Fazenda Braghini simulada sem o aproveitamento dos resíduos.

A Tabela 10 apresenta os fluxos de saída nos itens 24 a 26 e as energias por unidade dos ovos, da carne e do leite foram calculadas neste estudo e os cálculos são mostrados no Apêndice G.3.

A Figura 17 mostra a composição da energia das matérias-primas que fluem para cada sistema agregadas em categorias principais, resumindo as diferenças entre os sete processos de produção estudados e a contribuição de cada categoria para energia total. Observa-se que a mão de obra é o fator que mais contribui em todos os sistemas e que a parcela de energia não renovável é desprezível. Avaliando as opções em que o produtor pode manter a receita que obtém do sistema integrado, o sistema que conta com menor contribuição relativa de energias renováveis é o de produção de ovos (2,13 ovos). Este sistema emprega maior quantidade de mão de obra e de energia direta (combustíveis e eletricidade).

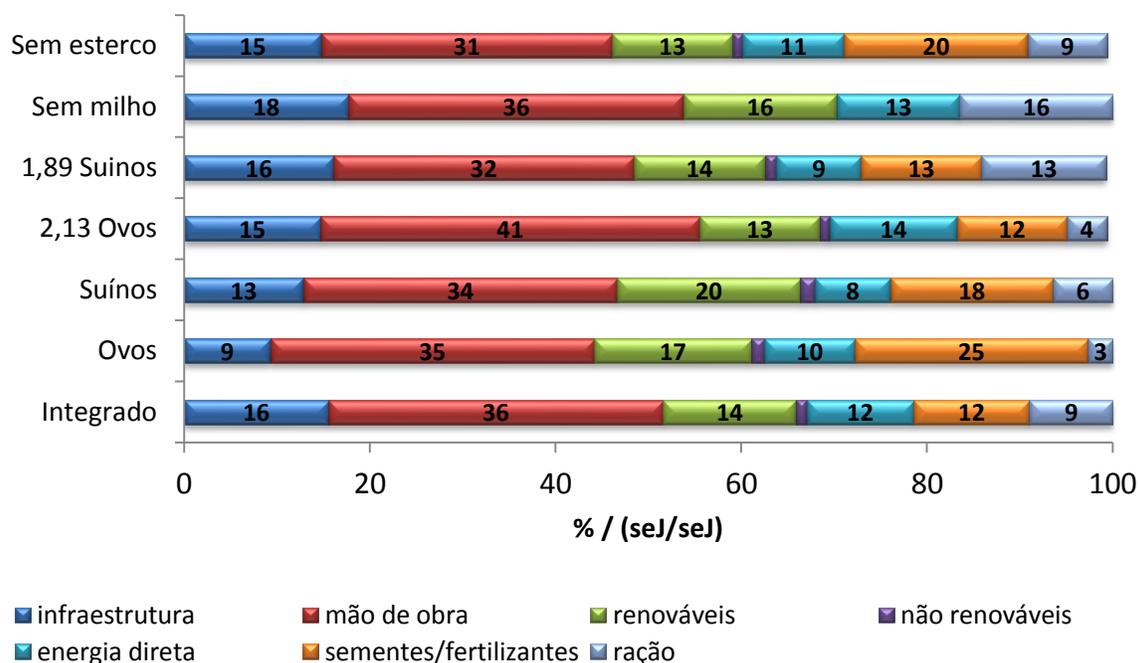


Figura 17. Composição da energia das matérias-primas que fluem para cada sistema, agregadas em categorias principais.

A Tabela 11 resume os resultados obtidos no que se refere à eficiência na produção de cada tipo de configuração, incluindo os sistemas já discutidos em 5.1. Os resultados são mostrados em relação à unidade funcional gramas de proteína, que permite unificar a saída de todos os sistemas e comparar a produção total de cada um deles. Os memoriais de cálculo das emergias por unidades, em seJ/g de proteína, para cada uma das configurações estudadas, estão nos Apêndices A.4, B.4, C.4, D.4, E.4, F.4 e G.4.

Tabela 11. Comparação das emergias por unidades (em seJ/gramas de proteína) obtidas neste estudo (todos os sistemas) com as da literatura

Sistema	Ovos (seJ/g de proteína)	Carne (seJ/g de proteína)	Leite (seJ/g de proteína)	Milho (seJ/g de proteína)	Sistema (seJ/g de proteína)
Integrado	$9,69 \times 10^{10}$	$4,33 \times 10^{10}$	$4,50 \times 10^{11}$	-----	$2,79 \times 10^{10}$
Sem a produção de carne	$7,24 \times 10^{10}$	-----	$3,36 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^{12}$	$5,76 \times 10^{10}$
Sem a produção de carne (2,13)	$4,81 \times 10^{10}$	-----	$4,76 \times 10^{11}$	$5,90 \times 10^{13}$	$4,37 \times 10^{10}$
Sem a produção de ovos	-----	$3,10 \times 10^{10}$	$3,22 \times 10^{11}$	$5,41 \times 10^{13}$	$2,82 \times 10^{10}$
Sem a produção de ovos (1,89)	-----	$2,21 \times 10^{10}$	$4,35 \times 10^{11}$	-----	$2,10 \times 10^{10}$
Sem a produção de milho	$8,44 \times 10^{10}$	$3,77 \times 10^{10}$	$3,92 \times 10^{11}$	-----	$2,43 \times 10^{10}$
Sem o adubo orgânico	$1,02 \times 10^{11}$	$4,56 \times 10^{10}$	$4,74 \times 10^{11}$	-----	$2,94 \times 10^{10}$
Literatura [*]	$8,23 \times 10^{11}$ ^a $5,98 \times 10^{12}$ ^b	$8,19 \times 10^{10}$	$9,91 \times 10^{11}$	$6,46 \times 10^{10}$	-----

* As referências da literatura são: Brandt-Williams (2002^a) e Zhang *et al.* (2013^b) (ovos), Cavalett *et al.* (2006) (carne), Brandt-Williams (2002) (leite) e Ortega *et al.* (2002) (milho). Os valores das UEVs das referências foram convertidos para gramas de proteínas.

Observa-se que, no caso do agronegócio em prática na Fazenda Braghini, a produção integrada é menos eficiente que a produção isolada de carne (1,89 suínos) e que a produção interna de milho faz com que a UEV do sistema integrado caia em 13%.

Como esperado, a não utilização dos resíduos da produção de animais e ovos resulta em redução da eficiência de todos os sistemas produtivos propostos da ordem de aproximadamente 5%. No caso da produção de ovos com manutenção do faturamento, nota-se que houve um aumento na eficiência que chega a 50% quando comparado com a produção integrada. É interessante observar que a interrupção da produção de milho aumenta a eficiência da produção dos três produtos em relação ao sistema integrado. De acordo com Altieri (1995) e Wilkins (2008), a integração pecuária pode promover melhorias no desempenho de sistemas agrícolas, o que pode ser observado na comparação entre as UEVs obtidas na contabilidade ambiental em energia do sistema integrado deste estudo e as UEVs observadas na literatura. Entretanto, o inverso pode não ser verdadeiro, pois quando foram simuladas desintegrações do

sistema em estudo, foram encontradas *UEVs* significativamente menores, o que sugere melhorias na eficiência (Tabela 11).

5.8 Avaliação dos indicadores

A Figura 18 compara os indicadores obtidos para as sete configurações estudadas e resumidas na Tabela 12. A energia por unidade da produção de ovos e da produção de leite foi calculada em seJ/g e a energia por unidade (transformidade) da produção de carne de porco foi calculada em seJ/J.

Tabela 12. Comparação dos indicadores e das energias dos sistemas estudados.

	Sistema	EYR	ELR	ESI	Energia seJ/ano
1	Integrado	1,18	5,99	0,20	$3,41 \times 10^{18}$
2	Sem a produção de carne	1,26	4,32	0,29	$2,55 \times 10^{18}$
3	Sem a produção de carne (2,13 ovos)	1,17	6,40	0,18	$3,61 \times 10^{18}$
4	Sem a produção de ovos	1,27	4,08	0,31	$2,44 \times 10^{18}$
5	Sem a produção de ovos (1,89 suínos)	1,19	5,75	0,21	$3,30 \times 10^{18}$
6	Sem a produção de milho	1,20	5,07	0,24	$2,97 \times 10^{18}$
7	Sem o adubo orgânico	1,17	6,36	0,18	$3,59 \times 10^{18}$

Observa-se na Tabela 12 e na Figura 18, que não há variação significativa do *EYR* ($1,2 \pm 0,04$) nos sistemas estudados, o que sugere que a apropriação de recursos naturais por qualquer dos sistemas avaliados contribui de forma semelhante para o sistema de entorno, exceto para o sistema em que foi simulada a retirada da produção de ovos, onde o *EYR* indica que o rendimento é melhor do que nos outros sistemas estudados.

Quando se trata da carga imposta ao ambiente (*ELR*), pode-se observar que a interrupção da produção de ovos reduziria o valor do *ELR* do sistema integrado em aproximadamente 30% e em 4% mantendo-se a receita atual. Desta forma, pode-se verificar que, apesar da maior eficiência na transformação de recursos, a produção de ovos desfavorece o desempenho ambiental do sistema. A interrupção da produção de ovos resulta em valor mais alto do *ESI* e menor valor de energia total.

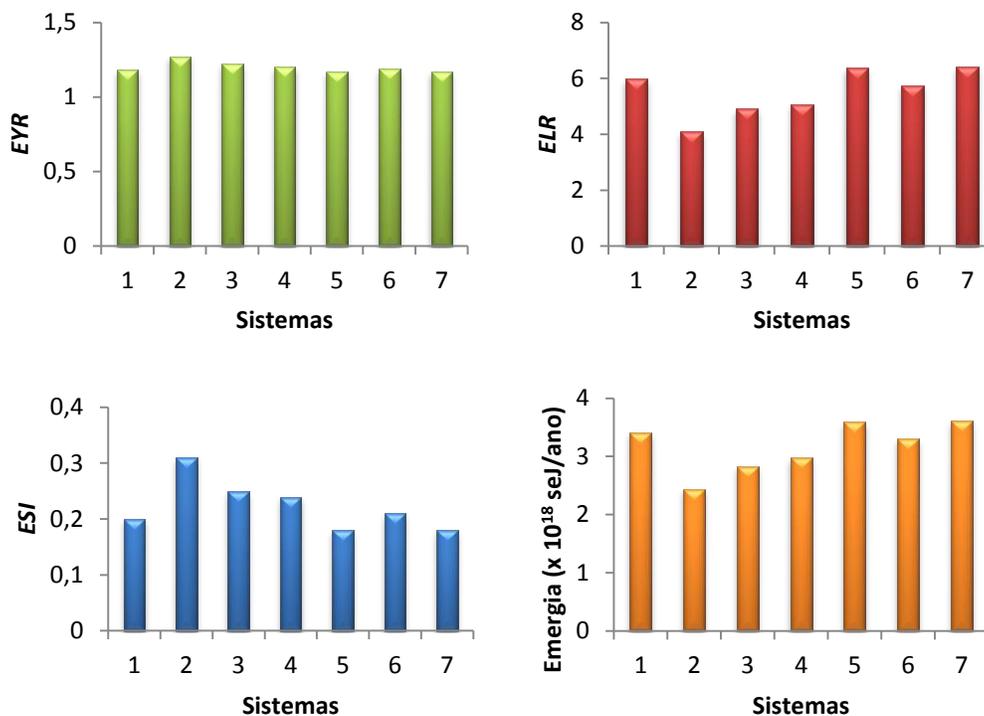


Figura 18. Indicadores de todos os sistemas estudados: 1. Sistema integrado; 2. Sistema integrado sem a produção de ovos; 3. Sistema integrado sem a produção de carne; 4. Sistema integrado sem a produção de milho; 5. Sistema integrado sem o adubo orgânico; 6. Sistema integrado sem a produção de ovos com manutenção da receita total original; 7. Sistema integrado sem a produção de carne com manutenção da receita total original

A interrupção da produção de carne suína reduz a carga ambiental (*ELR*) em 18% e aumenta a sustentabilidade ambiental (*ESI*) em 25%. Na simulação com a interrupção da produção de carne mantendo-se a receita, obtém-se um aumento de 7% na carga ambiental (*ELR*) e uma redução de 10% na sustentabilidade (*ESI*). A emergia encontrada para o sistema sem a produção de carne foi $2,83 \times 10^{18}$ seJ/ano e para o sistema que mantém a receita foi de $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano. Comparando-se os valores com os do sistema integrado ($3,41 \times 10^{18}$ seJ/ano) é possível verificar que houve uma diminuição no uso dos recursos ambientais no primeiro caso e um aumento no segundo.

A simulação em que foi retirada a produção de milho teve redução de 15% na carga ambiental (*ELR*), resultando em aumento de 20% na sustentabilidade (*ESI*), enquanto na simulação em que foi interrompida a utilização dos resíduos, para adubação da plantação, houve aumento de 20% no *ELR* com redução de 10% no *ESI*. Entretanto, os resultados mostram que a produção mais eficiente (ovos) é a que apresenta o pior desempenho ambiental.

A produtividade global (*GP*) dos três coprodutos do agronegócio estudado foi calculada pelo inverso das energias por unidade (energia/emergia). Os resultados são mostrados em relação à unidade funcional gramas de proteína. As energias por unidade encontradas na literatura também foram transformadas em produtividade global. Os resultados mostram que a *GP* da Fazenda Braghini, que trabalha com sistema integrado de produção de alimentos, é maior que a dos sistemas produtivos tradicionais retirados da literatura (oito vezes maior para a produção de ovos, duas vezes maior para a produção de carne de porco e duas vezes maior para a produção de leite).

Os valores das produtividades globais em gramas de proteínas/seJ são mostrados na Tabela 13 e podem ser confrontados com os indicadores ambientais em emergia (Figuras 19 a 24).

Tabela 13. Comparação das produtividades globais (em gramas de proteínas/seJ) obtidas neste estudo (todos os sistemas) com as da literatura

Sistema	Ovos (g de proteína /seJ)	Carne (g de proteína /seJ)	Leite (g de proteína /seJ)	Milho (g de proteína /seJ)	Sistema (g de proteína /seJ)
Integrado	$1,03 \times 10^{-11}$	$2,31 \times 10^{-11}$	$2,22 \times 10^{-12}$	-----	$3,58 \times 10^{-11}$
Sem a produção de carne	$1,38 \times 10^{-11}$	-----	$2,98 \times 10^{-12}$	$5,85 \times 10^{-13}$	$1,74 \times 10^{-11}$
Sem a produção de carne (2,13)	$2,08 \times 10^{-11}$	-----	$2,10 \times 10^{-12}$	$1,69 \times 10^{-14}$	$2,29 \times 10^{-11}$
Sem a produção de ovos	-----	$3,22 \times 10^{-11}$	$3,11 \times 10^{-12}$	$1,85 \times 10^{-14}$	$3,55 \times 10^{-11}$
Sem a produção de ovos (1,89)	-----	$4,52 \times 10^{-11}$	$4,33 \times 10^{-12}$	-----	$4,95 \times 10^{-11}$
Sem a produção de milho	$1,18 \times 10^{-11}$	$2,65 \times 10^{-11}$	$2,55 \times 10^{-12}$	-----	$4,12 \times 10^{-11}$
Sem o adubo orgânico	$9,80 \times 10^{-12}$	$2,19 \times 10^{-11}$	$2,11 \times 10^{-12}$	-----	$3,40 \times 10^{-11}$
Literatura ^a	$1,22 \times 10^{-12}$ a	$1,22 \times 10^{-11}$	$1,01 \times 10^{-12}$	$1,55 \times 10^{-11}$	-----
	$1,67 \times 10^{-13}$ b				

* As referências da literatura são: Brandt-Williams (2002^a) e Zhang *et al.* (2013^b) (ovos), Cavalett *et al.* (2006) (carne), Brandt-Williams (2002) (leite) e Ortega *et al.* (2002) (milho).

Quando se trata da produtividade global da produção de ovos (Figura 19), observa-se que não há variação do *EYR*, independentemente das variações no restante do sistema. As mudanças na configuração do agronegócio podem resultar no aumento da produtividade global dos ovos, porém, não se observa aumento da contribuição do agronegócio para a economia da região. Resultado semelhante é obtido para a produção de carne suína (Figura 20). Como esperado, a produtividade dos dois sistemas, com e sem o uso dos resíduos dos animais é semelhante e a melhor configuração em termos de produtividade global é a produção isolada de carne ou ovos, com manutenção da receita.

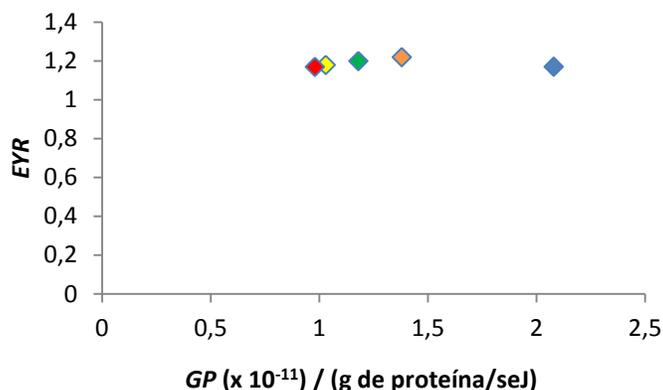


Figura 19. *EYR* x *GP* (gramas de proteína/seJ) dos ovos, representando os seguintes sistemas: 1. Sistema integrado (amarelo); 2. Sistema integrado sem a produção de carne (laranja); 3. Sistema integrado sem a produção de milho (verde); 4. Sistema integrado sem o adubo orgânico (vermelho); 5. Sistema integrado sem a produção de carne com manutenção da receita total original (azul)

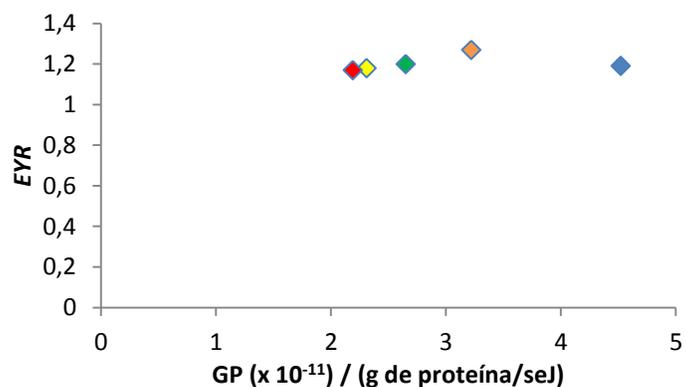


Figura 20. *EYR* x *GP* (gramas de proteína/seJ) da carne, representando os seguintes sistemas: 1. Sistema integrado (amarelo); 2. Sistema integrado sem a produção de ovos (laranja); 3. Sistema integrado sem a produção de milho (verde); 4. Sistema integrado sem o adubo orgânico (vermelho); 5. Sistema integrado sem a produção de ovos com manutenção da receita total original (azul)

Por outro lado, quando se avalia o índice de carga ambiental (*ELR*), observa-se, na Figura 21, que para reduzir o estresse causado pelo processo de produção pode-se escolher entre interromper a produção interna de milho ou a de carne suína. Porém, o aumento da produtividade global, com a carga ambiental atual, pode ser obtido com a exclusão da produção de carne e aumento na produção de ovos, para obtenção da mesma receita.

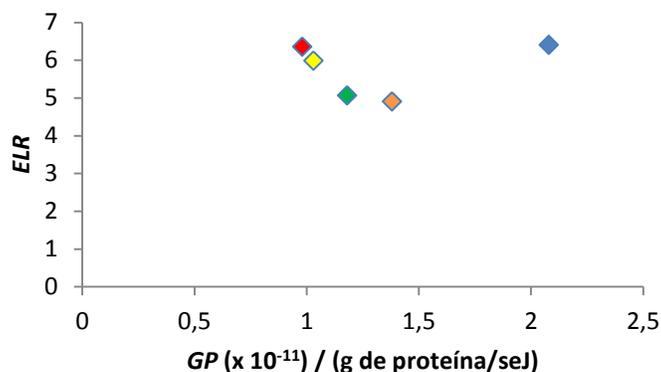


Figura 21. *ELR* x *GP* (gramas de proteína/seJ) dos ovos, representando os seguintes sistemas: 1. Sistema integrado (amarelo); 2. Sistema integrado sem a produção de carne (laranja); 3. Sistema integrado sem a produção de milho (verde); 4. Sistema integrado sem o adubo orgânico (vermelho); 5. Sistema integrado sem a produção de carne com manutenção da receita total original (azul)

Interrompendo a produção de ovos, pode-se reduzir a carga do sistema e obter simultaneamente o melhor valor para a produtividade global, mantendo-se o faturamento atual. Os menores valores da carga ambiental (*ELR*), obtidos ainda com aumento da produtividade global em relação ao sistema integrado, podem ser obtidos interrompendo-se a produção de ovos (sem aumentar a produção de carne suína) ou eliminando a produção de milho na propriedade (Figura 22).

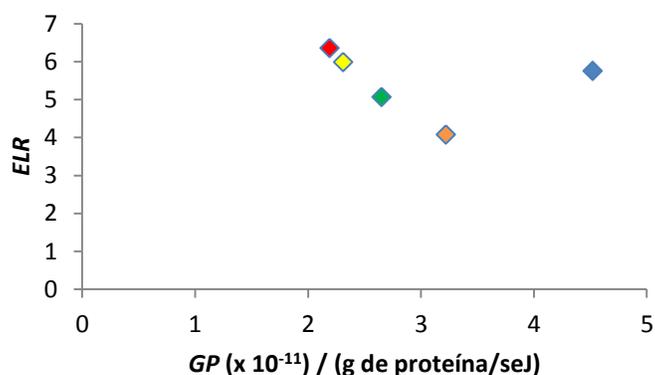


Figura 22. *ELR* x *GP* (gramas de proteína/seJ) da carne, representando os seguintes sistemas: 1. Sistema integrado (amarelo); 2. Sistema integrado sem a produção de ovos (laranja); 3. Sistema integrado sem a produção de milho (verde); 4. Sistema integrado sem o adubo orgânico (vermelho); 5. Sistema integrado sem a produção de ovos com manutenção da receita total original (azul)

Os resultados obtidos quando se confronta o Índice de Sustentabilidade Ambiental (*ESI*) com as possibilidades de produtividade global são semelhantes aos obtidos quando se avalia a carga ambiental (*ELR*), já que o *EYR* não apresenta variação significativa entre as opções estudadas. Entretanto, cabe observar que o sistema integrado, além de ser o que apresenta um dos menores valores de *ESI*, superando apenas o do sistema que não utiliza os resíduos, é o que apresenta menor produtividade global (Figuras 23 e 24).

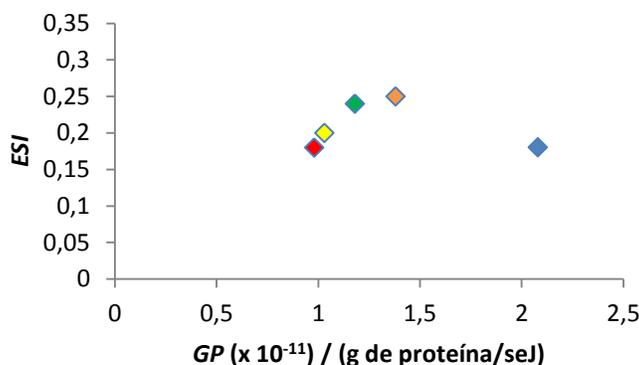


Figura 23. *ESI* x *GP* (gramas de proteína/seJ) dos ovos, representando os seguintes sistemas: 1. Sistema integrado (amarelo); 2. Sistema integrado sem a produção de carne (laranja); 3. Sistema integrado sem a produção de milho (verde); 4. Sistema integrado sem o adubo orgânico (vermelho); 5. Sistema integrado sem a produção de carne com manutenção da receita total original (azul)

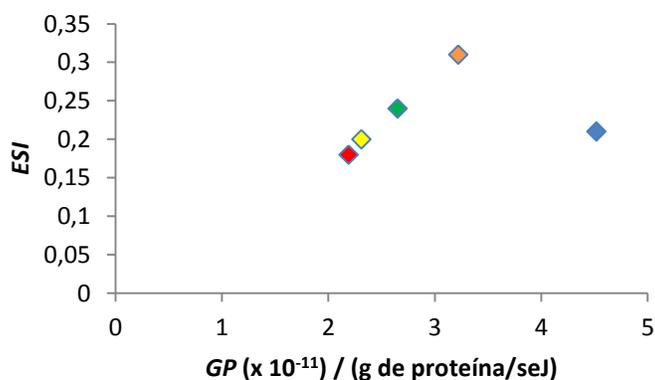


Figura 24. *ESI* x *GP* (gramas de proteína/seJ) da carne, representando os seguintes sistemas: 1. Sistema integrado (amarelo); 2. Sistema integrado sem a produção de ovos (laranja); 3. Sistema integrado sem a produção de milho (verde); 4. Sistema integrado sem o adubo orgânico (vermelho); 5. Sistema integrado sem a produção de ovos com manutenção da receita total original (azul)

A representação dos sistemas no diagrama ternário em energia permite combinar a avaliação dos três indicadores (*EYR*, *ELR* e *ESI*), simultaneamente. A configuração com maior indicador de sustentabilidade (*ESI*) e menor carga ambiental (*ELR*) se confirma como aquela em que não há produção de ovos. A representação no diagrama ternário permite, também, diferenciar as opções com relação aos índices de rendimento em energia (Figura 25). A localização dos pontos que representam os sistemas no segmento RF confirma que a contribuição dos recursos não renováveis, para todos eles, é desprezível.

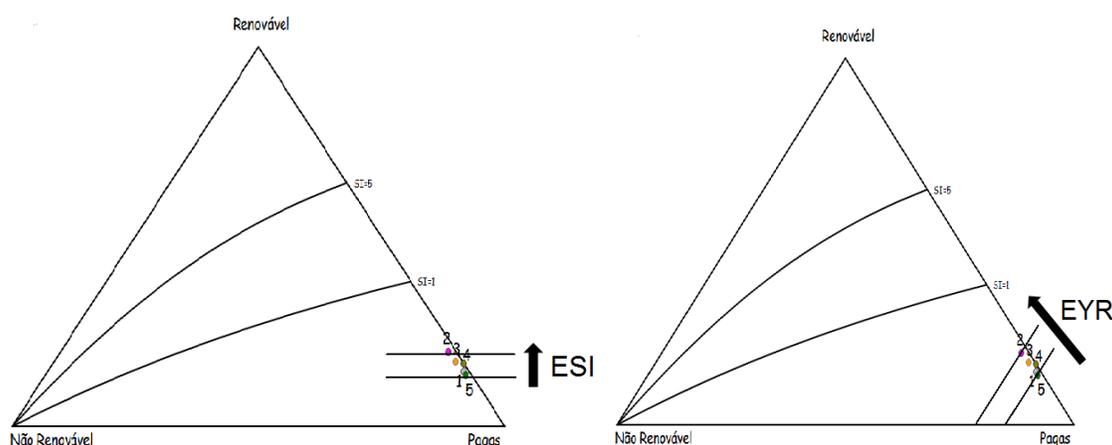


Figura 25. Diagramas ternários: 1. Agronegócio da Fazenda Braghini (integrado); 2. Agronegócio da Fazenda Braghini (sem a produção de ovos); 3. Agronegócio da Fazenda Braghini (sem a produção de carne); 4. Agronegócio da Fazenda Braghini (sem a produção de milho); 5. Agronegócio da Fazenda Braghini (produção de milho sem o uso do adubo orgânico)

Adicionalmente, o diagrama ternário é uma ferramenta cujo emprego permite comparar e confrontar os resultados obtidos com outros da literatura. Na Figura 26, se observa os resultados obtidos neste trabalho (esquerda) e os resultados de outros agrossistemas estudados por outros autores (direita). Fica claro que o agronegócio da fazenda Braghini apresenta um desempenho ambiental semelhante a todos os sistemas estudados por outros autores. Os pontos que representam o sistema integrado e todas as variações simuladas encontram-se na mesma região do diagrama que é ocupada por outros sistemas agrícolas, o que corrobora que estes resultados estão em acordo com os encontrados na literatura. Isto se deve ao fato de que, independentemente do produto, os agronegócios empregam o mesmo tipo de *inputs* com algumas variações em qualidade e quantidade. Entretanto, estas variações são insuficientes para localizar os sistemas em outras regiões do diagrama.

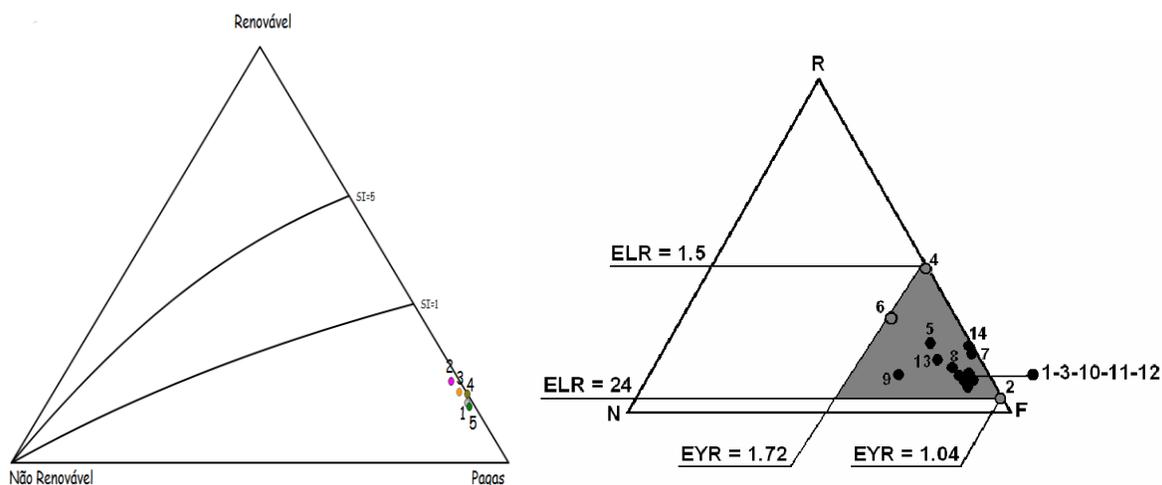


Figura 26. Diagrama ternário representando o desempenho em energia de vários sistemas de produção agrícola publicado por Brandt-Williams (2002): batata (1), tomate (2), melancia (3), soja (4), cana de açúcar (5), aveia (6), laranja (7), repolho (8), milho doce (9), pepino (10), feijão verde (11), alface (12), amendoim (13) e nozes (14)

Este resultado também sugere que há um limite (que depende mais da natureza dos sistemas que da quantidade ou qualidade de melhorias que se faça) para aumentar a sustentabilidade destes sistemas, principalmente, se há necessidade de grande quantidade de saída (seja para atender à demanda, seja para satisfazer a receita do produtor).

5.9 Análise de decomposição para o ano-base de 2010

As diferenças entre os sistemas foram avaliadas para o ano de 2010, com a decomposição do total de energia para compreender os principais fatores que contribuem para sua operação (Figura 27). Empregando a Análise Avançada de Sustentabilidade (LUUKKANEN e MALASKA, 2001) descrita na metodologia, a equação 10 permite efetuar a decomposição da energia total U para cada sistema (GHISELLINI *et al.*, 2013). Os sistemas em que há redução de receita não foram considerados.

O sistema de produção mais adequado, para o produtor e o meio ambiente, seria aquele que apresentasse maior rendimento, menor investimento, maior capacidade de carga, maior disponibilidade de área para emprego de mão de obra e menor quantidade de horas trabalhadas para obtenção de uma unidade de receita. A opção de interromper a produção interna de milho oferece maior rendimento, menor investimento em energia e menor uso de mão de obra por unidade de receita. A produção de ovos é somente vantajosa do ponto de vista social, no sentido em que emprega mais mão de obra que os outros sistemas. A não utilização de esterco não é vantajosa em nenhum dos casos. Desta análise parcial, para o ano de 2010, o

sistema sem milho e o sistema 1,89 suínos seriam os mais vantajosos. Estes resultados contradizem a ideia de que a integração dos sistemas, *per se*, é sempre benéfica. Entretanto, cabe observar que as diferenças encontradas devem-se, principalmente, às variações nas entradas de milho nos sistemas, ou seja, se o milho é produzido internamente ou se é comprado de terceiros.

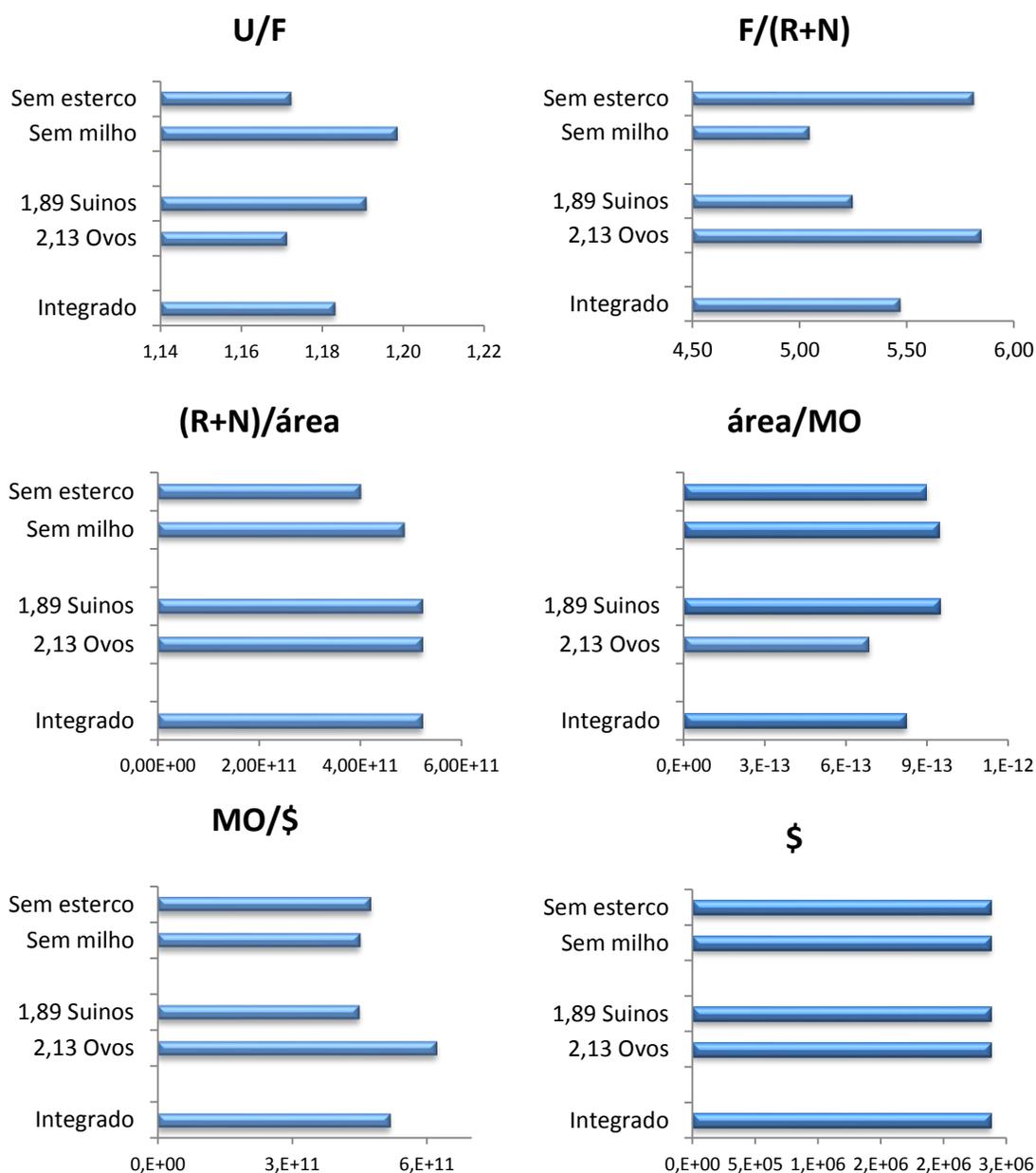


Figura 27. Decomposição dos cinco sistemas estudados para o ano de 2010, de acordo com a equação: $U = (U/F) \times F/(R+N) \times (R+N)/\text{área} \times \text{área}/\text{MO} \times \text{MO}/\$ \times \$$, onde (U/F) é a razão de rendimento em energia (EYR); F/(R + N) é a razão de investimento em energia (EIR); (R + N)/área é densidade de *empower* local, EDL, área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (hectares/empregado); MO/\$ é o tempo de trabalho investido para produção de uma unidade de produto econômico e \$ é o valor bruto de produção (receita)

Para dar suporte a esta observação, efetuou-se uma análise de sensibilidade para determinar a influência do valor da *UEV* do milho comprado nos resultados (Apêndice I). Após avaliar os valores da literatura, optou-se por empregar neste trabalho um valor intermediário de um sistema brasileiro, com características semelhantes ao do agronegócio estudado. Este valor é similar ao publicado por Brandt-Willians (2002) e 16% menor que o publicado por Odum (1996).

5.10 Análise de decomposição para o período de 2010 a 2050

A Análise Avançada de Sustentabilidade (LUUKKANEN e MALASKA, 2001) permite avaliar as mudanças na emergência total e na sustentabilidade dos sistemas ao longo do tempo. Por meio da variação dos fatores considerados pode-se avaliar um determinado período de tempo com dados de séries temporais e estabelecer tendências. Por outro lado, pode-se também impor ou sugerir mudanças em alguns fatores de acordo com dados retirados de fontes externas. Tomando-se como base o ano de 2010, a potencial mudança na emergência total dos sistemas até o ano de 2050 foi avaliada com base nas possíveis mudanças de três fatores: diminuição na quantidade de chuvas, queda na produtividade de milho e aumento de receita ocasionado pela inflação.

Os três fatores são considerados em conjunto, já que com as mudanças climáticas haveria redução da contribuição de chuva aos sistemas. Esta diminuição está associada à menor retenção de água no solo devido ao aumento da temperatura (Assad e Pinto, 2008 e Assad, 2008). Como consequência, a literatura aponta a queda de produtividade da produção de milho no Estado, o que levaria a um aumento no uso de milho comprado. O aumento da inflação ocorre paralelamente e está baseado nas previsões do governo brasileiro para o período. As planilhas com os cálculos detalhados das análises de decomposição podem ser encontradas nos Apêndices J.1 a J.10.

5.10.1 Análise de decomposição considerando a emergência total

A Figura 28 mostra a previsão para a variação dos fatores que compõem a emergência total do sistema integrado para o período de 2010-2050 (Apêndices J.1 e J.2), considerando-se as mudanças impostas e utilizando a equação 10, adaptada de Ghisellini *et al.*, 2013. Os resultados obtidos para os outros sistemas encontram-se nos Apêndices J.3 a J.10. Observa-se que a variação para o total de emergência no período seria menor que 5%. O aumento da receita

previsto pelo aumento da inflação resulta em uma diminuição no valor da contribuição da mão de obra por unidade de receita. Este resultado pode ser interpretado como uma perda da importância do valor do trabalho para a produção ou como um aumento da dependência da receita em fatores externos, como a inflação do País. Como esperado, o decréscimo imposto à oferta de recursos renováveis diminui a capacidade de carga do sistema, com consequente aumento no investimento em energia.

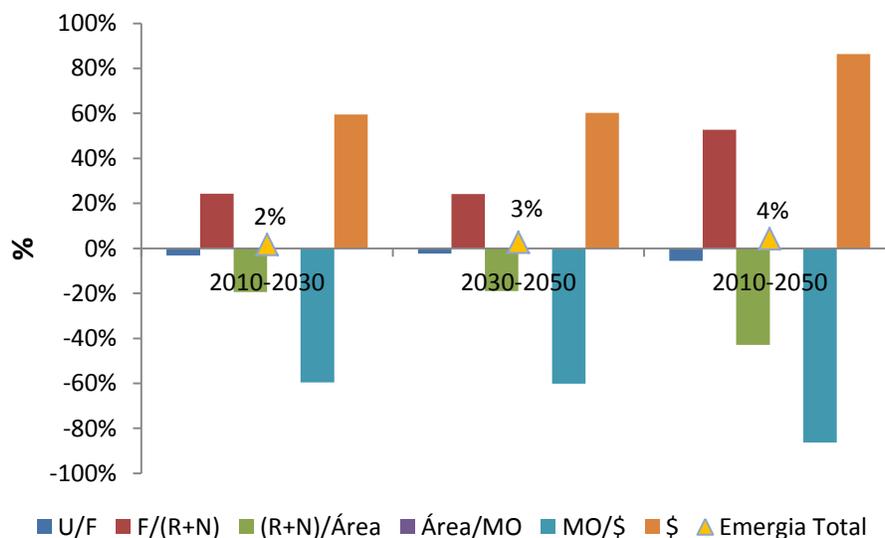


Figura 28. Variação dos fatores que compõem a energia total do sistema integrado para o período de 2010-2050, onde (U/F) é a razão de rendimento em energia (EYR); F/(R + N) é a razão de investimento em energia (EIR); (R + N)/área é densidade de *empower* local, EDL, área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (hectares/empregado); MO/\$ é o tempo de trabalho investido para produção de uma unidade de produto econômico e \$ é o valor bruto de produção (receita)

Observando-se as mudanças, ao longo dos anos, nota-se que a diminuição no valor da contribuição da mão de obra por unidade de receita responde diretamente ao aumento de receita imposto pela taxa de inflação considerada (Figura 29) e que a redução na oferta de recursos renováveis aplicada para o período se compensa pelo aumento do investimento em energia requerido para a operação do sistema, o que resulta em um rendimento praticamente constante (Figura 30).

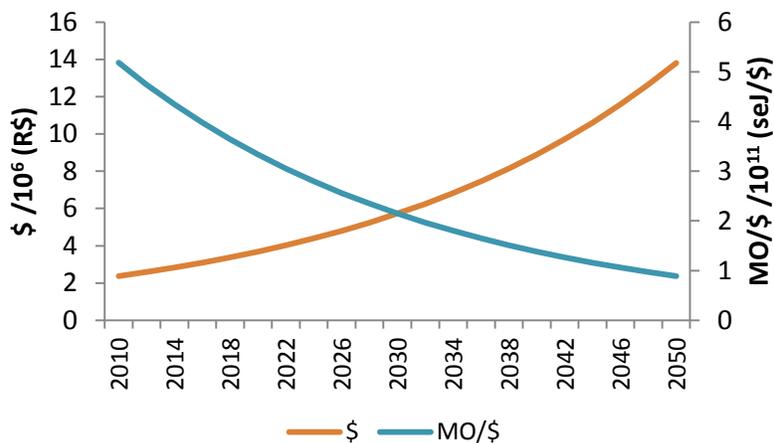


Figura 29. Mudanças ao longo dos anos para \$ e MO/\$, onde \$ é o valor bruto de produção (receita) e MO/\$ é o tempo de trabalho investido para produção de uma unidade de produto econômico

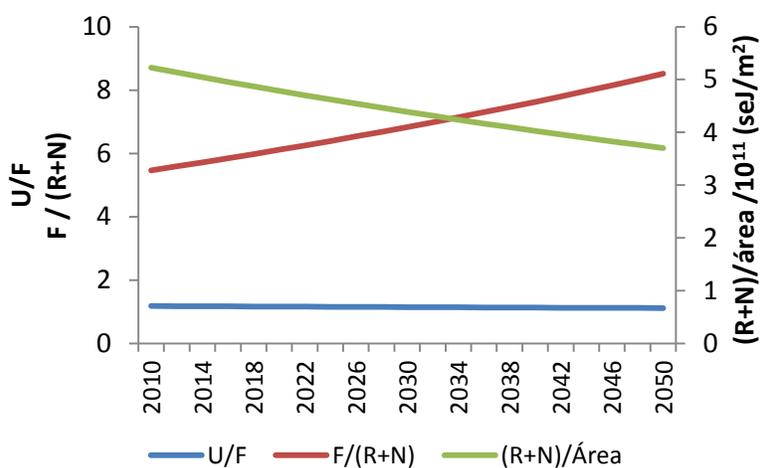


Figura 30. Mudanças ao longo dos anos para U/F, F/(R+N) e (R+N)/Área, onde (U/F) é a razão de rendimento em energia (EYR); F/(R + N) é a razão de investimento em energia (EIR); (R + N)/área é densidade de *empower* local (EDL)

A variação percentual de todos os fatores para o sistema integrado nos períodos de 2010-2030 e 2010-2050 é mostrada na Tabela 14.

Tabela 14. Variação percentual de todos os fatores para o sistema integrado nos períodos de 2010-2030, 2030-2050 e 2010-2050.

Fatores de contribuição	2010-2030	2030-2050	2010-2050
U/F	-3%	-2%	-6%
F/(R+N)	24%	24%	53%
(R+N)/Área	-19%	-19%	-43%
Área/MO	0%	0%	0%
MO/\$	-60%	-60%	-86%
\$	60%	60%	86%

* U/F é a razão de rendimento em emergia (*EYR*); F/(R + N) é a razão de investimento em emergia (*EIR*); (R + N)/área é densidade de empower local, *EDL*, área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (hectares/empregado); MO/\$ é o tempo de trabalho investido para produção de uma unidade de produto econômico, e \$ é o valor bruto de produção (receita).

Por meio da análise de decomposição é possível comparar a variação de cada fator de contribuição para a emergia total, ano a ano, de acordo com a configuração de cada sistema (Figuras 31 a 37).

A Figura 31 mostra a variação dos fatores para os sistemas estudados (com exceção daqueles em que há perda de receita) no período de 2010 a 2050. A variação absoluta de todos os fatores para todos os sistemas é semelhante. O aumento no fator de contribuição relativo ao investimento em emergia é menor para o sistema 2,13 ovos e a mudança absoluta no fator MO/\$ é menor para o sistema integrado sem milho. Verifica-se também redução da capacidade de carga em todos os sistemas. Há redução menos pronunciada do rendimento em emergia. O aumento de *EIR* e a redução da capacidade de carga dão uma indicação de o quanto os sistemas deverão contar com recursos externos para a manutenção de suas atividades. A redução de MO/\$ fornece informação sobre a redução do valor da mão de obra em relação à receita, que em 40 anos, cai em torno de 80% (Apêndices J.1 a J.10).

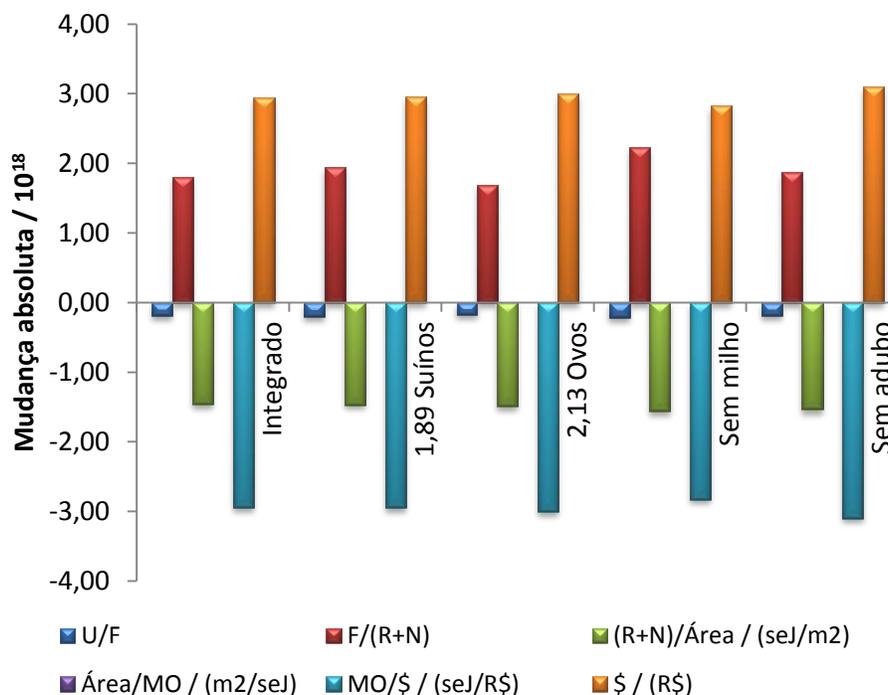


Figura 31. Variação dos fatores para os sistemas estudados (com exceção daqueles em que há perda de receita) no período de 2010 a 2050, onde (U/F) é a razão de rendimento em energia (EYR); F/(R + N) é a razão de investimento em energia (EIR); (R + N)/área é densidade de *empower* local, EDL, área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (hectares/empregado); MO/\$ é o tempo de trabalho investido para produção de uma unidade de produto econômico e \$ é o valor bruto de produção (receita)

Quando se compara a variação da energia total (Figura 32, direita), se observa que o sistema menos afetado pelas mudanças impostas é o de produção de ovos, entretanto, o sistema sem a produção interna de milho é o que apresenta menor uso de recursos (Figura 32, esquerda). A maior variação na energia total deste sistema ao longo dos 40 anos considerados indica que, possivelmente, num intervalo de tempo maior esta condição não se mantenha (Figura 32, esquerda).

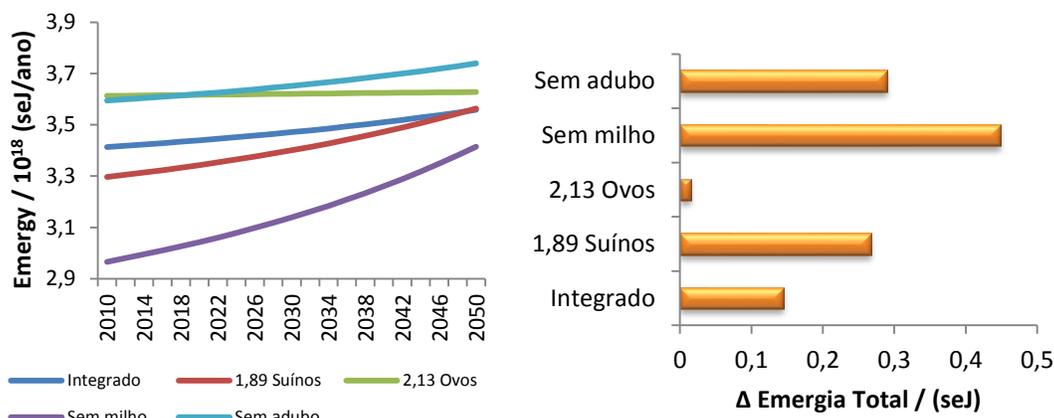


Figura 32. À esquerda, a variação da energia total ao longo do período considerado; à direita o delta de energia entre 2010 e 2050. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta (Δ Energia Total) no período e estão divididos por 10^{18}

O sistema sem emprego de produção de milho é o mais afetado pelas mudanças impostas quando se trata da perda de rendimento, aumento de investimento e perda de capacidade de carga (Figuras 33 a 35). Além disso, é o que teria a relação MO/\$ mais desfavorável em 2050 (Figura 36) e o que menos obteve ganho relativo de receita (Figura 37). A produção de 1,89 suínos aparece como segundo cenário mais influenciado negativamente pela variação dos fatores *EYR* (Figura 33), *EIR* (Figura 34), MO/receita (Figura 36) e receita (Figura 37). A comparação entre os outros sistemas não é conclusiva, por exemplo, a produção de 2,13 ovos é a que menos perde em rendimento (Figura 33), mas a produção de 1,89 suínos é a que menos apresenta redução na capacidade de carga (Figura 35). Já a produção integrada sem a utilização de adubo orgânico é a que teria maior variação nos fatores de contribuição MO/receita e receita (Figuras 36 e 37). Estas considerações podem ser observadas tanto nos deltas mostrados nas Figuras 33 a 37 (direita), como nas inclinações das curvas mostradas nas mesmas Figuras à esquerda. Como informação adicional das curvas à esquerda, pode-se verificar que tanto quando se trata do *EYR*, como do *EIR* o sistema integrado sem a produção de milho é o que apresenta maior rendimento e menor investimento até aproximadamente o ano de 2034, porém, devido à inclinação mais acentuada destas curvas em relação às dos outros sistemas, em 2050, este seria o sistema com menor rendimento e, conseqüentemente, o que requereria maior investimento em energia.

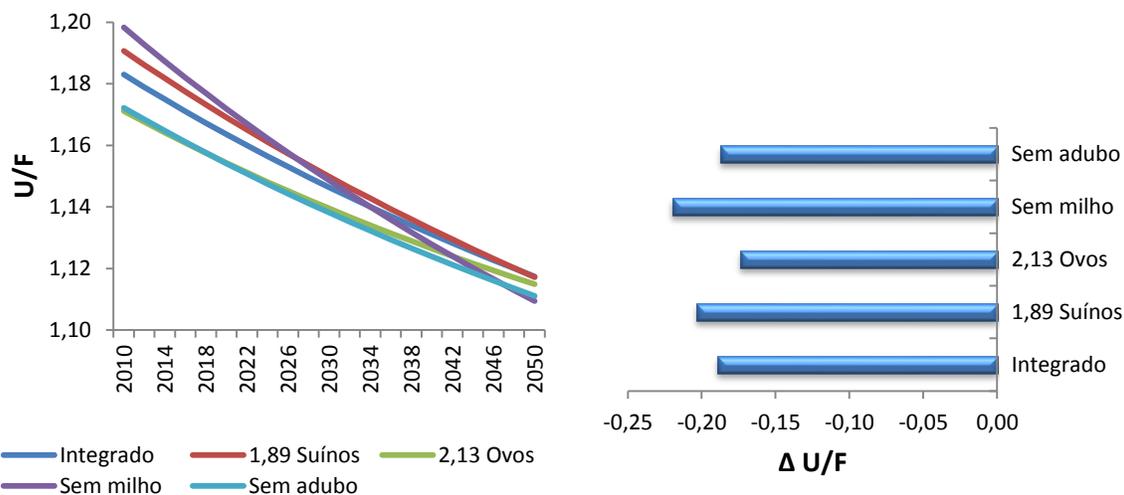


Figura 33. Variação da parcela U/F (EYR) de 2010 a 2050, onde (U/F) é a razão de rendimento em energia (EYR). Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta ($\Delta U/F$) no período e estão divididos por 10^{18} (à direita)

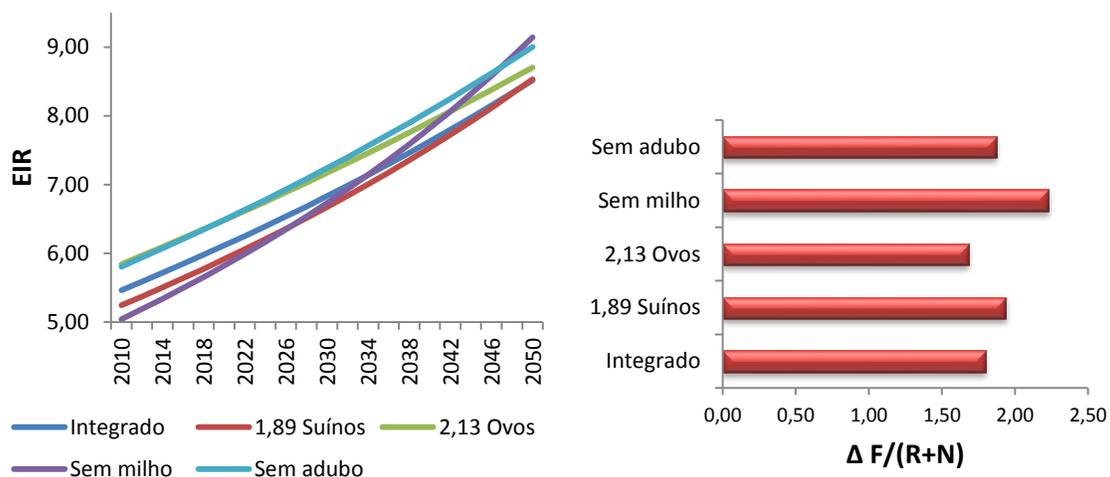


Figura 34. Variação da parcela EIR de 2010 a 2050, onde $F/(R + N)$ é a razão de investimento em energia (EIR). Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta ($\Delta F/(R+N)$) no período e estão divididos por 10^{18} (à direita)

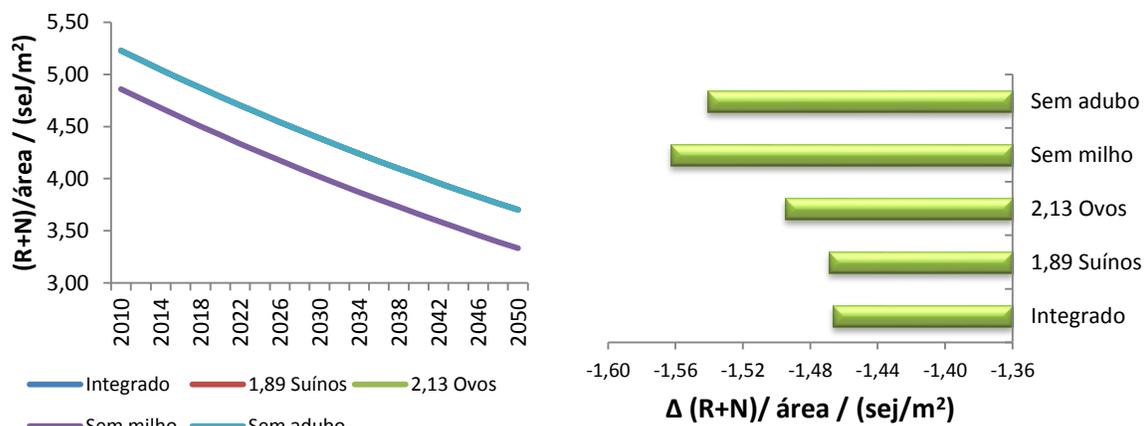


Figura 35. Variação da capacidade de carga local de 2010 a 2050, onde $(R + N)/\text{área}$ é densidade de *empower* local, EDL. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta $(\Delta(R+N)/\text{área})$ no período e estão divididos por 10^{18} (à direita). As curvas dos sistemas integrado, 1,89 suínos, 2,13 ovos e sem adubo estão sobrepostas (à esquerda)

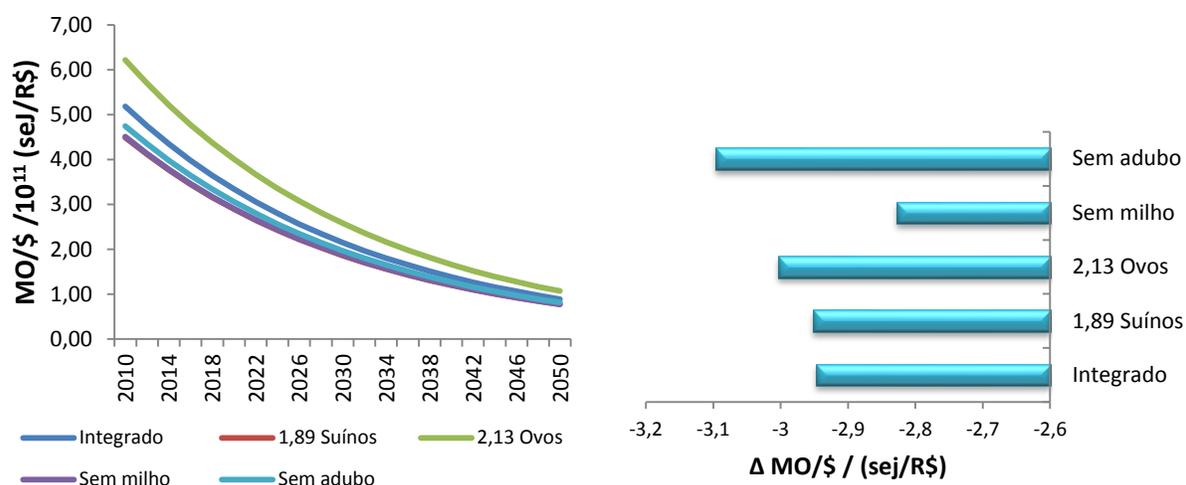


Figura 36. Variação da razão entre a emergia da mão de obra e a receita, de 2010 a 2050, onde $MO/\$$ é o tempo de trabalho investido para produção de uma unidade de produto econômico. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta $(\Delta MO/\$)$ no período e estão divididos por 10^{18} (à direita). As curvas dos sistemas 1,89 suínos e sem milho estão sobrepostas (à esquerda)

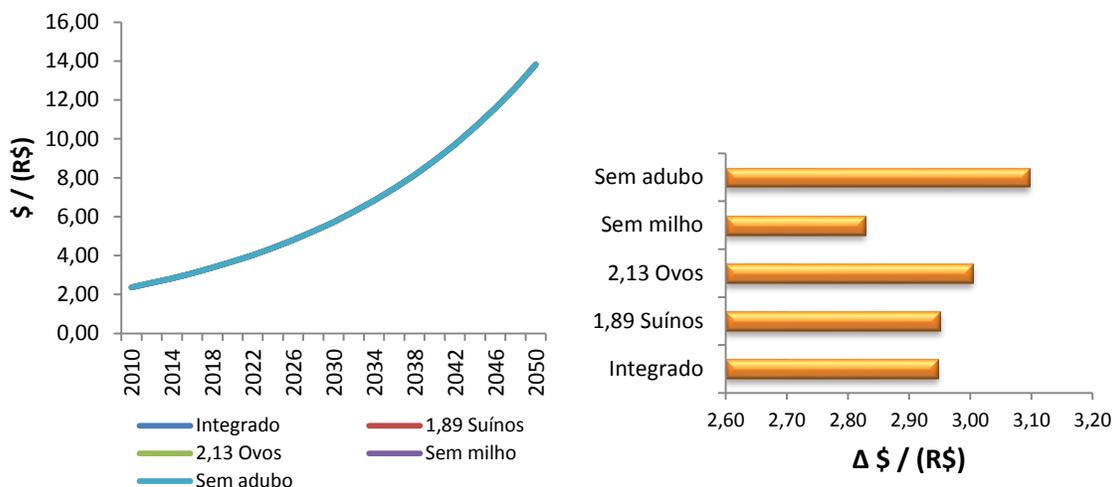


Figura 37. Variação da receita de 2010 a 2050, onde \$ é o valor bruto de produção (receita). Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta (Δ \$) no período e estão divididos por 10^{18} (à direita). As curvas de todos os sistemas estão sobrepostas, pois todos sofreram a mesma variação de receita no período (à esquerda)

O aumento do total de energia ao longo dos anos indica o quanto cada sistema deve retirar a mais do ambiente e da economia para continuar operando com a mesma receita (corrigida a inflação) e em face de uma possível redução do aproveitamento dos recursos gratuitos locais. Entretanto, a variação total da energia não fornece informação sobre a qualidade dos recursos empregados. Os resultados indicam que tomadas de decisão fundamentadas apenas em análises pontuais, sem que os sistemas sejam observados por um intervalo de tempo, podem levar a conclusões equivocadas. Observa-se que no ano de 2010, o sistema integrado sem a produção de milho interna é o que apresenta maior rendimento (Figura 33). Todavia, entre todos os sistemas, consideradas as mudanças impostas, este é o que sofreria maior redução de *EYR* ao longo dos anos. Quando se trata do investimento em energia (Figura 34), também o sistema integrado sem produção de milho é o que necessitará de maior acréscimo de investimento ao longo dos anos. Este acréscimo será proveniente de fontes da economia, já que a capacidade de carga se reduz. O sistema de produção isolada de suínos se mantém como aquele com menor investimento e o de maior rendimento a partir de 2034.

5.10.2 Análise de decomposição considerando a sustentabilidade ambiental dos sistemas

A avaliação da decomposição da energia total dos sistemas auxilia no entendimento de como os fatores que compõem a energia total podem influenciar no desempenho do sistema

no futuro, entretanto, estes resultados não permitem avaliar ou comparar estes sistemas no que concerne a sua sustentabilidade.

Para esta avaliação empregou-se a equação 11, que decompõe o indicador de sustentabilidade $ESI^* \times GP$ considerando os componentes MO/F, Área/MO, R/Área, UF/\$ e \$/U descritos na metodologia. Foram empregadas as mesmas mudanças consideradas na análise da decomposição da energia total.

A Figura 38 mostra a análise de decomposição do indicador $ESI^* \times GP$ para o sistema integrado (Apêndices J.1 e J.2). Os resultados obtidos para os outros sistemas encontram-se nos Apêndices J.3 a J.10.

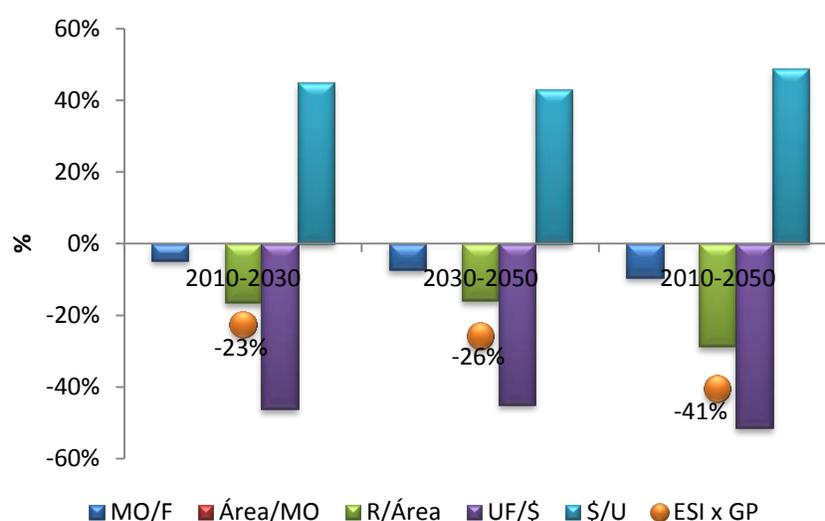


Figura 38. Decomposição do sistema integrado entre 2010 e 2050, de acordo com a equação: $ESI^* \times GP = MO/F \times \text{Área}/MO \times R/\text{Área} \times UF/\$ \times \$/U$, onde: MO/F é a contribuição da energia da mão de obra em relação à energia importada; Área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (ha/funcionário); R/Área é a capacidade de caga renovável; UF/\$ representa o preço unitário de cada grama de proteína; \$/U é a razão entre a receita financeira bruta e a energia total do sistema

A variação percentual nos períodos considerados para cada fator de contribuição é mostrada na Tabela 15.

Observa-se que a redução do valor do indicador de sustentabilidade no período de 2010 a 2050 é de aproximadamente 40% (Figura 38). O aumento da receita previsto pelo aumento da inflação resulta em decréscimo no valor da contribuição da UF por unidade de F, o que sugere que no futuro, a obtenção de um grama de proteína pode vir a ser aproximadamente 50% mais custosa. Um decréscimo também pode ser observado para o componente MO/F em menor

proporção. O aumento da variação do componente $\$/U$ sugere que haveria um distanciamento entre o preço do produto e o seu valor real (medido em emergia que considera os recursos da natureza).

Tabela 15. Variação percentual nos períodos considerados para cada fator de contribuição.

Fatores de contribuição	2010-2030	2030-2050	2010-2050
MO/F	-5%	-7%	-9%
Área/MO	0%	0%	0%
R/Área	-17%	-16%	-29%
UF/\$	-46%	-45%	-51%
\$/U	45%	43%	49%

* MO/F é a contribuição da emergia da mão de obra em relação à emergia importada; Área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (ha/funcionário); R/Área é a capacidade de caga renovável; UF/\$ representa o preço unitário de cada grama de proteína; $\$/U$ é a razão entre a receita financeira bruta e a emergia total do sistema.

A Figura 39 mostra a variação dos fatores para os sistemas estudados no período de 2010-2050. Os componentes que mais variam em função das mudanças impostas são as razões UF/\$ e $\$/U$. Os resultados evidenciam que, neste caso, a situação econômica do País pode afetar mais os fatores de contribuição do que as mudanças climáticas e que o sistema de produção de ovos é o que apresenta menor variação em todos os componentes.

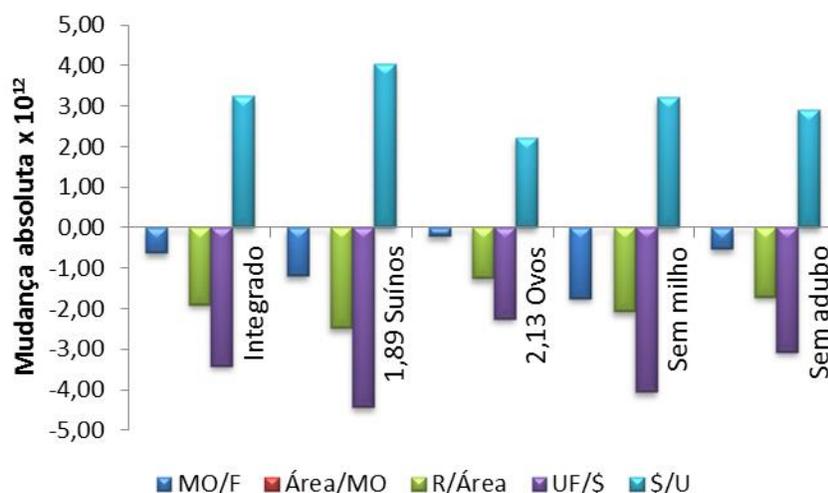


Figura 39. Decomposição dos sistemas estudados entre 2010 e 2050, de acordo com a equação: $ES^* \times GP = MO/F \times \text{Área}/MO \times R/\text{Área} \times UF/\$ \times \$/U$, onde: MO/F é a contribuição da emergia da mão de obra em relação à emergia importada; Área/MO descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (ha/funcionário); R/Área é a capacidade de caga renovável; UF/\$ representa o preço unitário de cada grama de proteína e $\$/U$ é a razão entre a receita financeira bruta e a emergia total do sistema

De fato, quando se compara a variação do indicador $ESI^* \times GP$ entre os sistemas (Figura 40), o sistema de produção de ovos se confirma como aquele com menor variação no valor de $ESI^* \times GP$ nos 40 anos considerados. Entretanto, é o que possui os menores valores para $ESI^* \times GP$ ao longo de todo o período avaliado, o que indica que este sistema é mais robusto que os outros, apesar de apresentar o menor valor para o indicador de sustentabilidade. A alternativa em que não há a produção interna de milho é a mais desfavorável, pois apresenta a maior diminuição do $ESI^* \times GP$ no período, seguida pela opção de produzir somente carne suína. O decréscimo observado no valor do indicador $ESI^* \times GP$ entre 2010 e 2050, permite estimar que todos os sistemas terão diminuição da sustentabilidade e da eficiência ambiental.

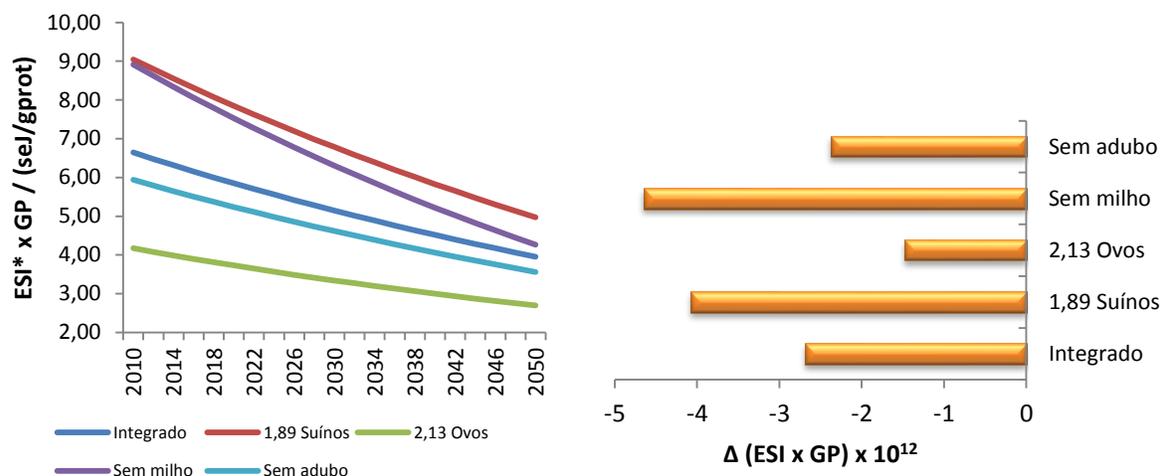


Figura 40. À esquerda, a variação de $ESI^* \times GP$ ao longo do período considerado, à direita, o delta previsto para 2050. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta ($\Delta ESI^* \times GP$) no período e estão multiplicados por 10^{12} (à direita).

A dependência dos sistemas de cada um dos componentes considerados é mostrada nas Figuras 41 a 44. Os sistemas 1,89 suínos e sem produção de milho são, em geral, os mais influenciados pelas mudanças impostas. Em relação ao sistema integrado, os resultados não apontam diferença significativa entre a opção de usar ou não o adubo orgânico. Comparando-se os sistemas 1,89 suínos e 2,13 ovos em relação ao integrado, observa-se que a produção de suínos é mais afetada por todos os fatores. Já a produção de ovos sofre menor influência de mudanças em todas as relações. O sistema integrado encontra-se em situação intermediária, o que contradiz a ideia de que este sistema seria o mais sustentável (CAVALETT *et al.*, 2006).

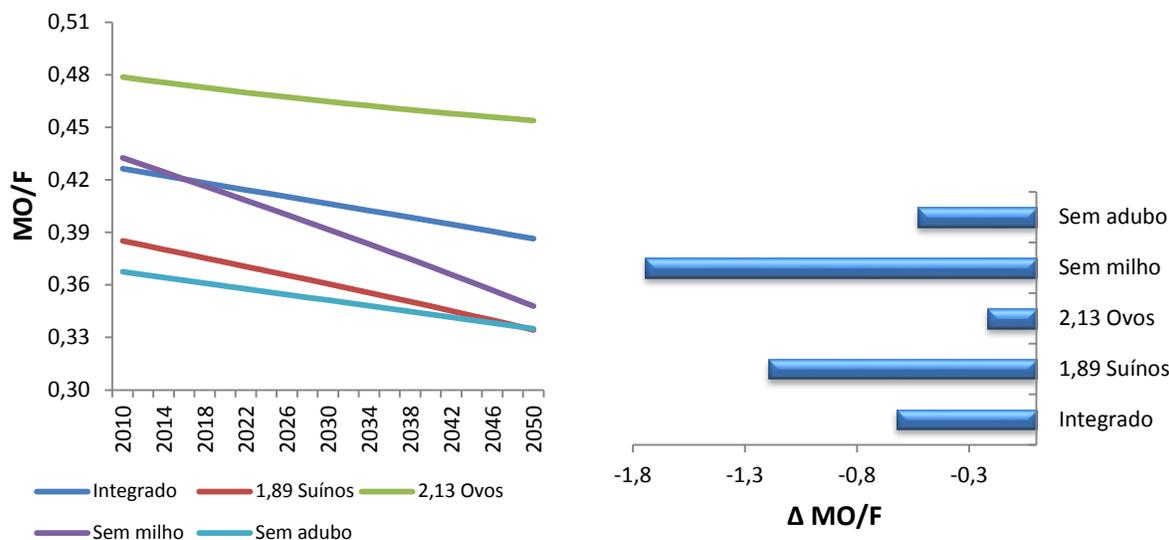


Figura 41. Variação da parcela MO/F de 2010 a 2050, onde: MO/F é a contribuição da energia da mão de obra em relação à energia importada. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta (Δ MO/F) no período e estão multiplicados por 10^{12} (à direita)

Se observa na Figura 41 que o sistema 2,13 ovos é o que sofreria menor variação na relação MO/F. O sistema sem produção de milho é o que teria maior variação absoluta deste fator de contribuição, seguido pelo sistema que se dedica, principalmente, à produção de carne (1,89 suínos).

Na Figura 42 (esquerda), se verifica que todos os sistemas possuem o mesmo comportamento para o fator R/área, pois este sofreu a mesma alteração em todos os cenários. Novamente o sistema 2,13 ovos é o menos influenciado pelas mudanças aplicadas no período. O sistema de produção 1,89 suínos é o que possui a maior variação absoluta deste fator de contribuição, seguido pelo sistema integrado sem a produção de milho.

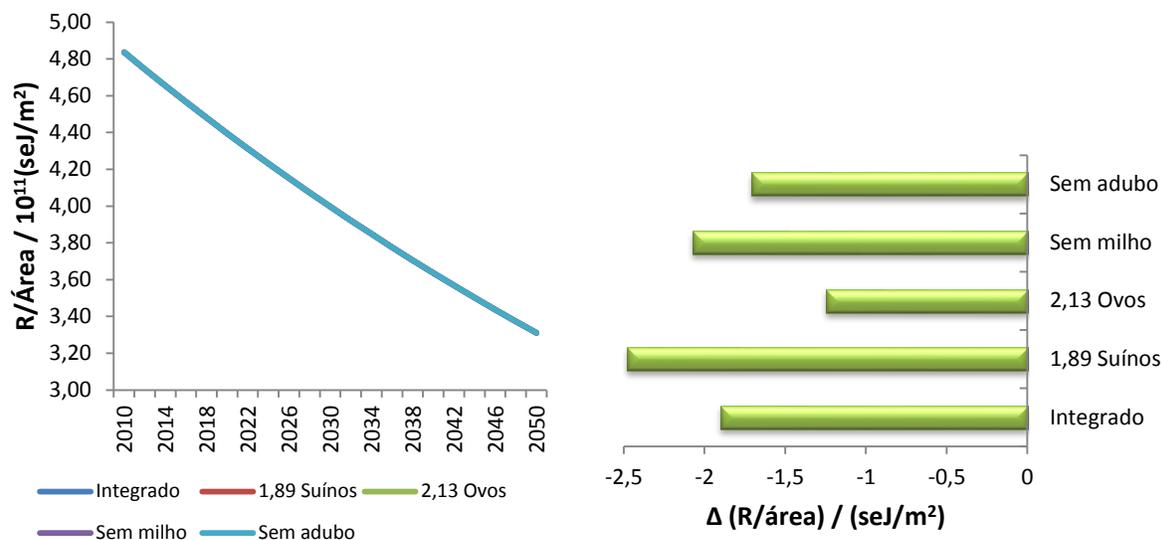


Figura 42. Variação da parcela R/área de 2010 a 2050, onde R/Área é a capacidade de caga renovável. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta (Δ R/área) no período e estão multiplicados por 10^{12} (à direita). Todas as curvas estão sobrepostas, pois os sistemas têm a mesma área e sofreram as mesmas variações de R no período (à esquerda)

Os sistemas integrado, sem milho e sem adubo orgânico entregam a mesma quantidade de gramas de proteína à sociedade e têm a mesma receita, ocasionando um mesmo comportamento na variação do fator de contribuição UF/\$ ao longo do tempo (Figura 43, esquerda). Se verifica que estes sistemas possuem uma curva intermediária na variação deste fator de contribuição, ficando abaixo da curva referente ao sistema 1,89 suínos e acima de 2,13 ovos. Novamente é possível observar que as variações absolutas foram maiores nos sistemas 1,89 suínos e sem milho e menores no sistema 2,13 ovos (Figura 43, direita).

A Figura 44 mostra que o fator de contribuição \$/U varia ao longo do tempo de forma similar para todos os cinco cenários avaliados. As variações absolutas, observadas no gráfico à direita, permitem afirmar que novamente o sistema que mais sofre alterações com as simulações é o 1,89 suínos e o mais robusto é o 2,13 ovos.

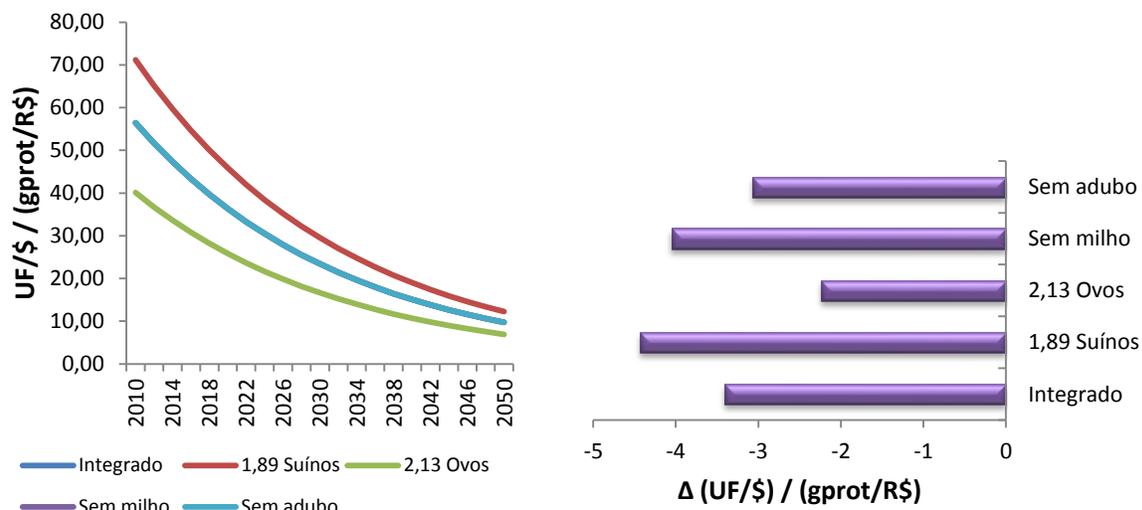


Figura 43. Variação da parcela UF/\$ de 2010 a 2050, onde UF/\$ representa o preço unitário de cada grama de proteína. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta (Δ \$/U) no período e estão multiplicados por 10^{12} (à direita). As curvas integrado, sem milho e sem adubo orgânico estão sobrepostas, pois produzem a mesma quantidade de proteína (à esquerda)

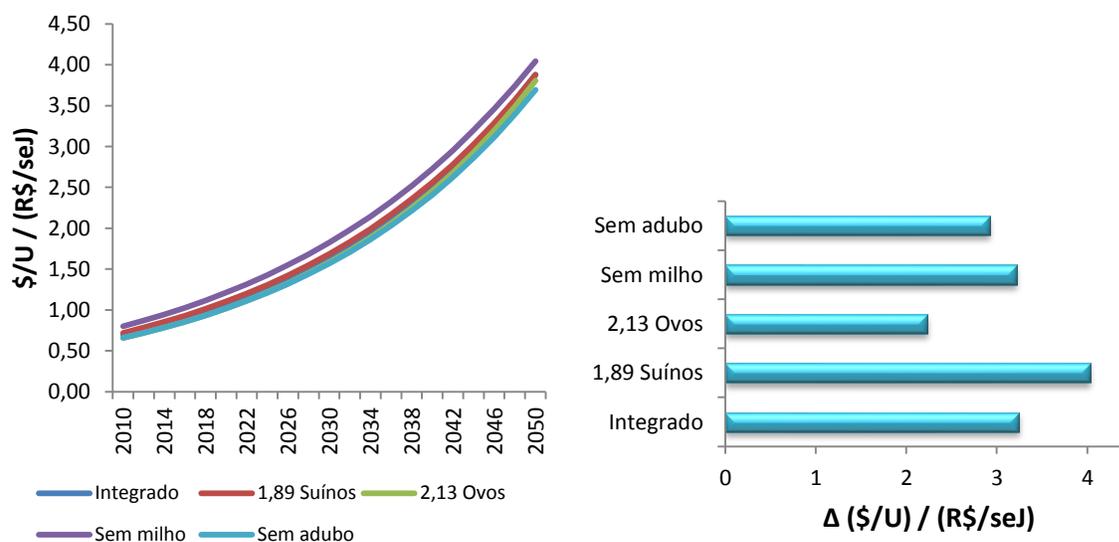


Figura 44. Variação da parcela \$/U de 2010 a 2050, onde \$/U é a razão entre a receita financeira bruta e a energia total do sistema. Os valores do eixo X são relativos à mudança absoluta (Δ \$/U) no período e estão multiplicados por 10^{12} (à direita)

Os resultados obtidos pela análise de decomposição, considerando a sustentabilidade ambiental dos sistemas, mostram que apesar do sistema 2,13 ovos apresentar as menores taxas de variação para todos os fatores de contribuição considerados, este sistema é o de menor valor $ESI^* \times GP$. O sistema 1,89 suínos, apesar de sofrer maior variação durante o período avaliado, se mantém com o maior valor de $ESI^* \times GP$ até 2050. Mesmo com a estabilidade observada no sistema 2,13 ovos, como observado na Figura 40, o valor de $ESI^* \times GP$ do sistema 1,89 suínos ainda será 84% maior que o do sistema 2,13 ovos em 2050.

A Tabela 16 resume os resultados obtidos por meio dos indicadores avaliados neste trabalho para os cinco sistemas com manutenção de receita.

Tabela 16. Comparação dos resultados para os cinco sistemas com manutenção de receita

Análise efetuada	Indicador	Sistema recomendado	
		Resultado em 2010	Resultado em 2050
Eficiência	GP	1,89 suínos	
Quantidade e qualidade dos recursos	Energia total	sem milho	
	EYR	sem milho	
	ELR	sem milho	
	ESI	sem milho	
	ESI x GP	1,89 suínos	
Sustentabilidade	Diagrama ternário	sem milho	
ASA	U	sem milho	
	EYR	sem milho	sem milho
Quantidade e qualidade dos recursos ao longo do tempo	EIR	1,89 suínos	Integrado
	Capacidade de carga MO/\$	Integrado	Integrado
		1,89 suínos	1,89 suínos
		2,13 ovos	2,13 ovos
Sustentabilidade ao longo do tempo	ESI* x GP	sem adubo	sem adubo
	MO/F	1,89 suínos	1,89 suínos
	UF/\$	1,89 suínos	1,89 suínos
	\$/U	sem milho	sem milho

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho avaliou-se a sustentabilidade ambiental de um agronegócio para o ano de 2010 e foi efetuada uma previsão para o ano de 2050. Para isso, foi realizada a contabilidade ambiental em energia combinada com a Análise Avançada de Sustentabilidade.

Com o emprego da contabilidade ambiental em energia para o ano de 2010 foram estudados sete cenários em que determinados subsistemas eram retirados. Dos resultados desta primeira avaliação, desconsiderando-se os sistemas em que haveria redução de receita, pôde-se concluir que:

- Os valores de produtividade global de todos os produtos do sistema integrado existente são menores do que os encontrados na literatura, o que sugere que o sistema de produção em operação na fazenda é eficiente.
- Na comparação entre os sistemas considerados, o cálculo da produtividade global, que considera a energia total e a quantidade total de proteína produzida, indica que o sistema 1,89 suínos é o mais eficiente.
- No que concerne à avaliação quanto ao uso de recursos (energia total e *EYR*), o sistema que não considera a produção interna de milho é o que apresenta os melhores resultados.
- O mesmo resultado é obtido quando se considera a qualidade dos recursos (*ELR* e *ESI*).
- Somente o indicador *ESI x GP*, que combina a sustentabilidade e a eficiência, mostra que a configuração mais adequada para o agronegócio seria aquela em que a produção de ovos é interrompida.
- Comparando-se todos os sistemas avaliados verifica-se que o maior valor do indicador *ESI x GP* do sistema produtor de suínos é devido a sua maior produtividade global.
- A análise realizada por meio do diagrama ternário de energia sugere que o sistema integrado sem a produção de milho é o ambientalmente mais sustentável, pois é o que causa menor estresse ao meio ambiente (*ELR*).

Da análise em energia foi possível verificar que a eficiência ambiental dos produtos da Fazenda Braghini é maior do que as encontradas na literatura, pois as transformidades ou energias por unidade foram menores do que as pesquisadas, o que corrobora as conclusões de Cavalett *et al.* (2006), e inicialmente sugere que o sistema de produção integrado tem um melhor desempenho ambiental e, conseqüentemente, maior sustentabilidade. 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. Entretanto, quando foram retirados sistemas da configuração original (ovos ou carne) com e sem a manutenção da receita total obtida na venda dos produtos, estes sistemas apresentaram, de forma geral, uma melhoria nos indicadores de emergia determinados, o que permite concluir que o simples fato de integrar processos de produção não garante ganhos na sustentabilidade ambiental. A maior produtividade global de cada sistema pode não estar relacionada somente à integração dos processos e sim a outros fatores como, por exemplo, a qualidade do produto ou o manejo realizado pelos gestores do agronegócio. Na Fazenda Braghini um dos diferenciais no manejo é o aproveitamento dos resíduos das produções de aves e porcos como adubo orgânico na plantação de milho. Por outro lado, a produção de carne no sistema 1,89 suínos entrega maior quantidade de proteína como produto final.

A Análise Avançada de Sustentabilidade (ASA) aplicada às cinco configurações do sistema, em que a receita do agronegócio foi mantida, oferece outras perspectivas para a avaliação, pois contemplam, ao longo de um intervalo de tempo, as respostas dos sistemas (e de cada fator de contribuição) se submetidos a determinadas perturbações, que são independentes das decisões do gestor do agronegócio. Esta análise foi realizada considerando dois aspectos. O primeiro avalia a quantidade e qualidade dos recursos empregados em cada sistema e o segundo estima a sustentabilidade de cada sistema em combinação com as respectivas produtividades globais. Entre as principais observações estão:

- O sistema integrado sem produção de milho é o que durante todo o período apresenta um menor valor de emergia total.
- Entretanto, o sistema integrado sem produção de milho que em 2010 apresentou os melhores resultados de rendimento e investimento em emergia mostra-se mais significativamente influenciado pelas mudanças impostas. Em 2050, os sistemas que teriam o maior *EYR* e menor *EIR* seriam o integrado e o 1,89 suínos.
- No que se refere à capacidade de carga, todos os sistemas apresentam os mesmos valores no período, com exceção do sistema integrado sem produção de milho.
- Quando se efetua a Análise Avançada de Sustentabilidade, por meio da decomposição $ESI^* \times GP$, se verifica que o maior valor para este indicador é encontrado no sistema 1,89 suínos durante os 40 anos avaliados. O mesmo comportamento é verificado para o fator UF/\$.

A avaliação empregando a Análise Avançada de Sustentabilidade confirma que as avaliações em emergia para um determinado período, neste caso o ano de 2010, devem ser sempre realizadas com a ressalva de que se considera que o sistema está operando em estado estacionário. Neste caso, se considera que a disponibilidade de recursos é constante ao longo do tempo e podem-se empregar os resultados obtidos para promover melhorias na gestão e no manejo dos sistemas estudados. Entretanto, deve-se reconhecer que podem ocorrer mudanças que são independentes das decisões do gestor do agronegócio, como as alterações climáticas ou as transformações na economia do local em que o sistema está inserido. Desta forma, pode-se concluir que a avaliação da sustentabilidade acompanhada de uma avaliação dinâmica pode fornecer mais subsídios para a tomada de decisão no momento de escolher o modo produtivo a ser adotado.

7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A avaliação do agronegócio na fazenda Braghini, por meio da combinação da contabilidade ambiental em emergia combinada com a Análise Avançada de Sustentabilidade, permitiu avaliar alguns aspectos da sustentabilidade ainda não explorados na literatura e oferece oportunidades para novos estudos. Entre estes, pode-se citar:

- 1) aqueles que podem ampliar e complementar o que foi experimentado neste trabalho:
 - i) avaliar aspectos econômicos do agronegócio e sua relação com a economia regional e nacional, incluindo mais um termo na Equação 11:

$$ESI^* \times GP = MO/F \times \text{área}/MO \times R/\text{área} \times UF/Em\$ \times Em\$/\$ \times \$/U$$

- ii) explorar, com base na literatura, outros cenários associados às mudanças climáticas, já que há previsões mais otimistas e mais pessimistas do que as que foram consideradas neste trabalho.
- iii) explorar as possíveis consequências da variação na erosão do solo, que se reflete na quantidade de recursos não renováveis disponíveis para os sistemas.
- iv) explorar mais profundamente o papel da mão de obra, considerando a relação entre a mão de obra interna disponível e a contratada na região ampliando a Equação 11:

$$ESI^* \times GP = \mathbf{MOint/MOext} \times \mathbf{MOext/F} \times \text{área}/MO \times R/\text{área} \times UF/\$ \times \$/U$$

- 2) aqueles que podem ser úteis para novos trabalhos
 - i) Aplicar a contabilidade ambiental em emergia combinada com a Análise Avançada de Sustentabilidade para outros sistemas agropecuários e para sistemas industriais.

Aplicar a contabilidade ambiental em emergia combinada com a Análise Avançada de Sustentabilidade para avaliações regionais e nacionais.

8. REFERÊNCIAS

Agostinho, F., 2005. Uso de análise emergética e sistema de informações geográficas no estudo de pequenas propriedades agrícolas. Dissertação – UNICAMP.

Almeida, C. M. V. B., Barrella, F. A., Giannetti, B. F., 2007. Emergetic ternary diagrams: five examples for application in environmental accounting for decision-making. *Journal of Cleaner Production*. 15, 63-74.

Altieri, M. A., 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Boulder, CO: Westview Press.

Ang, B.W., Zhang, F.Q., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*. 25, 1149-1176.

Ang, B.W., F.L. Liu and E.P. Chew., 2003. Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis. *Energy Policy*. 31, 1561-1566.

Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policy making in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*. 32, 1131-1139.

Assad, E.D., Pinto, H. S., 2008. *Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil*. Embrapa Agropecuária e Cepagri/Unicamp.

Assad, E.D., 2008. Análise de riscos climáticos para competitividade agrícola e conservação dos recursos naturais. IX Simpósio Nacional sobre o Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Brasília – DF.

Barrella, F. A., Almeida, C. M. V. B., Giannetti, B. F., 2005. Ferramenta para tomada de decisão considerando a interação dos sistemas de produção e meio ambiente. *Revista Produção*. 15, 87-101.

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

Bice, D., 2001. Using Stella models to explore the dynamics of Earth systems: experimenting with Earth's climate system using a simple computer model. *Journal of Geoscience Education*. 49, 170-181.

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

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. Energy Analysis and Environmental Accounting. *Encyclopedia of Energy*. 2, 329-354.

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

Brown, M. T.; Buranakarn, V., 2003. Emergy Indices and Ratios for Sustainable Material Cycles and Recycle Options. *Resources Conservation and Recycling*. 38, 01-22.

Buranakarn, V., 1998. *Evaluacion of Recycle and Reuse of Building Materials Using the Emergy Analysis Method*. 281 p. Thesis – University of Florida, USA.

Casler, S., Rose, A., 1998. Carbon dioxide emissions in the U.S. economy: a structural decomposition analysis. *Environmental and Resource Economics*. 11 (3-4), 349-363

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.

Cerutti, A. K., Bruun, S., Beccaro, G. L., Bounous, G., 2011. A review of studies applying environmental impact assessment methods on fruit production systems. *Journal of Environmental Management*. 92, 2277-2286.

Cialani, C., 2007. Economic growth and environmental quality, an econometric and a decomposition analysis. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 16, 568-577.

CMMAD. *Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro. Fundação Getulio Vargas. 1988.

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.

Conselho Monetário Nacional (CMN), 2002. Disponível em: www.fazenda.gov.br/audio/2010/junho/a220610b.asp. Acessado em julho/2013.

Cuadra, M., Björklund, J., 2007. Assessment of economic and ecological carrying capacity of agricultural crops in Nicarágua. *Ecological Indicators*. 7, 133-149.

Daly, H., 1990. Towards some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*. 2, 1–6.

Delgado, C., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S. & Courbois, C., 1999. *Livestock to 2020: the next food revolution*. IFPRI brief 61. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

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

Ehrlich, P. R.; Holdren, J. P., 1971. Impact of Population Growth. *Science*. 171, 1212-1217.

European Commission, 2003. Decomposition analysis of carbon dioxide-emission changes in Germany: conceptual framework and empirical results. Working Paper and Studies. Disponível em: <http://edz.bib.uni-mannheim.de/www-edz/pdf/Eurostat/03/KS-DS-03-002-EN-N-EN.pdf>. Acessado em junho/2013.

Fitzhugh, H. A., 1998. Competition between livestock and mankind for nutrients. In *Feeding the world population of more than eight billion people* (eds J. C. Waterlow, D. G. Armstrong, L. Fowden & R. Riley). New York, NY; Oxford, UK: Oxford University Press.

Firbank, L. G., Rothery, P., May, M. J., Clark, S. J., Scott, R. J., Stuart, R. C., Boffey, C. W. H., Brooks, D. R., Champion, G. T., Haughton, A. J., Hawes, C., Heard, M. S., Dewar, A. M., Perry, J. N., Squire, G. R., 2006. Effects of genetically modified herbicide-tolerant cropping systems on weed seedbanks in two years of following crops. *Biol. Lett.* 2, 140-143. (doi: 10.1098/rsbl.2005.0390)

Firbank, L. G., Petit, S., Smart, S., Blain, A. & Fuller, R. J., 2008. Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 777-787. (doi: 10.1098/rstb.2007.2183)

Franzese, P., Rydberg, T., Russo, G. F., Ulgiati, S., 2009. Sustainable biomass production: comparison between Gross Energy Requirement and Emergy Synthesis methods. *Ecological Indicators*. 9, 959-970.

Ghisellini, P., Zucaro, A., Viglia, S., Ulgiati, S., 2013. Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. Na emergy decomposition analysis. *Ecological Modelling*. Article in press.

Giannetti, B. F., Barrela, F. A., Almeida, C. M. V. B., 2006. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting. *Journal of Cleaner Production* 14, 201-210.

Giannetti, B. F., Barrela, F. A., Bonilla, S. H., Almeida, C. M. V. B., 2007. Aplicações do diagrama emergético triangular na tomada de decisão ecoeficiente. *Revista Produção*. 17, 246-262.

Giannetti, B. F., Ogura, Y., Bonilla, S. H., Almeida, C. M. V. B., 2011. Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. *Agricultural Systems*. 104, 679-688.

Goulding, K., Jarvis, S.; Whitmore, A. 2008 Optimizing nutrient management for farm systems. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 667-680. (doi: 10.1098/rstb.2007.2177)

Health.Alicious.Ness.com. Disponível em <http://www.healthaliciousness.com/articles/foods-highest-in-protein.php>. Acessado em Julho/2013.

Hoffrén, J., Luukkanen, J., Kaivo-Oja, J., 2000. Statistical decomposition modeling on the basis of material flow accounting. *Journal of Industrial Ecology*. 4, 4.

Hoffrén, J., Luukkanen, J., 2001. Decomposition analysis of Finnish Material Flows: 1960-1996. *Journal of Industrial Ecology*. 4, 105-125.

Hu, Q. H., Zhang, L. X., Wang, C. B., 2012. Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perception of organic production model in China. *Procedia Environmental Sciences. SciVerse ScienceDirect*. 13, 445-454.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=316470#>. Acessado em fevereiro/2013

Jungnitz, A., 2008. Decomposition analysis of greenhouse gas emissions and energy and material inputs in Germany. In: *Resource Productivity, Environmental Tax Reform and Sustainable Growth in Europe*.

Lagerberg C., Brown, M.T., 1999. Improving agricultural sustainability: the case of Swedish greenhouse tomatoes. *Journal of Cleaner Production*. 7, 421-434.

La Rosa, A. D., Siracusa, G., Cavallaro, R., 2008. Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production*. 16, 1907-1914.

Liu, Xin-wei, Chen, Bai-ming, Zhang, Ding-xiang. 2004. Emergy analysis of grain production system in Jiangsu and Shaanxi Provinces. *Chinese Geographical Science*. Vol. 14, nº3. 209-214.

Lu, H., Bai, Y., Ren, H., 2010. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*. 91, 2727-2735.

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.

Ministério da Agricultura, 2012. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/setores-da-economia/agronegocio/print>. Acessado em Julho/2013.

Moss, B., 2008. Water pollution by agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 659-666. (doi: 10.1098/rstb.2007.2176)

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

Odum, E. P., Barrett, G. W., 2004. Redesigning industrial agroecosystems: incorporating more ecological processes and reducing pollution. In *New dimensions in agroecology* (eds D. Clements & A. Shrestha). Binghamton, NY: Food Products Press.

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

Ortega E., Sarcinelli, O., 2004. Emergy analysis and bookkeeping accounting of conventional and organic coffee production in Brazil. *Proceedings of IV Biennial International Workshop Advances in Energy Studies*. 271-283.

Ortega E., Cavalett, O., Bonifácio, R., Watanabe, M., 2005. Brazilian soybean production: Emergy Analysis with an expanded scope. *Bulletin of Science, Technology & Society*. 25, 323-334.

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

Reddy, B. S., Ray, B.K., 2010. Decomposition of energy consumption and energy intensity in Indian manufacturing industries. *Energy for Sustainable Development*. 14, 35-47.

Rodrigues, G. S., Kitamura, P. C., Sá, T. D. de A., Vielhauer, K., 2001. Sustainability assessment of slash-and-burn and fire-free agriculture in Northeastern Pará, Brazil. *Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emergy Methodology*, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL.

Rose, A., Casler, S., 1996. Input-output structural decomposition analysis: a critical appraisal. *Economic Systems Research*. 8 (1), 33-62

Rydberg, T.; Jansen, J., 2002. Comparison of horse and tractor traction using emergy analysis. *Ecol. Eng.* 19, 13–28. (doi: 10.1016/S0925-8574(02)00015-0)

Sciubba, E., Ulgiati, S., 2005. Emergy and Exergy analyses: complementary methods or irreducible ideological options?. *Energy – The International Journal*. 30, 1953-1988.

Sheinbaum-Pardo, C., Mora-Peréz, S., Robles-Morales, G., 2012. Decomposition of energy consumption and CO₂ emissions in Mexican manufacturing industries: trends between 1990 and 2008. *Energy for Sustainable Development*. 16, 57-67.

Smil, V., 2000. *Feeding the World*. Cambridge, MA: MIT Press.

Smith, B. G., 2008. Developing sustainable food supply chains. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 849-861. (doi: 10.1098/rstb.2007.2187)

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

Swift, M. J., Izac, A. M. N., Van Noordwijk, M., 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? *Agr. Ecosystems Environ.* 104, 113-134. (doi: 10.1016/j.agee.2004.01.013)

The Emergy Database. Disponível em: <http://emergydatabase.org/transformities-view/all>. Acessado em julho/2013

Ulgiati, 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.

Vehmas, J., 2009. Decomposition analysis of CO₂ emissions from fuel combustion in selected countries. *International Journal of Environmental Technology and Management*. 11 (1/2/3), 47-67.

Vendrametto, L. P., 2011. Contabilidade Ambiental dos Sistemas de Produção Agrícola e dos Serviços do Ecossistema do Cerrado de Lucas do Rio Verde - MT. Tese – Universidade Paulista.

Zhang, L. X., Song, B., Chen, B., 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*. 28, 33-44.

Zhang, L. X., Hu, Q. H., Wang, C. B., 2013. Emergy evaluation of environmental sustainability of poultry farming that products with organic claims on the outskirts of mega-cities in China. *Ecological Engineering*. 54, 128-135.

Wilkins, R. J., 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 517-525. (doi: 10.1098/rstb.2007.2167)

Apêndice A – Sistema Integrado

Apêndice A.1 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a implantação (construção)

A fazenda possui 6 casas utilizadas pelos funcionários; 1 casa sede; 1 galpão de 1000m² utilizado apenas para a criação de aves (na produção de ovos); 7 galpões de 600m² sendo que 4 deles são utilizados na produção de ovos e 3 na produção de carne; 8 galpões de 420m² sendo que apenas 1 é utilizado na produção de ovos e os outros 7 são utilizados na produção de carne; 2 galpões de 300m² utilizados para a produção de leite.

Apêndice A.1.1 – Casas utilizadas pelos funcionários da Fazenda

Concreto e aço utilizados na construção das casas de 80 m² cada

Concreto (cada casa)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 0,832 \text{ m}^3$$

Vigas

$$3 \times 7 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,787 \text{ m}^3$$

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 2,905 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 80 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,905 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 = 26,905 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 26,905 \text{ m}^3 = 6,726 \times 10^4 \text{ kg} = 6,726 \times 10^7 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,97 = 6,523 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{2,609 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 89,154 \text{ m}^2$$

$$3 \times 7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 54,600 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 143,754 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 1.797 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 1.797 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,752 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,008 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 2,609 \times 10^6 \text{ g} + 7,008 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 casa)} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\underline{\text{Total de concreto (para 6 casas)} = 6 \times 3,310 \times 10^6 = 1,986 \times 10^7 \text{ g/ano}}}}$$

Aço (cada casa)

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,03 = 2,018 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 casa)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para 6 casas) = $6 \times 8,072 \times 10^4 = 4,843 \times 10^5$ g/ano

Apêndice A.1.2 – Casa sede

Concreto e aço utilizados na construção da casa sede de 150 m²

Concreto

Colunas

$$10 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 1,040 \text{ m}^3$$

Vigas

$$4 \times 10 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,500 \text{ m}^3$$

$$3 \times 15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,687 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 3,187 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 150 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 3,187 \text{ m}^3 + 45 \text{ m}^3 = 48,187 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 48,187 \text{ m}^3 = 1,205 \times 10^5 \text{ kg} = 1,205 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 1,168 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{4,674 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 15 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 117 \text{ m}^2$$

$$4 \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 104 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 221 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.763 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.763 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,694 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,078 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 4,674 \times 10^6 \text{ g/ano} + 1,078 \times 10^6 \text{ g/ano} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Total de concreto (para a casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Aço

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 3,615 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para a casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Apêndice A.1.3 – Galpão de 1000m²

Concreto e aço utilizados na construção do galpão de 1000 m²

Concreto

Colunas

$$18 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 4,0 \text{ m (altura)} = 2,880 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,880 \text{ m}^3 + 300 \text{ m}^3 = 302,880 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 302,880 \text{ m}^3 = 7,572 \times 10^5 \text{ kg} = 7,572 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 7,368 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{3,029 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 72 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 288 \text{ m}^2$$

$$2 \times 14 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 56 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 344 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 4.300 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 4.300 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 4,192 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,677 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 3,029 \times 10^7 \text{ g} + 1,677 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{3,152 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{3,197 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 2,272 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice A.1.4 – Galpões de 600m²Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 600 m²Concreto (cada galpão de 600 m²)

Colunas

$$14 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,680 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 600 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,680 \text{ m}^3 + 180 \text{ m}^3 = 181,680 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 181,680 \text{ m}^3 = 4,542 \times 10^5 \text{ kg} = 4,542 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 4,406 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,762 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 200 \text{ m}^2$$

$$2 \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 48 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 248 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 3.100 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 3.100 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 3,022 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,209 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,762 \times 10^7 \text{ g} + 1,209 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 7 galpões de } 600\text{m}^2) = 7 \times 1,883 \times 10^7 = 1,318 \times 10^8 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 600 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 1,363 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para 7 galpões de } 600\text{m}^2) = 7 \times 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano} = 3,815 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice A.1.5 – Galpões de 420m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 420 m²

Concreto (cada galpão de 420 m²)

Colunas

$$12 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,440 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 420 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 126 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,440 \text{ m}^3 + 126 \text{ m}^3 = 127,440 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 127,440 \text{ m}^3 = 3,186 \times 10^5 \text{ kg} = 3,186 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 3,090 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,236 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 42 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 168 \text{ m}^2$$

$$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 208 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.600 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.600 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,535 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,014 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,236 \times 10^7 \text{ g} + 1,014 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 420\text{m}^2) = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 8 galpões de } 420\text{m}^2) = 8 \times 1,337 \times 10^7 = 1,070 \times 10^8 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 420 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 9,558 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 420m^2) = $3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 8 galpões de 420m^2) = $8 \times 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano} = 3,059 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice A.1.6 – Galpões de 300m^2

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 300 m^2

Concreto (cada galpão de 300 m^2)

Colunas

$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 0,960 \text{ m}^3$

Piso e Laje

$2 \times 300 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 90 \text{ m}^3$

Total: $0,960 \text{ m}^3 + 90 \text{ m}^3 = 90,960 \text{ m}^3$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m^3

Massa total (piso, laje e colunas): $2.500 \text{ kg/m}^3 \times 90,960 \text{ m}^3 = 2,274 \times 10^5 \text{ kg} = 2,274 \times 10^8 \text{ g}$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): $2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 2,206 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 8,823 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Paredes

$2 \times 30 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 120 \text{ m}^2$

$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$

Área total = $160 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.000 \text{ blocos}$

Total: $2.000 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,950 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 7,800 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total: $8,823 \times 10^6 \text{ g} + 7,800 \times 10^5 \text{ g} = 9,603 \times 10^6 \text{ g}$

Total de concreto (para 1 galpão de 300m^2) = $9,603 \times 10^6 \text{ g}$

Total de concreto (para 2 galpões de 300m^2) = $2 \times 9,603 \times 10^6 = 1,921 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 300 m^2)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 6,822 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 400m^2) = $2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 2 galpões de 300m^2) = $2 \times 2,729 \times 10^5 = 5,458 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Apêndice A.1.7 – Equipamentos, máquinas agrícolas e tratores

- Equipamentos e Máquinas Agrícolas (Fonte: www.baldan.com.br - 24/03/2011)

2 semesadoras de arrasto: $2 \times 1030 \text{ kg} = 2060 \text{ g}$

2 máquinas de arado: $2 \times 547 \text{ kg} = 1094 \text{ kg}$

Colheitadeira + carreta agrícola = 2130 kg

Massa total: $5.284 \text{ kg} = 5,284 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = 5,284 \times 10^5 \text{ g/ano}$

- Tratores (Fonte: www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200 - 24/03/2011)

Massa de um trator de 65 cv: 3.250 kg = $3,250 \times 10^6$ g / 10 anos (depreciação) = **$3,250 \times 10^5$ g/ano**

Massa de um trator de 120 cv: 6.600 kg = $6,600 \times 10^6$ g / 10 anos (depreciação) = **$6,660 \times 10^5$ g/ano**

Massa total de aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6$ g/ano

Apêndice A.1.8 – Total de materiais referentes à implantação (construção) – Soma dos Apêndices A.1 até A.7

Concreto (6 casas) = $1,986 \times 10^7$ g/ano

Concreto (casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Concreto (galpão de 1000m²) = $3,197 \times 10^7$ g/ano

Concreto (7 galpões de 600m²) = $1,318 \times 10^8$ g/ano

Concreto (8 galpões de 420m²) = $1,070 \times 10^8$ g/ano

Concreto (2 galpões de 300m²) = $1,921 \times 10^7$ g/ano

Total de concreto = $3,156 \times 10^8$ g/ano

Aço (6 casas) = $4,843 \times 10^5$ g/ano

Aço (casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Aço (galpão de 1000m²) = $9,088 \times 10^5$ g/ano

Aço (7 galpões de 600m²) = $3,815 \times 10^6$ g/ano

Aço (8 galpões de 420m²) = $3,059 \times 10^6$ g/ano

Aço (2 galpões de 300m²) = $5,458 \times 10^5$ g/ano

Aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6$ g/ano

Total de aço = $1,048 \times 10^7$ g/ano

Apêndice A.2 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a utilização da Fazenda

Apêndice A.2.1 – Irradiação Solar

Insolação média = 4,97kWh/m².dia (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Área Total: 101 x 10⁴ m².

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Albedo: 22% (1- 0,22 = 0,78) (Fonte: Bice, 2001)

Total Irradiação Solar = 101 x 10⁴ m² x 4,97 kWh/m² x 1.000 J/s x 3600s x 0,78 = **$1,409 \times 10^{13}$ J/ano**

Apêndice A.2.2 – Energia Cinética do Vento

Área Total: 101 x 10⁴ m².

Velocidade média sazonal a 50 m de altura: 5,40 m/s (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Densidade do ar = 1,23 kg/m³ (Odum, 1996)

Drag Coefficient = 1,00 x 10⁻³ (Cavalett *et al*, 2006)

Energia Cinética do Vento = (área) x (densidade do ar) x (drag coefficient) x (velocidade do vento)³.

Energia Cinética do Vento = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,23 \text{ kg/m}^3) \times (1,00 \times 10^{-3}) \times (5,40 \text{ m/s})^3 \times (3,14 \times 10^7 \text{ s/ano}) = 2,106 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice A.2.3 – Energia Química da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Energia Livre de Gibbs = 4.940 J/kg (Odum, 1996)

Energia Química da Chuva = (área) x (precipitação) x (Energia Livre de Gibbs).

Energia Química da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,81 \text{ m/ano}) \times (4.940 \text{ J/kg}) \times (1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) = 9,031 \times 10^{12} \text{ J/ano}$

Apêndice A.2.4 – Energia Geopotencial da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Elevação Média = 50 m

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Runoff = 5% da precipitação média = $0,05 \times 1,81 \text{ m/ano} = 0,0905 \text{ m/ano}$

Aceleração da gravidade = $9,8 \text{ m/s}^2$

Energia Geopotencial da Chuva = (área) x (elevação média) x (runoff) x (densidade) x (aceleração da gravidade).

Energia Geopotencial da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (50 \text{ m}) \times (0,0905 \text{ m/ano}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 4,479 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Apêndice A.2.5 – Perda de solo (Plantação)

Área Total: 55 ha = 550.000 m².

Taxa de erosão = 2500 g/m².ano (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(550.000 \text{ m}^2) \times (2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 3,108 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice A.2.6 – Perda de solo (Pastagens)

Área Total: 36 ha = 360.000 m².

Taxa de erosão = 90 g/m².ano (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(360.000 \text{ m}^2) \times (90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 7,324 \times 10^9 \text{ J/ano}$

Apêndice A.2.7 – Energia elétrica (eletricidade)

Total consumo = 192.000 kWh (consumo anual)

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Total Energia Elétrica = 192.000 kWh x 1.000 J/s x 3600s = **6,912 x 10¹¹ J/ano**

Apêndice A.2.8 – Combustíveis

Massa = 5000 L

Densidade = 0,75 kg/L (Agostinho, 2005)

Poder Calorífico = 1000 kcal/kg (Agostinho, 2005)

Total combustíveis = 5000 L x 0,75 kg/L x 1000 kcal/kg x 4186 J/kcal = **1,570 x 10¹⁰ J/ano**

Apêndice A.2.9 – Mão de obra

Total = 30 funcionários (dado de campo)

Cada funcionário trabalha 260 dias/ano e consome 3000 kcal/dia

Mão de obra: 30 x 260 dias/ano x 3000 kcal/dia x 4186 J/kcal = **1,07 x 10¹¹ J/ano**

Apêndice A.2.10 – Água

Massa = 21.900 m³ (dado de campo)

Apêndice A.2.11 – Fertilizante

Massa = 49.000 kg = 4,9 x 10⁷ g (dado de campo)

Apêndice A.2.12 – Sementes

Consumo de sementes na Fazenda = 1,08 x 10⁶ g (dado de campo)

Apêndice A.2.13 – Milho

Consumo de milho na produção de ovos = 3,92 x 10⁴ kg = 3,92 x 10⁷ g, sendo 30% comprado = **1,18 x 10⁷ g** (dado de campo)

Consumo de milho na produção de suínos = 8,40 x 10⁴ kg = 8,40 x 10⁷ g, sendo 30% comprado = **2,52 x 10⁷ g** (dado de campo)

Consumo de milho na produção de leite = 2,80 x 10³ kg = 2,80 x 10⁶ g, sendo 30% comprado = **8,40 x 10⁵ g** (dado de campo)

Consumo de milho na Fazenda (total) = 1,26 x 10⁵ kg = 1,26 x 10⁸ g, sendo 30% comprado = **3,78 x 10⁷ g** (dado de campo)

A Fazenda produz 70% do consumo total = 8,82 x 10⁴ kg de milho = 8,82 x 10⁷ g

Apêndice A.2.14 – Farelo de soja e Núcleo

Consumo de farelo de soja na produção de ovos = 1,12 x 10⁴ kg = **1,12 x 10⁷ g** (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de ovos = 5,60 x 10³ kg = **5,60 x 10⁶ g** (dado de campo)

Consumo de farelo de soja na produção de suínos = 2,40 x 10⁴ kg = **2,40 x 10⁷ g** (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de suínos = $1,20 \times 10^4 \text{ kg} = 1,20 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo)
 Consumo de farelo de soja na produção de leite = $8,00 \times 10^2 \text{ kg} = 8,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)
 Consumo de núcleo na produção de leite = $4,00 \times 10^2 \text{ kg} = 4,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Apêndice A.3 – Memorial de cálculo da energia por unidade do sistema de produção de ovos (seJ/g), do sistema de produção de carne de porco (seJ/J) e do sistema de produção de leite (seJ/g).

Apêndice A.3.1 Cálculo da energia 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: $4.924.800 \times 55 = 2,71 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Energia total da Fazenda: $3,41 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $3,41 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,71 \times 10^8 \text{ g/ano} = 1,26 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$
- **Energia/unidade = $1,26 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice A.3.2 Cálculo da energia por unidade da produção de carne de porco (suínos)

- Produção: 350 carcaças por mês = 4.200 carcaças por ano
- Massa de cada carcaça: 75 kg
- Massa de carcaças produzidas na Fazenda por ano: $4.200 \times 75 = 3,15 \times 10^5 \text{ kg/ano}$ (energia em massa)
- Energia das carcaças (em joules): $3,15 \times 10^5 \text{ kg} \times 2.341 \text{ kcal/kg}$ (Cavalett, 2006) $\times 4186 \text{ J/kcal} = 3,09 \times 10^{12} \text{ J}$.
- Energia total da Fazenda: $3,41 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade da produção de carne de porco = Energia da Fazenda / Energia das carcaças: $3,41 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 3,09 \times 10^{12} \text{ J/ano} = 1,10 \times 10^6 \text{ seJ/J}$
- **Energia/unidade = $1,10 \times 10^6 \text{ seJ/J}$**

Apêndice A.3.3 Cálculo da energia por unidade da produção de leite

- Produção: 18.000 litros por mês = 216.000 litros por ano = $2,16 \times 10^8 \text{ cm}^3$ de leite por ano
- Densidade do leite (média): $1,032 \text{ g/cm}^3$ (Embrapa)

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano: $2,16 \times 10^8 \times 1,032 \text{ g/cm}^3 = 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Energia total da Fazenda = $3,41 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade da produção de leite = Energia da Fazenda / Energia do leite = $3,41 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano} = 1,53 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$
- **Energia/unidade = $1,53 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice A.4 – Memorial de cálculo da energia por unidade (em seJ/g de proteínas) do sistema de produção de ovos, do sistema de produção de carne de porco, do sistema de produção de leite e do sistema integrado (total).

Apêndice A.4.1 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de ovos

- Massa de ovos produzidos na Fazenda por ano = **$2,71 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de ovos possui 13g de proteína = 0,13g de proteína por cada grama de ovo (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de ovos em gramas de proteína (por ano) = $0,13 \times 2,71 \times 10^8$ g/ano = **$3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,41 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de ovos) = Energia da Fazenda/Energia dos ovos (em gramas de proteínas): $3,41 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $3,52 \times 10^7$ g/ano = $9,69 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $9,69 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice A.4.2 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de carne de porco (suínos)

- Massa de carne (carcaças) produzidas na Fazenda por ano = $3,15 \times 10^5$ kg/ano = **$3,15 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de carne possui 25g de proteína = 0,25g de proteína por cada grama de carne (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de carne em gramas de proteína (por ano) = $0,25 \times 3,15 \times 10^8$ g/ano = **$7,88 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,41 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de carne) = Energia da Fazenda/Energia da carne (em gramas de proteínas): $3,41 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,88 \times 10^7$ g/ano = $4,33 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,33 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice A.4.3 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de leite

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano = **$2,23 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de leite possui 3,4g de proteína = 0,034g de proteína por cada grama de leite (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de leite em gramas de proteína (por ano) = $0,034 \times 2,23 \times 10^8$ g/ano = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,41 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de leite) = Energia da Fazenda/Energia do leite (em gramas de proteínas): $3,41 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,58 \times 10^6$ g/ano = $4,50 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,50 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice A.4.4 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) do sistema integrado

- Massa de ovos em gramas de proteína = $3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano
- Massa de carne em gramas de proteína = $7,88 \times 10^7$ g de proteína/ano
- Massa de leite em gramas de proteína = $7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano
- Massa total em gramas de proteína (ovos + carne + leite) = $1,22 \times 10^8$ g de proteína/ano
- Energia total da Fazenda: $3,41 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (sistema integrado) = Energia da Fazenda/Energia total (em gramas de proteínas): $3,41 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $1,22 \times 10^8$ g/ano = $2,79 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $2,79 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice B – Sistema sem a produção de carne (suínos)

Apêndice B.1 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a implantação (construção)

Ao retirar o sistema de produção de carne, as entradas de materiais da implantação que são exclusivas da criação de suínos (produção de carne) foram excluídas, portanto foram consideradas apenas 3 casas de funcionários, 1 casa sede, 1 galpão de 1000m², 4 galpões de 600m²; 1 galpão de 420m² e 2 galpões de 300m².

Apêndice B.1.1 – Casas utilizadas pelos funcionários da Fazenda

Concreto e aço utilizados na construção das casas de 80 m² cada

Concreto (cada casa)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 0,832 \text{ m}^3$$

Vigas

$$3 \times 7 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,787 \text{ m}^3$$

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 2,905 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 80 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,905 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 = 26,905 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 26,905 \text{ m}^3 = 6,726 \times 10^4 \text{ kg} = 6,726 \times 10^7 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,97 = 6,523 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{2,609 \times 10^6}$$

g/ano

Paredes

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 89,154 \text{ m}^2$$

$$3 \times 7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 54,600 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 143,754 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 1.797 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 1.797 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,752 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,008 \times 10^5}$$

g/ano

$$\text{Total: } 2,609 \times 10^6 \text{ g} + 7,008 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 casa)} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 3 casas)} = 3 \times 3,310 \times 10^6 = 9,930 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada casa)

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,03 = 2,018 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 casa)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para 3 casas) = $3 \times 8,072 \times 10^4 = 2,422 \times 10^5$ g/ano

Apêndice B.1.2 – Casa sede

Concreto e aço utilizados na construção da casa sede de 150 m²

Concreto

Colunas

$$10 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 1,040 \text{ m}^3$$

Vigas

$$4 \times 10 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,500 \text{ m}^3$$

$$3 \times 15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,687 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 3,187 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 150 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 3,187 \text{ m}^3 + 45 \text{ m}^3 = 48,187 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 48,187 \text{ m}^3 = 1,205 \times 10^5 \text{ kg} = 1,205 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 1,168 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{4,674 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 15 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 117 \text{ m}^2$$

$$4 \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 104 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 221 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.763 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.763 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,694 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,078 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 4,674 \times 10^6 \text{ g/ano} + 1,078 \times 10^6 \text{ g/ano} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Total de concreto (para a casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Aço

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 3,615 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para a casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Apêndice B.1.3 – Galpão de 1000m²

Concreto e aço utilizados na construção do galpão de 1000 m²

Concreto

Colunas

$$18 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 4,0 \text{ m (altura)} = 2,880 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,880 \text{ m}^3 + 300 \text{ m}^3 = 302,880 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 302,880 \text{ m}^3 = 7,572 \times 10^5 \text{ kg} = 7,572 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 7,368 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{3,029 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 72 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 288 \text{ m}^2$$

$$2 \times 14 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 56 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 344 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 4.300 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 4.300 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 4,192 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,677 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 3,029 \times 10^7 \text{ g} + 1,677 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{3,152 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{3,197 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 2,272 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice B.1.4 – Galpões de 600m²Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 600 m²Concreto (cada galpão de 600 m²)

Colunas

$$14 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,680 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 600 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,680 \text{ m}^3 + 180 \text{ m}^3 = 181,680 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 181,680 \text{ m}^3 = 4,542 \times 10^5 \text{ kg} = 4,542 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 4,406 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,762 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 200 \text{ m}^2$$

$$2 \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 48 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 248 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 3.100 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 3.100 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 3,022 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,209 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,762 \times 10^7 \text{ g} + 1,209 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 4 galpões de } 600\text{m}^2) = 3 \times 1,883 \times 10^7 = 7,532 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 600 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 1,363 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para 4 galpões de } 600\text{m}^2) = 4 \times 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano} = 2,180 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice B.1.5 – Galpão de 420m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 420 m²

Concreto (cada galpão de 420 m²)

Colunas

$$12 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,440 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 420 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 126 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,440 \text{ m}^3 + 126 \text{ m}^3 = 127,440 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 127,440 \text{ m}^3 = 3,186 \times 10^5 \text{ kg} = 3,186 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 3,090 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,236 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 42 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 168 \text{ m}^2$$

$$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 208 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.600 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.600 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,535 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,014 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,236 \times 10^7 \text{ g} + 1,014 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 420\text{m}^2) = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 420\text{m}^2) = 1,337 \times 10^7 \text{ g}}}$$

Aço (cada galpão de 420 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 9,558 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 420m^2) = $3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 420m^2) = $3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Apêndice B.1.6 – Galpões de 300m^2

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 300 m^2

Concreto (cada galpão de 300 m^2)

Colunas

$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 0,960 \text{ m}^3$

Piso e Laje

$2 \times 300 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 90 \text{ m}^3$

Total: $0,960 \text{ m}^3 + 90 \text{ m}^3 = 90,960 \text{ m}^3$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m^3

Massa total (piso, laje e colunas): $2.500 \text{ kg/m}^3 \times 90,960 \text{ m}^3 = 2,274 \times 10^5 \text{ kg} = 2,274 \times 10^8 \text{ g}$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): $2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 2,206 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 8,823 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Paredes

$2 \times 30 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 120 \text{ m}^2$

$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$

Área total = $160 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.000 \text{ blocos}$

Total: $2.000 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,950 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 7,800 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total: $8,823 \times 10^6 \text{ g} + 7,800 \times 10^5 \text{ g} = 9,603 \times 10^6 \text{ g}$

Total de concreto (para 1 galpão de 300m^2) = $9,603 \times 10^6 \text{ g}$

Total de concreto (para 2 galpões de 300m^2) = $2 \times 9,603 \times 10^6 = 1,921 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 300 m^2)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 6,822 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 400m^2) = $2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 2 galpões de 300m^2) = $2 \times 2,729 \times 10^5 = 5,458 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Apêndice B.1.7 – Equipamentos, máquinas agrícolas e tratores

- Equipamentos e Máquinas Agrícolas (Fonte: www.baldan.com.br - 24/03/2011)

2 semeadoras de arrasto: $2 \times 1030 \text{ kg} = 2060 \text{ kg}$

2 máquinas de arado: $2 \times 547 \text{ kg} = 1094 \text{ kg}$

Colheitadeira + carreta agrícola = 2130 kg

Massa total: $5.284 \text{ kg} = 5,284 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = 5,284 \times 10^5 \text{ g/ano}$

- Tratores (Fonte: www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200 - 24/03/2011)

Massa de um trator de 65 cv: 3.250 kg = $3,250 \times 10^6$ g / 10 anos (depreciação) = **$3,250 \times 10^5$ g/ano**

Massa de um trator de 120 cv: 6.600 kg = $6,600 \times 10^6$ g / 10 anos (depreciação) = **$6,660 \times 10^5$ g/ano**

Massa total de aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6$ g/ano

Apêndice B.1.8 – Total de materiais referentes à implantação (construção) – Soma dos Apêndices E.1 até E.7

Concreto (3 casas) = $9,930 \times 10^6$ g/ano

Concreto (casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Concreto (galpão de 1000m²) = $3,197 \times 10^7$ g/ano

Concreto (4 galpões de 600m²) = $7,532 \times 10^7$ g/ano

Concreto (1 galpão de 420m²) = $1,337 \times 10^7$ g/ano

Concreto (2 galpões de 300m²) = $1,921 \times 10^7$ g/ano

Total de concreto = $1,555 \times 10^8$ g/ano

Aço (3 casas) = $2,422 \times 10^5$ g/ano

Aço (casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Aço (galpão de 1000m²) = $9,088 \times 10^5$ g/ano

Aço (4 galpões de 600m²) = $2,180 \times 10^6$ g/ano

Aço (1 galpão de 420m²) = $3,823 \times 10^5$ g/ano

Aço (2 galpões de 300m²) = $5,458 \times 10^5$ g/ano

Aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6$ g/ano

Total de aço = $5,923 \times 10^6$ g/ano

Apêndice B.2 – Memorial de cálculo dos insumos referentes à utilização da Fazenda

Apêndice B.2.1 – Irradiação Solar

Insolação média = 4,97kWh/m².dia (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Área Total: 101 x 10⁴ m².

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Albedo: 22% (1- 0,22 = 0,78) (Fonte: Bice, 2001)

Total Irradiação Solar = 101 x 10⁴ m² x 4,97 kWh/m² x 1.000 J/s x 3600s x 0,78 = **$1,409 \times 10^{13}$ J/ano**

Apêndice B.2.2 – Energia Cinética do Vento

Área Total: 101 x 10⁴ m².

Velocidade média sazonal a 50 m de altura: 5,40 m/s (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Densidade do ar = 1,23 kg/m³ (Odum, 1996)

Drag Coefficient = $1,00 \times 10^{-3}$ (Cavallet *et al.*, 2006)

Energia Cinética do Vento = (área) x (densidade do ar) x (drag coefficient) x (velocidade do vento)³.

Energia Cinética do Vento = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,23 \text{ kg/m}^3) \times (1,00 \times 10^{-3}) \times (5,40 \text{ m/s})^3 \times (3,14 \times 10^7 \text{ s/ano}) = 2,106 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice B.2.3 – Energia Química da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Energia Livre de Gibbs = 4.940 J/kg (Odum, 1996)

Energia Química da Chuva = (área) x (precipitação) x (Energia Livre de Gibbs).

Energia Química da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,81 \text{ m/ano}) \times (4.940 \text{ J/kg}) \times (1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) = 9,031 \times 10^{12} \text{ J/ano}$

Apêndice B.2.4 – Energia Geopotencial da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Elevação Média = 50 m

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Runoff = 5% da precipitação média = $0,05 \times 1,81 \text{ m/ano} = 0,0905 \text{ m/ano}$

Aceleração da gravidade = $9,8 \text{ m/s}^2$

Energia Geopotencial da Chuva = (área) x (elevação média) x (runoff) x (densidade) x (aceleração da gravidade).

Energia Geopotencial da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (50 \text{ m}) \times (0,0905 \text{ m/ano}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 4,479 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Apêndice B.2.5 – Perda de solo (Plantação)

Área Total: 55 ha = 550.000 m².

Taxa de erosão = 2500 g/m².ano (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(550.000 \text{ m}^2) \times (2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 3,108 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice B.2.6 – Perda de solo (Pastagens)

Área Total: 36 ha = 360.000 m².

Taxa de erosão = 90 g/m².ano (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(360.000 \text{ m}^2) \times (90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 7,324 \times 10^9 \text{ J/ano}$

Apêndice B.2.7 – Energia elétrica (eletricidade)

Total consumo = 192.000 kWh (consumo anual)

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Total Energia Elétrica = 192.000 kWh x 1.000 J/s x 3600s = $6,912 \times 10^{11}$ J/ano

Considerando 50% para a produção de ovos e 20% comum a todos os sistemas (70% de Energia Elétrica) = $0,7 \times 6,912 \times 10^{11} = 4,838 \times 10^{11}$ J/ano

Apêndice B.2.8 – Combustíveis

Massa = 5000 L

Densidade = 0,75 kg/L (Agostinho, 2005)

Poder Calorífico = 1000 kcal/kg (Agostinho, 2005)

Total combustíveis = 5000 L x 0,75 kg/L x 1000 kcal/kg x 4186 J/kcal = $1,570 \times 10^{10}$ J/ano

Apêndice B.2.9 – Mão de obra (24 Funcionários)

Total = 24 funcionários (dado de campo)

Cada funcionário trabalha 260 dias/ano e consome 3000 kcal/dia

Considerando 10 funcionários para a produção de ovos e 14 comuns a todos os sistemas = 24 funcionários

Mão de obra: 24 x 260 dias/ano x 3000 kcal/dia x 4186 J/kcal = $8,59 \times 10^{10}$ J/ano

Apêndice B.2.10 – Água

Massa = 21.900 m³ (dados de campo)

Considerando 60% de água (sem os porcos) = $0,6 \times 2,19 \times 10^4 = 1,314 \times 10^4$ m³.

Apêndice B.2.11 – Fertilizante

Massa = 49.000 kg = $4,9 \times 10^7$ g (dado de campo)

Apêndice B.2.12 – Sementes

Consumo de sementes na Fazenda = $1,08 \times 10^6$ g (dado de campo)

Apêndice B.2.13 – Milho

Consumo de milho na produção de ovos = $3,92 \times 10^4$ kg = $3,92 \times 10^7$ g

Consumo de milho na produção de leite = $2,80 \times 10^3$ kg = $2,80 \times 10^6$ g

Consumo de milho na Fazenda (sem a produção de carne - suínos) = $4,20 \times 10^7$ g (dado de campo)

A Fazenda produz = $8,82 \times 10^4$ kg de milho = $8,82 \times 10^7$ g, portanto não compra milho de fora (sistema econômico)

Apêndice B.2.14 – Farelo de soja e Núcleo

Consumo de farelo de soja na produção de ovos = $1,12 \times 10^4$ kg = $1,12 \times 10^7$ g (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de ovos = $5,60 \times 10^3 \text{ kg} = 5,60 \times 10^6 \text{ g}$ (dado de campo)
 Consumo de farelo de soja na produção de leite = $8,00 \times 10^2 \text{ kg} = 8,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)
 Consumo de núcleo na produção de leite = $4,00 \times 10^2 \text{ kg} = 4,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Apêndice B.3 – Memorial de cálculo da energia por unidade do sistema de produção do milho que sobra (seJ/g), do sistema de produção de ovos (seJ/g) e do sistema de produção de leite (seJ/g).

Apêndice B.3.1 Cálculo da energia por unidade da produção de milho que sobra

- Produção de milho na fazenda = $8,82 \times 10^7 \text{ g/ano}$
- Sobra de milho = $8,82 \times 10^7 \text{ g}$ (produção) – $4,20 \times 10^7 \text{ g}$ (consumo sem a produção de carne - suínos) = **$4,62 \times 10^7 \text{ g/ano}$** (energia em massa)
- Energia total da Fazenda: $2,55 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $2,55 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 4,62 \times 10^7 \text{ g/ano} = 5,52 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$
- **Energia/unidade = $5,52 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice B.3.2 Cálculo da energia 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: $4.924.800 \times 55 = 2,71 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Energia total da Fazenda: $2,55 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $2,55 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,71 \times 10^8 \text{ g/ano} = 9,41 \times 10^9 \text{ seJ/g}$
- **Energia/unidade = $9,41 \times 10^9 \text{ seJ/g}$**

Apêndice B.3.3 Cálculo da energia por unidade da produção de leite

- Produção: 18.000 litros por mês = 216.000 litros por ano = $2,16 \times 10^8 \text{ cm}^3$ de leite por ano
- Densidade do leite (média): $1,032 \text{ g/cm}^3$ (Embrapa)

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano: $2,16 \times 10^8 \times 1,032 \text{ g/cm}^3 = 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Energia total da Fazenda = $2,55 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade da produção de leite = Energia da Fazenda / Energia do leite = $2,55 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano} = 1,14 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$
- **Energia/unidade = $1,14 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice B.4 – Memorial de cálculo da energia por unidade (em seJ/g de proteínas) do sistema de produção do milho que sobra, do sistema de produção de ovos, do sistema de produção de leite e do sistema simulado sem a produção de carne (total).

Apêndice B.4.1 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de milho

- Massa de milho que sobra na Fazenda por ano = $4,62 \times 10^7$ g/ano (energia em massa)
- Cada 100g de milho possui 3,22g de proteína = 0,0322g de proteína por cada grama de milho (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de milho em gramas de proteína (por ano) = $0,0322 \times 4,62 \times 10^7$ g/ano = **$1,49 \times 10^6$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $2,55 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de milho) = Energia da Fazenda/Energia do milho (em gramas de proteínas): $2,55 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $1,49 \times 10^6$ g/ano = $1,71 \times 10^{12}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $1,71 \times 10^{12}$ seJ/g de proteína**

Apêndice B.4.2 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de ovos

- Massa de ovos produzidos na Fazenda por ano = **$2,71 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de ovos possui 13g de proteína = 0,13g de proteína por cada grama de ovo (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de ovos em gramas de proteína (por ano) = $0,13 \times 2,71 \times 10^8$ g/ano = **$3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $2,55 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de ovos) = Energia da Fazenda/Energia dos ovos (em gramas de proteínas): $2,55 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $3,52 \times 10^7$ g/ano = $7,24 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $7,24 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice B.4.3 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de leite

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano = **$2,23 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de leite possui 3,4g de proteína = 0,034g de proteína por cada grama de leite (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de leite em gramas de proteína (por ano) = $0,034 \times 2,23 \times 10^8$ g/ano = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $2,55 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de leite) = Energia da Fazenda/Energia do leite (em gramas de proteínas): $2,55 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,58 \times 10^6$ g/ano = $3,36 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $3,36 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice B.4.4 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) do sistema simulado sem a produção de carne (total)

- Massa de milho em gramas de proteína = $1,49 \times 10^6$ g de proteína/ano
- Massa de ovos em gramas de proteína = $3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano
- Massa de leite em gramas de proteína = $7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano
- Massa total em gramas de proteína (milho + ovos + leite) = $4,43 \times 10^7$ g de proteína/ano
- Energia total da Fazenda: $2,55 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (sistema sem a produção de carne) = Energia da Fazenda/Energia total (em gramas de proteínas): $2,55 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $4,43 \times 10^7$ g/ano = $5,76 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $5,76 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice C – Sistema sem a produção de carne com manutenção da receita original (2,13 vezes a produção de ovos)

Apêndice C.1 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a implantação (construção)

Retirando o sistema de produção de carne da fazenda, porém, mantendo a receita, considerou-se que toda a infraestrutura da fazenda é necessária, pois as casas e galpões que eram exclusivos da produção de carne podem ser adaptados para a produção de ovos. Foram consideradas 6 casas de funcionários, 1 casa sede, 1 galpão de 1000m², 7 galpões de 600m², 8 galpões de 420m² e 2 galpões de 300m².

Apêndice C.1.1 – Casas utilizadas pelos funcionários da Fazenda

Concreto e aço utilizados na construção das casas de 80 m² cada

Concreto (cada casa)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 0,832 \text{ m}^3$$

Vigas

$$3 \times 7 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,787 \text{ m}^3$$

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 2,905 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 80 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,905 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 = 26,905 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 26,905 \text{ m}^3 = 6,726 \times 10^4 \text{ kg} = 6,726 \times 10^7 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,97 = 6,523 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{2,609 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 89,154 \text{ m}^2$$

$$3 \times 7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 54,600 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 143,754 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 1.797 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 1.797 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,752 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,008 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 2,609 \times 10^6 \text{ g} + 7,008 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 casa)} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 6 casas)} = 6 \times 3,310 \times 10^6 = 1,986 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada casa)

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,03 = 2,018 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g}}$$

Total de aço (para 1 casa) = $8,072 \times 10^4$ g/ano

Total de aço (para 6 casas) = $6 \times 8,072 \times 10^4 = 4,843 \times 10^5$ g/ano

Apêndice C.1.2 – Casa sede

Concreto e aço utilizados na construção da casa sede de 150 m²

Concreto

Colunas

$$10 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 1,040 \text{ m}^3$$

Vigas

$$4 \times 10 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,500 \text{ m}^3$$

$$3 \times 15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,687 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 3,187 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 150 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 3,187 \text{ m}^3 + 45 \text{ m}^3 = 48,187 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 48,187 \text{ m}^3 = 1,205 \times 10^5 \text{ kg} = 1,205 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 1,168 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{4,674 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 15 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 117 \text{ m}^2$$

$$4 \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 104 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 221 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.763 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.763 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,694 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,078 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 4,674 \times 10^6 \text{ g/ano} + 1,078 \times 10^6 \text{ g/ano} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Total de concreto (para a casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Aço

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 3,615 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para a casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Apêndice C.1.3 – Galpão de 1000m²

Concreto e aço utilizados na construção do galpão de 1000 m²

Concreto

Colunas

$$18 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 4,0 \text{ m (altura)} = 2,880 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,880 \text{ m}^3 + 300 \text{ m}^3 = 302,880 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 302,880 \text{ m}^3 = 7,572 \times 10^5 \text{ kg} = 7,572 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 7,368 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{3,029 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 72 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 288 \text{ m}^2$$

$$2 \times 14 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 56 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 344 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 4.300 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 4.300 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 4,192 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,677 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 3,029 \times 10^7 \text{ g} + 1,677 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{3,152 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{3,197 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para galpão de 1000m}^2) = 3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 2,272 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para galpão de 1000m}^2) = 9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice C.1.4 – Galpões de 600m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 600 m²

Concreto (cada galpão de 600 m²)

Colunas

$$14 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,680 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 600 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,680 \text{ m}^3 + 180 \text{ m}^3 = 181,680 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 181,680 \text{ m}^3 = 4,542 \times 10^5 \text{ kg} = 4,542 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): $4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 4,406 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos}$
(depreciação) = **$1,762 \times 10^7 \text{ g/ano}$**

Paredes

$2 \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ (altura) = 200 m^2

$2 \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ (altura) = 48 m^2

Área total = $248 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 3.100 \text{ blocos}$

Total: $3.100 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g}$ (cada bloco) = $3,022 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos}$ (depreciação) = **$1,209 \times 10^6 \text{ g/ano}$**

Total: $1,762 \times 10^7 \text{ g} + 1,209 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$

Total de concreto (para 1 galpão de 600 m^2) = **$1,883 \times 10^7 \text{ g}$**

Total de concreto (para 7 galpões de 600 m^2) = $7 \times 1,883 \times 10^7 = 1,318 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 600 m^2)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 1,363 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos}$ (depreciação) = **$5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}$**

Total de aço (para 1 galpão de 600 m^2) = **$5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}$**

Total de aço (para 7 galpões de 600 m^2) = $7 \times 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano} = 3,815 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice C.1.5 – Galpões de 420 m^2

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 420 m^2

Concreto (cada galpão de 420 m^2)

Colunas

$12 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$ (altura) = $1,440 \text{ m}^3$

Piso e Laje

$2 \times 420 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 126 \text{ m}^3$

Total: $1,440 \text{ m}^3 + 126 \text{ m}^3 = 127,440 \text{ m}^3$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m^3

Massa total (piso, laje e colunas): $2.500 \text{ kg/m}^3 \times 127,440 \text{ m}^3 = 3,186 \times 10^5 \text{ kg} = 3,186 \times 10^8 \text{ g}$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 3,090 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos}$
(depreciação) = **$1,236 \times 10^7 \text{ g/ano}$**

Paredes

$2 \times 42 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ (altura) = 168 m^2

$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ (altura) = 40 m^2

Área total = $208 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.600 \text{ blocos}$

Total: $2.600 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g}$ (cada bloco) = $2,535 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos}$ (depreciação) = **$1,014 \times 10^6 \text{ g/ano}$**

Total: $1,236 \times 10^7 \text{ g} + 1,014 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$

Total de concreto (para 1 galpão de 420 m^2) = **$1,337 \times 10^7 \text{ g}$**

Total de concreto (para 8 galpões de 420m²) = 8 x 1,337 x 10⁷ = 1,070 x 10⁸ g/ano

Aço (cada galpão de 420 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: 3,186 x 10⁸ g x 0,03 = 9,558 x 10⁶ g / 25 anos (depreciação) = 3,823 x 10⁵ g/ano

Total de aço (para 1 galpão de 420m²) = 3,823 x 10⁵ g/ano

Total de aço (para 8 galpões de 420m²) = 8 x 3,823 x 10⁵ g/ano = 3,059 x 10⁶ g/ano

Apêndice C.1.6 – Galpões de 300m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 300 m²

Concreto (cada galpão de 300 m²)

Colunas

8 x 0,2 m x 0,2 m x 3,0 m (altura) = 0,960 m³

Piso e Laje

2 x 300 m² x 0,15 m = 90 m³

Total: 0,960 m³ + 90 m³ = 90,960 m³

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

Massa total (piso, laje e colunas): 2.500 kg/m³ x 90,960 m³ = 2,274 x 10⁵ kg = 2,274 x 10⁸ g

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): 2,274 x 10⁸ g x 0,97 = 2,206 x 10⁸ g / 25 anos (depreciação) = 8,823 x 10⁶ g/ano

Paredes

2 x 30 m x 2 m (altura) = 120 m²

2 x 10 m x 2 m (altura) = 40 m²

Área total = 160 m² / 0,08 m² = 2.000 blocos

Total: 2.000 blocos x 9750 g (cada bloco) = 1,950 x 10⁷ g / 25 anos (depreciação) = 7,800 x 10⁵ g/ano

Total: 8,823 x 10⁶ g + 7,800 x 10⁵ g = 9,603 x 10⁶ g

Total de concreto (para 1 galpão de 300m²) = 9,603 x 10⁶ g

Total de concreto (para 2 galpões de 300m²) = 2 x 9,603 x 10⁶ = 1,921 x 10⁷ g/ano

Aço (cada galpão de 300 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: 2,274 x 10⁸ g x 0,03 = 6,822 x 10⁶ g / 25 anos (depreciação) = 2,729 x 10⁵ g/ano

Total de aço (para 1 galpão de 400m²) = 2,729 x 10⁵ g/ano

Total de aço (para 2 galpões de 300m²) = 2 x 2,729 x 10⁵ = 5,458 x 10⁵ g/ano

Apêndice C.1.7 – Equipamentos, máquinas agrícolas e tratores

- Equipamentos e Máquinas Agrícolas (Fonte: www.baldan.com.br - 24/03/2011)

2 semesadoras de arrasto: $2 \times 1030 \text{ kg} = 2060 \text{ g}$

2 máquinas de arado: $2 \times 547 \text{ kg} = 1094 \text{ kg}$

Colheitadeira + carreta agrícola = 2130 kg

Massa total: $5.284 \text{ kg} = 5,284 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{5,284 \times 10^5 \text{ g/ano}}$

- Tratores (Fonte: www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200 - 24/03/2011)

Massa de um trator de 65 cV: $3.250 \text{ kg} = 3,250 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{3,250 \times 10^5 \text{ g/ano}}$

Massa de um trator de 120 cV: $6.600 \text{ kg} = 6,600 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{6,660 \times 10^5 \text{ g/ano}}$

Massa total de aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice C.1.8 – Total de materiais referentes à implantação (construção) – Soma dos Apêndices A.1 até A.7

Concreto (6 casas) = $1,986 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Concreto (casa sede de 150 m^2) = $5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Concreto (galpão de 1000 m^2) = $3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Concreto (7 galpões de 600 m^2) = $1,318 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Concreto (8 galpões de 420 m^2) = $1,070 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Concreto (2 galpões de 300 m^2) = $1,921 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Total de concreto = $3,156 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (6 casas) = $4,843 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (casa sede de 150 m^2) = $1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (galpão de 1000 m^2) = $9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (7 galpões de 600 m^2) = $3,815 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Aço (8 galpões de 420 m^2) = $3,059 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Aço (2 galpões de 300 m^2) = $5,458 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Total de aço = $1,048 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Apêndice C.2 – Memorial de cálculo dos insumos referentes à utilização da Fazenda

Caixa de ovo com 30 dúzias (360 ovos) = R\$ 75,00 = R\$ 0,208 cada ovo - Dado de campo

Produção de ovos = $4,92 \times 10^6 \text{ ovos} \times \text{R\$ } 0,208 = \text{R\$ } 1.023.360,00$

1 carcaça de carne de porco (suínos) = 75 kg = R\$ 275,00 = R\$ 3,67/kg – Dado de campo

Produção de carne (suínos) = $3,15 \times 10^5 \text{ kg} \times \text{R\$ } 3,67/\text{kg} = \text{R\$ } 1.156.050,00$

R\$ 0,90 o litro do leite = R\$ 0,90/L – Dado de campo

Densidade do leite = 1,032 g/mL

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

Produção de leite = $2,16 \times 10^5$ L x R\$0,90/L = R\$ 194.400,00

Faturamento da Fazenda = R\$ 2.373.810,00

Faturamento da Fazenda (produção de ovos + produção de carne) = R\$ 2.179.410,00

Retirando a produção de carne e considerando que a produção de ovos deve gerar a mesma receita da produção de carne, temos:

Produção de ovos = $2,71 \times 10^8$ g = R\$ 1.023.360,00 (atual)

Considerando utilizar o faturamento de R\$ 2.179.410,00 a produção de ovos deveria ser de $5,77 \times 10^8$ g, ou seja **2,13 vezes maior do que a do Sistema Integrado real.**

Apêndice C.2.1 – Irradiação Solar

Insolação média = 4,97kWh/m².dia (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Área Total: 101×10^4 m².

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Albedo: 22% (1- 0,22 = 0,78) (Fonte: Bice, 2001)

Total Irradiação Solar = 101×10^4 m² x 4,97 kWh/m² x 1.000 J/s x 3600s x 0,78 = **$1,409 \times 10^{13}$ J/ano**

Apêndice C.2.2 – Energia Cinética do Vento

Área Total: 101×10^4 m².

Velocidade média sazonal a 50 m de altura: 5,40 m/s (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Densidade do ar = 1,23 kg/m³ (Odum, 1996)

Drag Coefficient = $1,00 \times 10^{-3}$ (Cavallet *et al.*, 2006)

Energia Cinética do Vento = (área) x (densidade do ar) x (drag coefficient) x (velocidade do vento)³.

Energia Cinética do Vento = $(101 \times 10^4$ m²) x (1,23 kg/m³) x ($1,00 \times 10^{-3}$) x (5,40 m/s)³ x (3,14 x 10⁷ s/ano) = **$2,106 \times 10^{11}$ J/ano**

Apêndice C.2.3 – Energia Química da Chuva

Área Total: 101×10^4 m².

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3$ mm/ano = 1,81 m/ano

Energia Livre de Gibbs = 4.940 J/kg (Odum, 1996)

Energia Química da Chuva = (área) x (precipitação) x (Energia Livre de Gibbs).

Energia Química da Chuva = $(101 \times 10^4$ m²) x (1,81 m/ano) x (4.940 J/kg) x ($1,00 \times 10^3$ kg/m³) = **$9,031 \times 10^{12}$ J/ano**

Apêndice C.2.4 – Energia Geopotencial da Chuva

Área Total: 101×10^4 m².

Elevação Média = 50 m

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3$ mm/ano = 1,81 m/ano

Runoff = 5% da precipitação média = $0,05 \times 1,81 \text{ m/ano} = 0,0905 \text{ m/ano}$

Aceleração da gravidade = $9,8 \text{ m/s}^2$

Energia Geopotencial da Chuva = (área) x (elevação média) x (runoff) x (densidade) x (aceleração da gravidade).

Energia Geopotencial da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (50 \text{ m}) \times (0,0905 \text{ m/ano}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = \mathbf{4,479 \times 10^{10} \text{ J/ano}}$

Apêndice C.2.5 – Perda de solo (Plantação)

Área Total: 55 ha = 550.000 m^2 .

Taxa de erosão = $2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}$ (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = $5,4 \text{ kcal/g}$

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(550.000 \text{ m}^2) \times (2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = \mathbf{3,108 \times 10^{11} \text{ J/ano}}$

Apêndice C.2.6 – Perda de solo (Pastagens)

Área Total: 36 ha = 360.000 m^2 .

Taxa de erosão = $90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}$ (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = $5,4 \text{ kcal/g}$

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(360.000 \text{ m}^2) \times (90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = \mathbf{7,324 \times 10^9 \text{ J/ano}}$

Apêndice C.2.7 – Energia elétrica (eletricidade)

Total consumo = 192.000 kWh (consumo anual)

$1 \text{ kW} = 1000 \text{ J/s}$ e $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$

Total Energia Elétrica = $192.000 \text{ kWh} \times 1.000 \text{ J/s} \times 3600 \text{ s} = 6,912 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Considerando 50% para a produção de ovos e 20% comum a todos os sistemas = $0,5 \times 2,13 + 0,20 = 1,265$

Energia Elétrica = $1,265 \times 6,912 \times 10^{11} = \mathbf{8,744 \times 10^{11} \text{ J/ano}}$

Apêndice C.2.8 – Combustíveis

Massa = 5000 L

Densidade = $0,75 \text{ kg/L}$ (Agostinho, 2005)

Poder Calorífico = 1000 kg/kcal (Agostinho, 2005)

Total combustíveis = $5000 \text{ L} \times 0,75 \text{ kg/L} \times 1000 \text{ kcal/kg} \times 4186 \text{ J/kcal} = \mathbf{1,570 \times 10^{10} \text{ J/ano}}$

Apêndice C.2.9 – Mão de obra (36 Funcionários)

24 funcionários para produção de ovos (dado de campo)

Cada funcionário trabalha 260 dias/ano e consome 3000 kcal/dia

Mão de obra: $24 \times 285 \text{ dias/ano} \times 3000 \text{ kcal/dia} \times 4186 \text{ J/kcal} = \mathbf{8,59 \times 10^{10} \text{ J/ano}}$

Considerando 10 funcionários para a produção de ovos e 14 funcionários comuns a todos os sistemas = $10 \times 2,13 + 14 = \mathbf{36 \text{ funcionários}}$ (ovos com manutenção da receita)

Mão de obra = $36 \times 285 \text{ dias/ano} \times 3000 \text{ kcal/dia} \times 4186 \text{ J/kcal} = \mathbf{1,30 \times 10^{11} \text{ J/ano}}$

Apêndice C.2.10 – Água

Massa = 21.900 m^3 (dados de campo)

Considerando 40% para a produção de ovos e 20% comum a todos os sistemas = $0,4 \times 2,13 + 0,20 = 1,052$

Água = $1,052 \times 2,19 \times 10^4 = \mathbf{2,304 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ano}}$

Apêndice C.2.11 – Fertilizante

Massa = $49.000 \text{ kg} = 4,9 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo)

Apêndice C.2.12 – Sementes

Consumo de sementes na Fazenda = $1,08 \times 10^6 \text{ g}$ (dado de campo)

Apêndice C.2.13 – Milho

Consumo de milho na produção de ovos = $3,92 \times 10^4 \text{ kg} = 3,92 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo) $\times 2,13 = \mathbf{8,35 \times 10^7 \text{ g}}$

Consumo de milho na produção de leite = $2,80 \times 10^3 \text{ kg} = \mathbf{2,80 \times 10^6 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de milho na Fazenda (ovos + leite) = $8,63 \times 10^4 \text{ kg} = \mathbf{8,63 \times 10^7 \text{ g}}$

Produção da Fazenda = $8,82 \times 10^4 \text{ kg}$ de milho = $8,82 \times 10^7 \text{ g}$

A Fazenda praticamente produz o que consome (não compra milho), sobra $\mathbf{1,9 \times 10^6 \text{ g}}$

Apêndice C.2.14 – Farelo de soja e Núcleo

Consumo de farelo de soja na produção de ovos = $1,12 \times 10^4 \text{ kg} = 1,12 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo) $\times 2,13 = \mathbf{2,39 \times 10^7 \text{ g}}$

Consumo de núcleo na produção de ovos = $5,60 \times 10^3 \text{ kg} = 5,60 \times 10^6 \text{ g}$ (dado de campo) $\times 2,13 = \mathbf{1,19 \times 10^7 \text{ g}}$

Consumo de farelo de soja na produção de leite = $8,00 \times 10^2 \text{ kg} = 8,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de leite = $4,00 \times 10^2 \text{ kg} = 4,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Apêndice C.3 – Memorial de cálculo da energia por unidade do sistema de produção milho que sobra (seJ/g), do sistema de produção de ovos (seJ/g) e do sistema de produção de leite (seJ/g).

Apêndice C.3.1 Cálculo da energia por unidade da produção de milho que sobra

- Produção de milho na fazenda = $8,82 \times 10^7 \text{ g/ano}$

- Sobra de milho = $8,82 \times 10^7 \text{ g}$ (produção) – $8,63 \times 10^7 \text{ g}$ (consumo sem a produção de ovos) = $\mathbf{1,90 \times 10^6 \text{ g/ano}}$ (energia em massa)

- Energia total da Fazenda: $3,61 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $1,90 \times 10^6$ g/ano = $1,90 \times 10^{12}$ seJ/g
- **Energia/unidade = $1,90 \times 10^{12}$ seJ/g**

Apêndice C.3.2 Cálculo da energia 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 $\times 2,13 = 5,77 \times 10^8$ g/ano (energia em massa)
- Energia total da Fazenda: $3,61 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $5,77 \times 10^8$ g/ano = $6,26 \times 10^9$ seJ/g
- **Energia/unidade = $6,26 \times 10^9$ seJ/g**

Apêndice C.3.3 Cálculo da energia 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)

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

- 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)
- Energia total da Fazenda = $3,61 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade da produção de leite = Energia da Fazenda / Energia do leite = $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $2,23 \times 10^8$ g/ano = $1,73 \times 10^{10}$ seJ/g
- **Energia/unidade = $1,62 \times 10^{10}$ seJ/g**

Apêndice C.4 – Memorial de cálculo da energia por unidade (em seJ/g de proteínas) do sistema de produção do milho que sobra, do sistema de produção de ovos, do sistema de produção de leite e do sistema simulado sem a produção de carne com a manutenção da receita – 2,13 ovos (total).

Apêndice C.4.1 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de milho

- Massa de milho que sobra na Fazenda por ano = $1,90 \times 10^6$ g/ano (energia em massa)
- Cada 100g de milho possui 3,22g de proteína = 0,0322g de proteína por cada grama de milho (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de milho em gramas de proteína (por ano) = $0,0322 \times 1,90 \times 10^6$ g/ano = $6,12 \times 10^4$ g de proteína/ano (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,61 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de milho) = Energia da Fazenda/Energia do milho (em gramas de proteínas): $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $6,12 \times 10^4$ g/ano = $5,90 \times 10^{13}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $5,90 \times 10^{13}$ seJ/g de proteína**

Apêndice C.4.2 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de ovos

- Massa de ovos produzidos na Fazenda por ano = $2,71 \times 10^8$ g/ano x 2,13 = **$5,77 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)

Cada 100g de ovos possui 13g de proteína = 0,13g de proteína por cada grama de ovo (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).

- Massa de ovos em gramas de proteína (por ano) = $0,13 \times 5,77 \times 10^8$ g/ano = **$7,50 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)

- Energia total da Fazenda: $3,61 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de ovos) = Energia da Fazenda/Energia dos ovos (em gramas de proteínas): $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,50 \times 10^7$ g/ano = $4,81 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína

- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,81 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice C.4.3 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de leite

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano = **$2,23 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)

Cada 100g de leite possui 3,4g de proteína = 0,034g de proteína por cada grama de leite (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).

- Massa de leite em gramas de proteína (por ano) = $0,034 \times 2,23 \times 10^8$ g/ano = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)

- Energia total da Fazenda: $3,61 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de leite) = Energia da Fazenda/Energia do leite (em gramas de proteínas): $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,58 \times 10^6$ g/ano = $4,76 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína

- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,76 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice C.4.4 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) do sistema simulado sem a produção de carne com a manutenção da receita – 2,13 ovos (total).

- Massa de milho em gramas de proteína = **$6,12 \times 10^4$ g de proteína/ano**

- Massa de ovos em gramas de proteína = **$7,50 \times 10^7$ g de proteína/ano**

- Massa de leite em gramas de proteína = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano**

- Massa total em gramas de proteína (milho + ovos + leite) = **$8,26 \times 10^7$ g de proteína/ano**

- Energia total da Fazenda: $3,61 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (sistema sem a produção de carne com a manutenção da receita) = Energia da Fazenda/Energia total (em gramas de proteínas): $3,61 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $8,26 \times 10^7$ g/ano = $4,37 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína

- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,37 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice D – Sistema sem a produção de ovos

Apêndice D.1 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a implantação (construção)

Ao retirar o sistema de produção de ovos, as entradas de materiais da implantação que são exclusivas da criação de aves (produção de ovos) foram excluídas, portanto foram consideradas apenas 3 casas de funcionários, 1 casa sede, 3 galpões de 600m²; 7 galpões de 420m² e 2 galpões de 300m².

Apêndice D.1.1 – Casas utilizadas pelos funcionários da Fazenda

Concreto e aço utilizados na construção das casas de 80 m² cada

Concreto (cada casa)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 0,832 \text{ m}^3$$

Vigas

$$3 \times 7 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,787 \text{ m}^3$$

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 2,905 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 80 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,905 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 = 26,905 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 26,905 \text{ m}^3 = 6,726 \times 10^4 \text{ kg} = 6,726 \times 10^7 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,97 = 6,523 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{2,609 \times 10^6}$$

g/ano

Paredes

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 89,154 \text{ m}^2$$

$$3 \times 7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 54,600 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 143,754 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 1.797 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 1.797 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,752 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,008 \times 10^5}$$

g/ano

$$\text{Total: } 2,609 \times 10^6 \text{ g} + 7,008 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 casa)} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\underline{\text{Total de concreto (para 3 casas)} = 3 \times 3,310 \times 10^6 = 9,930 \times 10^6 \text{ g/ano}}}}$$

Aço (cada casa)

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,03 = 2,018 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 casa)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para 3 casas) = $3 \times 8,072 \times 10^4 = 2,422 \times 10^5$ g/ano

Apêndice D.1.2 – Casa sede

Concreto e aço utilizados na construção da casa sede de 150 m²

Concreto

Colunas

$$10 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 1,040 \text{ m}^3$$

Vigas

$$4 \times 10 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,500 \text{ m}^3$$

$$3 \times 15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,687 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 3,187 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 150 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 3,187 \text{ m}^3 + 45 \text{ m}^3 = 48,187 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 48,187 \text{ m}^3 = 1,205 \times 10^5 \text{ kg} = 1,205 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 1,168 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{4,674 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 15 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 117 \text{ m}^2$$

$$4 \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 104 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 221 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.763 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.763 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,694 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,078 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 4,674 \times 10^6 \text{ g/ano} + 1,078 \times 10^6 \text{ g/ano} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Total de concreto (para a casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Aço

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 3,615 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para a casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Apêndice D.1.3 – Galpões de 600m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 600 m²

Concreto (cada galpão de 600 m²)

Colunas

$$14 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,680 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 600 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,680 \text{ m}^3 + 180 \text{ m}^3 = 181,680 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 181,680 \text{ m}^3 = 4,542 \times 10^5 \text{ kg} = 4,542 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 4,406 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,762 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 200 \text{ m}^2$$

$$2 \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 48 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 248 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 3.100 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 3.100 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 3,022 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,209 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,762 \times 10^7 \text{ g} + 1,209 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 3 galpões de } 600\text{m}^2) = 3 \times 1,883 \times 10^7 = 5,649 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 600 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 1,363 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para 3 galpões de } 600\text{m}^2) = 3 \times 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano} = 1,635 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice D.1.4 – Galpões de 420m²**Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 420 m²****Concreto (cada galpão de 420 m²)**

Colunas

$$12 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,440 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 420 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 126 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,440 \text{ m}^3 + 126 \text{ m}^3 = 127,440 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 127,440 \text{ m}^3 = 3,186 \times 10^5 \text{ kg} = 3,186 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 3,090 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,236 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 42 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 168 \text{ m}^2$$

$$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 208 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.600 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.600 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,535 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,014 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,236 \times 10^7 \text{ g} + 1,014 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 420\text{m}^2) = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 7 galpões de } 420\text{m}^2) = 7 \times 1,337 \times 10^7 = 9,359 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 420 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 9,558 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 galpão de } 420\text{m}^2) = \mathbf{3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para 7 galpões de } 420\text{m}^2) = 7 \times 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano} = 2,676 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice D.1.5 – Galpões de 300m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 300 m²

Concreto (cada galpão de 300 m²)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 0,960 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 300 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 90 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 0,960 \text{ m}^3 + 90 \text{ m}^3 = 90,960 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 90,960 \text{ m}^3 = 2,274 \times 10^5 \text{ kg} = 2,274 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 2,206 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,823 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 30 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 120 \text{ m}^2$$

$$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 160 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.000 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.000 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,950 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,800 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 8,823 \times 10^6 \text{ g} + 7,800 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{9,603 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 300\text{m}^2) = \mathbf{9,603 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 2 galpões de } 300\text{m}^2) = 2 \times 9,603 \times 10^6 = 1,921 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 300 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 6,822 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 400m^2) = $2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 2 galpões de 300m^2) = $2 \times 2,729 \times 10^5 = 5,458 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Apêndice D.1.6 – Equipamentos, máquinas agrícolas e tratores

- Equipamentos e Máquinas Agrícolas (Fonte: www.baldan.com.br - 24/03/2011)

2 semeadoras de arrasto: $2 \times 1030 \text{ kg} = 2060 \text{ kg}$

2 máquinas de arado: $2 \times 547 \text{ kg} = 1094 \text{ kg}$

Colheitadeira + carreta agrícola = 2130 kg

Massa total: $5.284 \text{ kg} = 5,284 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = 5,284 \times 10^5 \text{ g/ano}$

- Tratores (Fonte: www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200 - 24/03/2011)

Massa de um trator de 65 cv: $3.250 \text{ kg} = 3,250 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = 3,250 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Massa de um trator de 120 cv: $6.600 \text{ kg} = 6,600 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = 6,660 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Massa total de aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice D.1.7 – Total de materiais referentes à implantação (construção) – Soma dos Apêndices C.1 até C.6

Concreto (3 casas) = $9,930 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Concreto (casa sede de 150 m^2) = $5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Concreto (3 galpões de 600m^2) = $5,649 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Concreto (7 galpões de 420m^2) = $9,359 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Concreto (2 galpões de 300m^2) = $1,921 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Total de concreto = $1,850 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (3 casas) = $2,422 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (casa sede de 150 m^2) = $1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (3 galpões de 600m^2) = $1,635 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Aço (7 galpões de 420m^2) = $2,676 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Aço (2 galpões de 300m^2) = $5,458 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Total de aço = $6,763 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice D.2 – Memorial de cálculo dos insumos referentes à utilização da Fazenda

Apêndice D.2.1 – Irradiação Solar

Insolação média = $4,97\text{kWh/m}^2.\text{dia}$ (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Albedo: 22% ($1 - 0,22 = 0,78$) (Fonte: Bice, 2001)

Total Irradiação Solar = $101 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 4,97 \text{ kWh/m}^2 \times 1.000 \text{ J/s} \times 3600\text{s} \times 0,78 = \mathbf{1,409 \times 10^{13} \text{ J/ano}}$

Apêndice D.2.2 – Energia Cinética do Vento

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Velocidade média sazonal a 50 m de altura: 5,40 m/s (Fonte: Sundata:
<http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Densidade do ar = $1,23 \text{ kg/m}^3$ (Odum, 1996)

Drag Coefficient = $1,00 \times 10^{-3}$ (Cavalett *et al.*, 2006)

Energia Cinética do Vento = (área) x (densidade do ar) x (drag coefficient) x (velocidade do vento)³.

Energia Cinética do Vento = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,23 \text{ kg/m}^3) \times (1,00 \times 10^{-3}) \times (5,40 \text{ m/s})^3 \times (3,14 \times 10^7 \text{ s/ano}) = \mathbf{2,106 \times 10^{11} \text{ J/ano}}$

Apêndice D.2.3 – Energia Química da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Energia Livre de Gibbs = 4.940 J/kg (Odum, 1996)

Energia Química da Chuva = (área) x (precipitação) x (Energia Livre de Gibbs).

Energia Química da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,81 \text{ m/ano}) \times (4.940 \text{ J/kg}) \times (1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) = \mathbf{9,031 \times 10^{12} \text{ J/ano}}$

Apêndice D.2.4 – Energia Geopotencial da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Elevação Média = 50 m

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Runoff = 5% da precipitação média = $0,05 \times 1,81 \text{ m/ano} = 0,0905 \text{ m/ano}$

Aceleração da gravidade = $9,8 \text{ m/s}^2$

Energia Geopotencial da Chuva = (área) x (elevação média) x (runoff) x (densidade) x (aceleração da gravidade).

Energia Geopotencial da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (50 \text{ m}) \times (0,0905 \text{ m/ano}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = \mathbf{4,479 \times 10^{10} \text{ J/ano}}$

Apêndice D.2.5 – Perda de solo (Plantação)

Área Total: 55 ha = 550.000 m².

Taxa de erosão = $2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}$ (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(550.000 \text{ m}^2) \times (2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = \mathbf{3,108 \times 10^{11} \text{ J/ano}}$

Apêndice D.2.6 – Perda de solo (Pastagens)

Área Total: 36 ha = 360.000 m².

Taxa de erosão = 90 g/m².ano (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = (360.000 m²) x (90 g/m².ano) x (0,01) x (5,4 kcal/g) x (4.186 J/kcal) = **7,324 x 10⁹ J/ano**

Apêndice D.2.7 – Energia elétrica (eletricidade)

Total consumo = 192.000 kWh (consumo anual)

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Total Energia Elétrica = 192.000 kWh x 1.000 J/s x 3600s = 6,912 x 10¹¹ J/ano

Considerando 30% para a produção de carne e 20% comum a todos os sistemas (50% de Energia Elétrica) = 0,5 x 6,912 x 10¹¹ = **3,456 x 10¹¹ J/ano**

Apêndice D.2.8 – Combustíveis

Massa = 5000 L

Densidade = 0,75 kg/L (Agostinho, 2005)

Poder Calorífico = 1000 kcal/kg (Agostinho, 2005)

Total combustíveis = 5000 L x 0,75 kg/L x 1000 kcal/kg x 4186 J/kcal = **1,570 x 10¹⁰ J/ano**

Apêndice D.2.9 – Mão de obra (20 Funcionários)

Total = 20 funcionários (dado de campo)

Cada funcionário trabalha 260 dias/ano e consome 3000 kcal/dia

Considerando 6 funcionários para a produção de carne e 14 comuns a todos os sistemas = 20 funcionários

Mão de obra: 20 x 260 dias/ano x 3000 kcal/dia x 4186 J/kcal = **7,16 x 10¹⁰ J/ano**

Apêndice D.2.10 – Água

Massa = 21.900 m³ (dados de campo)

Considerando 60% de água (sem as aves) = 0,6 x 2,19 x 10⁴ = **1,314 x 10⁴ m³.**

Apêndice D.2.11 – Fertilizante

Massa = 49.000 kg = 4,9 x 10⁷ g (dado de campo)

Apêndice D.2.12 – Sementes

Consumo de sementes na Fazenda = 1,08 x 10⁶ g (dado de campo)

Apêndice D.2.13 – Milho

Consumo de milho na produção de suínos = 8,40 x 10⁴ kg = 8,40 x 10⁷ g

Consumo de milho na produção de leite = $2,80 \times 10^3 \text{ kg} = 2,80 \times 10^6 \text{ g}$

Consumo de milho na Fazenda (sem a produção de ovos) = **$8,68 \times 10^7 \text{ g}$** (dado de campo)

A Fazenda produz = $8,82 \times 10^4 \text{ kg}$ de milho = **$8,82 \times 10^7 \text{ g}$** , portanto não compra milho de fora (sistema econômico)

Apêndice D.2.14 – Farelo de soja e Núcleo

Consumo de farelo de soja na produção de suínos = $2,40 \times 10^4 \text{ kg} = 2,40 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de suínos = $1,20 \times 10^4 \text{ kg} = 1,20 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo)

Consumo de farelo de soja na produção de leite = $8,00 \times 10^2 \text{ kg} = 8,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de leite = $4,00 \times 10^2 \text{ kg} = 4,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Apêndice D.3 – Memorial de cálculo da energia por unidade do sistema de produção do milho que sobra (seJ/g), do sistema de produção de carne de porco (seJ/J) e do sistema de produção de leite (seJ/g).

Apêndice D.3.1 Cálculo da energia por unidade da produção de milho que sobra

- Produção de milho na fazenda = $8,82 \times 10^7 \text{ g/ano}$

- Sobra de milho = $8,82 \times 10^7 \text{ g}$ (produção) – $8,68 \times 10^7 \text{ g}$ (consumo sem a produção de ovos) = **$1,40 \times 10^6 \text{ g/ano}$** (energia em massa)

- Energia total da Fazenda: $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 1,40 \times 10^6 \text{ g/ano} = 1,74 \times 10^{12} \text{ seJ/g}$

- **Energia/unidade = $1,74 \times 10^{12} \text{ seJ/g}$**

Apêndice D.3.2 Cálculo da energia por unidade da produção de carne de porco (suínos)

- Produção: 350 carcaças por mês = 4.200 carcaças por ano

- Massa de cada carcaça: 75 kg

- Massa de carcaças produzidas na Fazenda por ano: $4.200 \times 75 = 3,15 \times 10^5 \text{ kg/ano}$ (energia em massa)

- Energia das carcaças (em joules): $3,15 \times 10^5 \text{ kg} \times 2.341 \text{ kcal/kg}$ (Cavalett, 2006) $\times 4186 \text{ J/kcal} = 3,09 \times 10^{12} \text{ J}$.

- Energia total da Fazenda: $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de carne de porco = Energia da Fazenda / Energia das carcaças: $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 3,09 \times 10^{12} \text{ J/ano} = 7,90 \times 10^5 \text{ seJ/J}$

- **Energia/unidade = $7,90 \times 10^5 \text{ seJ/J}$**

Apêndice D.3.3 Cálculo da energia por unidade da produção de leite

- Produção: 18.000 litros por mês = 216.000 litros por ano = $2,16 \times 10^8 \text{ cm}^3$ de leite por ano

- Densidade do leite (média): $1,032 \text{ g/cm}^3$ (Embrapa)

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano: $2,16 \times 10^8 \times 1,032 \text{ g/cm}^3 = 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Energia total da Fazenda = $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade da produção de leite = Energia da Fazenda / Energia do leite = $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano} = 1,09 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$
- **Energia/unidade = $1,09 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice D.4 – Memorial de cálculo da energia por unidade (em seJ/g de proteínas) do sistema de produção do milho que sobra, do sistema de produção de carne, do sistema de produção de leite e do sistema simulado sem a produção de ovos (total).

Apêndice D.4.1 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de milho

- Massa de milho que sobra na Fazenda por ano = $1,40 \times 10^6 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Cada 100g de milho possui 3,22g de proteína = 0,0322g de proteína por cada grama de milho (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de milho em gramas de proteína (por ano) = $0,0322 \times 1,40 \times 10^6 \text{ g/ano} = 4,51 \times 10^4 \text{ g de proteína/ano}$ (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de milho) = Energia da Fazenda/Energia do milho (em gramas de proteínas): $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 4,51 \times 10^4 \text{ g/ano} = 5,41 \times 10^{13} \text{ seJ/g de proteína}$
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $5,41 \times 10^{13} \text{ seJ/g de proteína}$**

Apêndice D.4.2 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de carne de porco (suínos)

- Massa de carne (carcaças) produzidas na Fazenda por ano = $3,15 \times 10^5 \text{ kg/ano} = 3,15 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Cada 100g de carne possui 25g de proteína = 0,25g de proteína por cada grama de carne (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de carne em gramas de proteína (por ano) = $0,25 \times 3,15 \times 10^8 \text{ g/ano} = 7,88 \times 10^7 \text{ g de proteína/ano}$ (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ}$
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de carne) = Energia da Fazenda/Energia da carne (em gramas de proteínas): $2,44 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 7,88 \times 10^7 \text{ g/ano} = 3,10 \times 10^{10} \text{ seJ/g de proteína}$
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $3,10 \times 10^{10} \text{ seJ/g de proteína}$**

Apêndice D.4.3 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de leite

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano = $2,23 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)
- Cada 100g de leite possui 3,4g de proteína = 0,034g de proteína por cada grama de leite (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de leite em gramas de proteína (por ano) = $0,034 \times 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano} = 7,58 \times 10^6 \text{ g de proteína/ano}$ (energia em gramas de proteínas)

- Energia total da Fazenda: $2,44 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de leite) = Energia da Fazenda/Energia do leite (em gramas de proteínas): $2,44 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,58 \times 10^6$ g/ano = $3,22 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $3,22 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice D.4.4 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) do sistema simulado sem a produção de ovos (total)

- Massa de milho em gramas de proteína = **$4,51 \times 10^4$ g de proteína/ano**
- Massa de carne em gramas de proteína = **$7,88 \times 10^7$ g de proteína/ano**
- Massa de leite em gramas de proteína = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano**
- Massa total em gramas de proteína (milho + carne + leite) = **$8,64 \times 10^7$ g de proteína/ano**
- Energia total da Fazenda: $2,44 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (sistema sem a produção de ovos) = Energia da Fazenda/Energia total (em gramas de proteínas): $2,44 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $8,64 \times 10^7$ g/ano = $2,82 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $2,82 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice E – Sistema sem a produção de ovos com manutenção da receita original (1,89 vezes a produção de suínos)

Apêndice E.1 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a implantação (construção)

Retirando o sistema de produção de ovos da fazenda, porém, mantendo a receita, considerou-se que toda a infraestrutura da fazenda é necessária, pois as casas e galpões que eram exclusivos da produção de ovos podem ser adaptados para uma maior produção de carne. Foram consideradas 6 casas de funcionários, 1 casa sede, 1 galpão de 1000m², 7 galpões de 600m², 8 galpões de 420m² e 2 galpões de 300m².

Apêndice E.1.1 – Casas utilizadas pelos funcionários da Fazenda

Concreto e aço utilizados na construção das casas de 80 m² cada

Concreto (cada casa)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 0,832 \text{ m}^3$$

Vigas

$$3 \times 7 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,787 \text{ m}^3$$

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 2,905 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 80 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,905 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 = 26,905 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 26,905 \text{ m}^3 = 6,726 \times 10^4 \text{ kg} = 6,726 \times 10^7 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,97 = 6,523 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{2,609 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 89,154 \text{ m}^2$$

$$3 \times 7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 54,600 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 143,754 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 1.797 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 1.797 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,752 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,008 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 2,609 \times 10^6 \text{ g} + 7,008 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 casa)} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\underline{\text{Total de concreto (para 6 casas)} = 6 \times 3,310 \times 10^6 = 1,986 \times 10^7 \text{ g/ano}}}}$$

Aço (cada casa)

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,03 = 2,018 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g}}$$

Total de aço (para 1 casa) = $8,072 \times 10^4$ g/ano

Total de aço (para 6 casas) = $6 \times 8,072 \times 10^4 = 4,843 \times 10^5$ g/ano

Apêndice E.1.2 – Casa sede

Concreto e aço utilizados na construção da casa sede de 150 m²

Concreto

Colunas

$$10 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 1,040 \text{ m}^3$$

Vigas

$$4 \times 10 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,500 \text{ m}^3$$

$$3 \times 15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,687 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 3,187 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 150 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 3,187 \text{ m}^3 + 45 \text{ m}^3 = 48,187 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 48,187 \text{ m}^3 = 1,205 \times 10^5 \text{ kg} = 1,205 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 1,168 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{4,674 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 15 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 117 \text{ m}^2$$

$$4 \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 104 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 221 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.763 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.763 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,694 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,078 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 4,674 \times 10^6 \text{ g/ano} + 1,078 \times 10^6 \text{ g/ano} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Total de concreto (para a casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Aço

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 3,615 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

Total de aço (para a casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Apêndice E.1.3 – Galpão de 1000m²

Concreto e aço utilizados na construção do galpão de 1000 m²

Concreto

Colunas

$$18 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 4,0 \text{ m (altura)} = 2,880 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,880 \text{ m}^3 + 300 \text{ m}^3 = 302,880 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 302,880 \text{ m}^3 = 7,572 \times 10^5 \text{ kg} = 7,572 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 7,368 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{3,029 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 72 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 288 \text{ m}^2$$

$$2 \times 14 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 56 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 344 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 4.300 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 4.300 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 4,192 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,677 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 3,029 \times 10^7 \text{ g} + 1,677 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{3,152 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{3,197 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 2,272 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice E.1.4 – Galpões de 600m²**Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 600 m²****Concreto (cada galpão de 600 m²)**

Colunas

$$14 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,680 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 600 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,680 \text{ m}^3 + 180 \text{ m}^3 = 181,680 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 181,680 \text{ m}^3 = 4,542 \times 10^5 \text{ kg} = 4,542 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 4,406 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,762 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 200 \text{ m}^2$$

$$2 \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 48 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 248 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 3.100 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 3.100 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 3,022 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,209 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,762 \times 10^7 \text{ g} + 1,209 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{1,883 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 7 galpões de } 600\text{m}^2) = 7 \times 1,883 \times 10^7 = 1,318 \times 10^8 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 600 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 1,363 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 galpão de } 600\text{m}^2) = \mathbf{5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para 7 galpões de } 600\text{m}^2) = 7 \times 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano} = 3,815 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice E.1.5 – Galpões de 420m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 420 m²

Concreto (cada galpão de 420 m²)

Colunas

$$12 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,440 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 420 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 126 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,440 \text{ m}^3 + 126 \text{ m}^3 = 127,440 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 127,440 \text{ m}^3 = 3,186 \times 10^5 \text{ kg} = 3,186 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 3,090 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,236 \times 10^7 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$2 \times 42 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 168 \text{ m}^2$$

$$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 208 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.600 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.600 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,535 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,014 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 1,236 \times 10^7 \text{ g} + 1,014 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 galpão de } 420\text{m}^2) = \mathbf{1,337 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 8 galpões de } 420\text{m}^2) = 8 \times 1,337 \times 10^7 = 1,070 \times 10^8 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada galpão de 420 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 9,558 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 420m²) = **$3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$**

Total de aço (para 8 galpões de 420m²) = $8 \times 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano} = 3,059 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice E.1.6 – Galpões de 300m²**Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 300 m²****Concreto (cada galpão de 300 m²)**

Colunas

$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 0,960 \text{ m}^3$

Piso e Laje

$2 \times 300 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 90 \text{ m}^3$

Total: $0,960 \text{ m}^3 + 90 \text{ m}^3 = 90,960 \text{ m}^3$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m^3

Massa total (piso, laje e colunas): $2.500 \text{ kg/m}^3 \times 90,960 \text{ m}^3 = 2,274 \times 10^5 \text{ kg} = 2,274 \times 10^8 \text{ g}$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): $2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 2,206 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 8,823 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Paredes

$2 \times 30 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 120 \text{ m}^2$

$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$

Área total = $160 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.000 \text{ blocos}$

Total: $2.000 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,950 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 7,800 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total: $8,823 \times 10^6 \text{ g} + 7,800 \times 10^5 \text{ g} = 9,603 \times 10^6 \text{ g}$

Total de concreto (para 1 galpão de 300m²) = **$9,603 \times 10^6 \text{ g}$**

Total de concreto (para 2 galpões de 300m²) = $2 \times 9,603 \times 10^6 = 1,921 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 300 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $2,274 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 6,822 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 400m²) = **$2,729 \times 10^5 \text{ g/ano}$**

Total de aço (para 2 galpões de 300m²) = $2 \times 2,729 \times 10^5 = 5,458 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Apêndice E.1.7 – Equipamentos, máquinas agrícolas e tratores

- Equipamentos e Máquinas Agrícolas (Fonte: www.baldan.com.br - 24/03/2011)

2 semesadoras de arrasto: $2 \times 1030 \text{ kg} = 2060 \text{ g}$

2 máquinas de arado: $2 \times 547 \text{ kg} = 1094 \text{ kg}$

Colheitadeira + carreta agrícola = 2130 kg

Massa total: 5.284 kg = $5,284 \times 10^6$ g / 10 anos (depreciação) = **$5,284 \times 10^5$ g/ano**

- Tratores (Fonte: www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200 - 24/03/2011)

Massa de um trator de 65 cv: 3.250 kg = $3,250 \times 10^6$ g / 10 anos (depreciação) = **$3,250 \times 10^5$ g/ano**

Massa de um trator de 120 cv: 6.600 kg = $6,600 \times 10^6$ g / 10 anos (depreciação) = **$6,660 \times 10^5$ g/ano**

Massa total de aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6$ g/ano

Apêndice E.1.8 – Total de materiais referentes à implantação (construção) – Soma dos Apêndices A.1 até A.7

Concreto (6 casas) = $1,986 \times 10^7$ g/ano

Concreto (casa sede de 150 m²) = $5,752 \times 10^6$ g/ano

Concreto (galpão de 1000m²) = $3,197 \times 10^7$ g/ano

Concreto (7 galpões de 600m²) = $1,318 \times 10^8$ g/ano

Concreto (8 galpões de 420m²) = $1,070 \times 10^8$ g/ano

Concreto (2 galpões de 300m²) = $1,921 \times 10^7$ g/ano

Total de concreto = $3,156 \times 10^8$ g/ano

Aço (6 casas) = $4,843 \times 10^5$ g/ano

Aço (casa sede de 150 m²) = $1,446 \times 10^5$ g/ano

Aço (galpão de 1000m²) = $9,088 \times 10^5$ g/ano

Aço (7 galpões de 600m²) = $3,815 \times 10^6$ g/ano

Aço (8 galpões de 420m²) = $3,059 \times 10^6$ g/ano

Aço (2 galpões de 300m²) = $5,458 \times 10^5$ g/ano

Aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6$ g/ano

Total de aço = $1,048 \times 10^7$ g/ano

Apêndice E.2 – Memorial de cálculo dos insumos referentes à utilização da Fazenda

Caixa de ovos com 30 dúzias = R\$ 75,00/360 = R\$ 0,208 cada ovo - Dado de campo

Produção de ovos = $4,92 \times 10^6$ ovos x R\$ 0,208 = R\$ 1.023.360,00

1 carcaça de carne de porco (em média 75 kg) = R\$ 3,67/kg – Dado de campo

Produção de carne (suínos) = $3,15 \times 10^5$ kg x R\$3,67/kg = R\$ 1.156.050,00

R\$ 0,90 o litro do leite = R\$ 0,90/L – Dado de campo

Densidade do leite = 1,032 g/mL

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

Produção de leite = $2,16 \times 10^5$ L x R\$0,90/L = R\$ 194.400,00

Faturamento estimado da Fazenda = R\$ 2.373.810,00

Faturamento estimado da Fazenda (produção de ovos + produção de carne) = R\$ 2.179.410,00

Retirando a produção de ovos e considerando que a produção de carne deve gerar a mesma receita da produção de ovos, temos:

Produção de carne = R\$ 1.156.050,00 (atual) = $3,15 \times 10^8$ g

Considerando utilizar o faturamento de R\$ 2.179.410,00 a produção de carne deveria ser de $5,94 \times 10^8$ g, ou seja **1,89 vezes maior do que a do Sistema Integrado real.**

Apêndice E.2.1 – Irradiação Solar

Insolação média = 4,97kWh/m².dia (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Área Total: 101×10^4 m².

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Albedo: 22% (1- 0,22 = 0,78) (Fonte: Bice, 2001)

Total Irradiação Solar = 101×10^4 m² x 4,97 kWh/m² x 1.000 J/s x 3600s x 0,78 = **$1,409 \times 10^{13}$ J/ano**

Apêndice E.2.2 – Energia Cinética do Vento

Área Total: 101×10^4 m².

Velocidade média sazonal a 50 m de altura: 5,40 m/s (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Densidade do ar = 1,23 kg/m³ (Odum, 1996)

Drag Coefficient = $1,00 \times 10^{-3}$ (Cavallet *et al.*, 2006)

Energia Cinética do Vento = (área) x (densidade do ar) x (drag coefficient) x (velocidade do vento)³.

Energia Cinética do Vento = $(101 \times 10^4$ m²) x (1,23 kg/m³) x $(1,00 \times 10^{-3})$ x $(5,40$ m/s)³ x $(3,14 \times 10^7$ s/ano) = **$2,106 \times 10^{11}$ J/ano**

Apêndice E.2.3 – Energia Química da Chuva

Área Total: 101×10^4 m².

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3$ mm/ano = 1,81 m/ano

Energia Livre de Gibbs = 4.940 J/kg (Odum, 1996)

Energia Química da Chuva = (área) x (precipitação) x (Energia Livre de Gibbs).

Energia Química da Chuva = $(101 \times 10^4$ m²) x (1,81 m/ano) x (4.940 J/kg) x $(1,00 \times 10^3$ kg/m³) = **$9,031 \times 10^{12}$ J/ano**

Apêndice E.2.4 – Energia Geopotencial da Chuva

Área Total: 101×10^4 m².

Elevação Média = 50 m

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3$ mm/ano = 1,81 m/ano

Runoff = 5% da precipitação média = $0,05 \times 1,81$ m/ano = 0,0905 m/ano

Aceleração da gravidade = $9,8$ m/s²

Energia Geopotencial da Chuva = (área) x (elevação média) x (runoff) x (densidade) x (aceleração da gravidade).

Energia Geopotencial da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (50 \text{ m}) \times (0,0905 \text{ m/ano}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 4,479 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Apêndice E.2.5 – Perda de solo (Plantação)

Área Total: 55 ha = 550.000 m².

Taxa de erosão = 2500 g/m².ano (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(550.000 \text{ m}^2) \times (2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 3,108 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice E.2.6 – Perda de solo (Pastagens)

Área Total: 36 ha = 360.000 m².

Taxa de erosão = 90 g/m².ano (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(360.000 \text{ m}^2) \times (90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 7,324 \times 10^9 \text{ J/ano}$

Apêndice E.2.7 – Energia elétrica (eletricidade)

Total consumo = 192.000 kWh (consumo anual)

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Total Energia Elétrica = $192.000 \text{ kWh} \times 1.000 \text{ J/s} \times 3600\text{s} = 6,912 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Considerando 30% para a produção de carne e 20% comum a todos os sistemas = $0,3 \times 1,89 + 0,20 = 0,767$

Energia Elétrica = $0,767 \times 6,912 \times 10^{11} = 5,301 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice E.2.8 – Combustíveis

Massa = 5000 L

Densidade = 0,75 kg/L (Agostinho, 2005)

Poder Calorífico = 1000 kcal/kg (Agostinho, 2005)

Total combustíveis = $5000 \text{ L} \times 0,75 \text{ kg/L} \times 1000 \text{ kcal/kg} \times 4186 \text{ J/kcal} = 1,570 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Apêndice E.2.9 – Mão de obra (26 Funcionários)

Total = 20 funcionários para a produção de carne (dado de campo)

Cada funcionário trabalha 260 dias/ano e consome 3000 kcal/dia

Considerando 6 funcionários para a produção de carne e 14 funcionários comuns a todos os sistemas = $6 \times 1,89 + 14 = 26 \text{ funcionários}$ (carne com manutenção da receita)

Mão de obra = $26 \times 285 \text{ dias/ano} \times 3000 \text{ kcal/dia} \times 4186 \text{ J/kcal} = 9,30 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Apêndice E.2.10 – Água

Massa = 21.900 m³ (dados de campo)

Considerando 40% para a produção de carne e 20% comum a todos os sistemas = $0,4 \times 1,89 + 0,20 = 0,956$

Água = $0,956 \times 2,19 \times 10^4 = 2,094 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ano}$

Apêndice E.2.11 – Fertilizante

Massa = 49.000 kg = $4,9 \times 10^7$ g (dado de campo)

Apêndice E.2.12 – Sementes

Consumo de sementes na Fazenda = $1,08 \times 10^6$ g (dado de campo)

Apêndice E.2.13 – Milho

Consumo de milho na produção de suínos = $8,40 \times 10^4$ kg = $8,40 \times 10^7$ g (dado de campo) x 1,89 = **$1,59 \times 10^8$ g**

Consumo de milho na produção de leite = $2,80 \times 10^3$ kg = **$2,80 \times 10^6$ g** (dado de campo)

Consumo de milho na Fazenda (suínos + leite) = $1,62 \times 10^5$ kg = **$1,62 \times 10^8$ g**

Produção da Fazenda = $8,82 \times 10^4$ kg de milho = $8,82 \times 10^7$ g

Milho (falta) = $7,38 \times 10^7$ g (compra de milho)

sendo 98,3% da produção de carne e 1,73% da produção de leite

Milho (produção de carne) = $0,983 \times 7,38 \times 10^7$ g = **$7,25 \times 10^7$ g**

Milho (produção de leite) = $0,0173 \times 7,38 \times 10^7$ g = **$1,28 \times 10^6$ g**

Apêndice E.2.14 – Farelo de soja e Núcleo

Consumo de farelo de soja na produção de suínos = $2,40 \times 10^4$ kg = $2,40 \times 10^7$ g (dado de campo) x 1,89 = **$4,54 \times 10^7$ g**

Consumo de núcleo na produção de suínos = $1,20 \times 10^4$ kg = $1,20 \times 10^7$ g (dado de campo) x 1,89 = **$2,27 \times 10^7$ g**

Consumo de farelo de soja na produção de leite = $8,00 \times 10^2$ kg = **$8,00 \times 10^5$ g** (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de leite = $4,00 \times 10^2$ kg = **$4,00 \times 10^5$ g** (dado de campo)

Apêndice E.3 – Memorial de cálculo da energia por unidade do sistema de produção de ovos (seJ/g), do sistema de produção de carne de porco (seJ/J) e do sistema de produção de leite (seJ/g).**Apêndice E.3.1 Cálculo da energia por unidade da produção de carne de porco (suínos)**

- Produção: 350 carcaças por mês = 4.200 carcaças por ano

- Massa de cada carcaça: 75 kg

- Massa de carcaças produzidas na Fazenda por ano: $4.200 \times 75 = 3,15 \times 10^5$ kg/ano (energia em massa)

- Energia 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 x 1,89 = $5,84 \times 10^{12}$ J.**

- Energia total da Fazenda: $3,30 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade da produção de carne de porco = Energia da Fazenda / Energia das carcaças: $3,30 \times 10^{18}$ seJ/ ano / $5,84 \times 10^{12}$ J/ano = $5,65 \times 10^5$ seJ/J
- **Energia/unidade = $5,65 \times 10^5$ seJ/J**

Apêndice E.3.2 Cálculo da energia 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)

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

- 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)
- Energia total da Fazenda = $3,30 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade da produção de leite = Energia da Fazenda / Energia do leite = $3,30 \times 10^{18}$ seJ/ano / $2,23 \times 10^8$ g/ano = $1,48 \times 10^{10}$ seJ/g
- **Energia/unidade = $1,48 \times 10^{10}$ seJ/g**

Apêndice E.4 – Memorial de cálculo da energia por unidade (em seJ/g de proteínas) do sistema de produção de carne, do sistema de produção de leite e do sistema simulado sem a produção de ovos com manutenção da receita – 1,89 carne (total).

Apêndice E.4.1 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de carne de porco (suínos)

- Massa de carne (carcaças) produzidas na Fazenda por ano = $3,15 \times 10^5$ kg/ano = $3,15 \times 10^8$ g/ano x 1,89 = **$5,95 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de carne possui 25g de proteína = 0,25g de proteína por cada grama de carne (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de carne em gramas de proteína (por ano) = $0,25 \times 5,95 \times 10^8$ g/ano = **$1,49 \times 10^8$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,30 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de carne) = Energia da Fazenda/Energia da carne (em gramas de proteínas): $3,30 \times 10^{18}$ seJ/ano / $1,49 \times 10^8$ g/ano = $2,21 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $2,21 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice E.4.2 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de leite

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano = **$2,23 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de leite possui 3,4g de proteína = 0,034g de proteína por cada grama de leite (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de leite em gramas de proteína (por ano) = $0,034 \times 2,23 \times 10^8$ g/ano = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,30 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de leite) = Energia da Fazenda/Energia do leite (em gramas de proteínas): $3,30 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,58 \times 10^6$ g/ano = $4,35 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,35 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice E.4.3 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) do sistema simulado sem a produção de ovos com a manutenção da receita – 1,89 carne (total)

- Massa de carne em gramas de proteína = $1,49 \times 10^8$ g de proteína/ano
- Massa de leite em gramas de proteína = $7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano
- Massa total em gramas de proteína (carne + leite) = $1,57 \times 10^8$ g de proteína/ano
- Energia total da Fazenda: $3,30 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (sistema sem produção de ovos com a manutenção da receita) = Energia da Fazenda/Energia total (em gramas de proteínas): $3,30 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $1,57 \times 10^8$ g/ano = $2,10 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $2,10 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice F – Sistema sem a produção de milho

Apêndice F.1 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a implantação (construção)

Retirando o sistema de produção de milho da fazenda, considerou-se que toda a infraestrutura da fazenda é necessária. Foram consideradas 6 casas de funcionários, 1 casa sede, 1 galpão de 1000m², 7 galpões de 600m², 8 galpões de 420m² e 2 galpões de 300m².

Apêndice F.1.1 – Casas utilizadas pelos funcionários da Fazenda

Concreto e aço utilizados na construção das casas de 80 m² cada

Concreto (cada casa)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 0,832 \text{ m}^3$$

Vigas

$$3 \times 7 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,787 \text{ m}^3$$

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 2,905 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 80 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,905 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 = 26,905 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 26,905 \text{ m}^3 = 6,726 \times 10^4 \text{ kg} = 6,726 \times 10^7 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,97 = 6,523 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{2,609 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 89,154 \text{ m}^2$$

$$3 \times 7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 54,600 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 143,754 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 1.797 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 1.797 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,752 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,008 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 2,609 \times 10^6 \text{ g} + 7,008 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 casa)} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 6 casas)} = 6 \times 3,310 \times 10^6 = 1,986 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada casa)

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,03 = 2,018 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 casa)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para 6 casas)} = 6 \times 8,072 \times 10^4 = 4,843 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice F.1.2 – Casa sede

Concreto e aço utilizados na construção da casa sede de 150 m²

Concreto

Colunas

$$10 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 1,040 \text{ m}^3$$

Vigas

$$4 \times 10 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,500 \text{ m}^3$$

$$3 \times 15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,687 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 3,187 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 150 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 3,187 \text{ m}^3 + 45 \text{ m}^3 = 48,187 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 48,187 \text{ m}^3 = 1,205 \times 10^5 \text{ kg} = 1,205 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 1,168 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{4,674 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 15 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 117 \text{ m}^2$$

$$4 \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 104 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 221 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.763 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.763 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,694 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,078 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 4,674 \times 10^6 \text{ g/ano} + 1,078 \times 10^6 \text{ g/ano} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para a casa sede de 150 m}^2\text{)} = 5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 3,615 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para a casa sede de 150 m}^2\text{)} = 1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice F.1.3 – Galpão de 1000m²

Concreto e aço utilizados na construção do galpão de 1000 m²

Concreto

Colunas

$$18 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 4,0 \text{ m (altura)} = 2,880 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,880 \text{ m}^3 + 300 \text{ m}^3 = 302,880 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 302,880 \text{ m}^3 = 7,572 \times 10^5 \text{ kg} = 7,572 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 7,368 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos}$$

(depreciação) = **$3,029 \times 10^7 \text{ g/ano}$**

Paredes

$$2 \times 72 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 288 \text{ m}^2$$

$$2 \times 14 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 56 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 344 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 4.300 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 4.300 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 4,192 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,677 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 3,029 \times 10^7 \text{ g} + 1,677 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{3,152 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{3,197 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para galpão de } 1000\text{m}^2\text{) = } 3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 2,272 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para galpão de } 1000\text{m}^2\text{) = } 9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice F.1.4 – Galpões de 600m²**Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 600 m²****Concreto (cada galpão de 600 m²)****Colunas**

$$14 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,680 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 600 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,680 \text{ m}^3 + 180 \text{ m}^3 = 181,680 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 181,680 \text{ m}^3 = 4,542 \times 10^5 \text{ kg} = 4,542 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 4,406 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos}$$

(depreciação) = **$1,762 \times 10^7 \text{ g/ano}$**

Paredes

$$2 \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 200 \text{ m}^2$$

$$2 \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 48 \text{ m}^2$$

Área total = $248 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 3.100$ blocos

Total: $3.100 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 3,022 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 1,209 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Total: $1,762 \times 10^7 \text{ g} + 1,209 \times 10^6 \text{ g} = 1,883 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 1 galpão de 600 m^2) = $1,883 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 7 galpões de 600 m^2) = $7 \times 1,883 \times 10^7 = 1,318 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 600 m^2)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 1,363 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 600 m^2) = $5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 7 galpões de 600 m^2) = $7 \times 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano} = 3,815 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice F.1.5 – Galpões de 420 m^2

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 420 m^2

Concreto (cada galpão de 420 m^2)

Colunas

$12 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,440 \text{ m}^3$

Piso e Laje

$2 \times 420 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 126 \text{ m}^3$

Total: $1,440 \text{ m}^3 + 126 \text{ m}^3 = 127,440 \text{ m}^3$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m^3

Massa total (piso, laje e colunas): $2.500 \text{ kg/m}^3 \times 127,440 \text{ m}^3 = 3,186 \times 10^5 \text{ kg} = 3,186 \times 10^8 \text{ g}$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 3,090 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 1,236 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Paredes

$2 \times 42 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 168 \text{ m}^2$

$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$

Área total = $208 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.600$ blocos

Total: $2.600 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,535 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 1,014 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Total: $1,236 \times 10^7 \text{ g} + 1,014 \times 10^6 \text{ g} = 1,337 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 1 galpão de 420 m^2) = $1,337 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 8 galpões de 420 m^2) = $8 \times 1,337 \times 10^7 = 1,070 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 420 m^2)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 9,558 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 420m²) = **3,823 x 10⁵ g/ano**

Total de aço (para 8 galpões de 420m²) = 8 x 3,823 x 10⁵ g/ano = 3,059 x 10⁶ g/ano

Apêndice F.1.6 – Galpões de 300m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 300 m²

Concreto (cada galpão de 300 m²)

Colunas

8 x 0,2 m x 0,2 m x 3,0 m (altura) = 0,960 m³

Piso e Laje

2 x 300 m² x 0,15 m = 90 m³

Total: 0,960 m³ + 90 m³ = 90,960 m³

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

Massa total (piso, laje e colunas): 2.500 kg/m³ x 90,960 m³ = 2,274 x 10⁵ kg = 2,274 x 10⁸ g

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): 2,274 x 10⁸ g x 0,97 = 2,206 x 10⁸ g / 25 anos (depreciação) = **8,823 x 10⁶ g/ano**

Paredes

2 x 30 m x 2 m (altura) = 120 m²

2 x 10 m x 2 m (altura) = 40 m²

Área total = 160 m² / 0,08 m² = 2.000 blocos

Total: 2.000 blocos x 9750 g (cada bloco) = 1,950 x 10⁷ g / 25 anos (depreciação) = **7,800 x 10⁵ g/ano**

Total: 8,823 x 10⁶ g + 7,800 x 10⁵ g = **9,603 x 10⁶ g**

Total de concreto (para 1 galpão de 300m²) = **9,603 x 10⁶ g**

Total de concreto (para 2 galpões de 300m²) = 2 x 9,603 x 10⁶ = 1,921 x 10⁷ g/ano

Aço (cada galpão de 300 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: 2,274 x 10⁸ g x 0,03 = 6,822 x 10⁶ g / 25 anos (depreciação) = **2,729 x 10⁵ g/ano**

Total de aço (para 1 galpão de 400m²) = **2,729 x 10⁵ g/ano**

Total de aço (para 2 galpões de 300m²) = 2 x 2,729 x 10⁵ = 5,458 x 10⁵ g/ano

Apêndice F.1.7 – Equipamentos, máquinas agrícolas e tratores

- Trator (Fonte: www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200 - 24/03/2011)

Massa de um trator de 65 cv: 3.250 kg = 3,250 x 10⁶ g / 10 anos (depreciação) = **3,250 x 10⁵ g/ano**

Massa total de aço (trator) = 3,250 x 10⁵ g/ano

Apêndice F.1.8 – Total de materiais referentes à implantação (construção) – Soma dos Apêndices G.1 até G.7

Concreto (6 casas) = $1,986 \times 10^7$ g/ano
 Concreto (casa sede de 150 m^2) = $5,752 \times 10^6$ g/ano
 Concreto (galpão de 1000 m^2) = $3,197 \times 10^7$ g/ano
 Concreto (7 galpões de 600 m^2) = $1,318 \times 10^8$ g/ano
 Concreto (8 galpões de 420 m^2) = $1,070 \times 10^8$ g/ano
 Concreto (2 galpões de 300 m^2) = $1,921 \times 10^7$ g/ano

Total de concreto = $3,156 \times 10^8$ g/ano

Aço (6 casas) = $4,843 \times 10^5$ g/ano
 Aço (casa sede de 150 m^2) = $1,446 \times 10^5$ g/ano
 Aço (galpão de 1000 m^2) = $9,088 \times 10^5$ g/ano
 Aço (7 galpões de 600 m^2) = $3,815 \times 10^6$ g/ano
 Aço (8 galpões de 420 m^2) = $3,059 \times 10^6$ g/ano
 Aço (2 galpões de 300 m^2) = $5,458 \times 10^5$ g/ano
 Aço (trator) = $3,250 \times 10^5$ g/ano

Total de aço = $9,282 \times 10^6$ g/ano

Apêndice F.2 – Memorial de cálculo dos insumos referentes à utilização da Fazenda

Apêndice F.2.1 – Irradiação Solar

Insolação média = $4,97 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$ (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Albedo: 22% ($1 - 0,22 = 0,78$) (Fonte: Bice, 2001)

Total Irradiação Solar = $101 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 4,97 \text{ kWh/m}^2 \times 1.000 \text{ J/s} \times 3600 \text{ s} \times 0,78 = \mathbf{1,409 \times 10^{13} \text{ J/ano}}$

Apêndice F.2.2 – Energia Cinética do Vento

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Velocidade média sazonal a 50 m de altura: 5,40 m/s (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Densidade do ar = $1,23 \text{ kg/m}^3$ (Odum, 1996)

Drag Coefficient = $1,00 \times 10^{-3}$ (Cavallet *et al.*, 2006)

Energia Cinética do Vento = (área) x (densidade do ar) x (drag coefficient) x (velocidade do vento)³.

Energia Cinética do Vento = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,23 \text{ kg/m}^3) \times (1,00 \times 10^{-3}) \times (5,40 \text{ m/s})^3 \times (3,14 \times 10^7 \text{ s/ano}) = \mathbf{2,106 \times 10^{11} \text{ J/ano}}$

Apêndice F.2.3 – Energia Química da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3$ mm/ano = 1,81 m/ano

Energia Livre de Gibbs = 4.940 J/kg (Odum, 1996)

Energia Química da Chuva = (área) x (precipitação) x (Energia Livre de Gibbs).

Energia Química da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,81 \text{ m/ano}) \times (4.940 \text{ J/kg}) \times (1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) =$
 $9,031 \times 10^{12} \text{ J/ano}$

Apêndice F.2.4 – Energia Geopotencial da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Elevação Média = 50 m

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3$ mm/ano = 1,81 m/ano

Runoff = 5% da precipitação média = $0,05 \times 1,81 \text{ m/ano} = 0,0905 \text{ m/ano}$

Aceleração da gravidade = $9,8 \text{ m/s}^2$

Energia Geopotencial da Chuva = (área) x (elevação média) x (runoff) x (densidade) x (aceleração da gravidade).

Energia Geopotencial da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (50 \text{ m}) \times (0,0905 \text{ m/ano}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times$
 $(9,8 \text{ m/s}^2) =$ **$4,479 \times 10^{10} \text{ J/ano}$**

Apêndice F.2.5 – Perda de solo (Pastagens)

Área Total: $55 + 36 \text{ ha} = 91 \text{ ha} = 910.000 \text{ m}^2$.

Taxa de erosão = $90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}$ (Coelho *et al.*, 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(910.000 \text{ m}^2) \times (90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) =$
 $1,851 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Apêndice F.2.6 – Energia elétrica (eletricidade)

Total consumo = 192.000 kWh (consumo anual)

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Total Energia Elétrica = $192.000 \text{ kWh} \times 1.000 \text{ J/s} \times 3600\text{s} =$ **$6,912 \times 10^{11} \text{ J/ano}$**

Apêndice F.2.7 – Combustíveis

Massa = 5000 L

Densidade = 0,75 kg/L (Agostinho, 2005)

Poder Calorífico = 1000 kcal/kg (Agostinho, 2005)

Total combustíveis = $5000 \text{ L} \times 0,75 \text{ kg/L} \times 1000 \text{ kcal/kg} \times 4186 \text{ J/kcal} =$ $1,570 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Considerando 30% de combustíveis (sem o milho) = $0,3 \times 1,570 \times 10^{10} =$ **$4,710 \times 10^9 \text{ J/ano}$** .

Apêndice F.2.8 – Mão de obra

Total = 26 funcionários (dado de campo)

Cada funcionário trabalha 260 dias/ano e consome 3000 kcal/dia

Mão de obra: $26 \times 285 \text{ dias/ano} \times 3000 \text{ kcal/dia} \times 4186 \text{ J/kcal} = \mathbf{9,31 \times 10^{10} \text{ J/ano}}$

Apêndice F.2.9 – Água

Massa = 21.900 m^3 (dado de campo)

Apêndice F.2.10 – Milho

Consumo de milho na produção de ovos = $3,92 \times 10^4 \text{ kg} = \mathbf{3,92 \times 10^7 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de milho na produção de suínos = $8,40 \times 10^4 \text{ kg} = \mathbf{8,40 \times 10^7 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de milho na produção de leite = $2,80 \times 10^3 \text{ kg} = \mathbf{2,80 \times 10^6 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de milho na Fazenda (total) = $1,26 \times 10^5 \text{ kg} = \mathbf{1,26 \times 10^8 \text{ g}}$ (dado de campo)

Apêndice F.2.11 – Farelo de soja e Núcleo

Consumo de farelo de soja na produção de ovos = $1,12 \times 10^4 \text{ kg} = \mathbf{1,12 \times 10^7 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de ovos = $5,60 \times 10^3 \text{ kg} = \mathbf{5,60 \times 10^6 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de farelo de soja na produção de suínos = $2,40 \times 10^4 \text{ kg} = \mathbf{2,40 \times 10^7 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de suínos = $1,20 \times 10^4 \text{ kg} = \mathbf{1,20 \times 10^7 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de farelo de soja na produção de leite = $8,00 \times 10^2 \text{ kg} = \mathbf{8,00 \times 10^5 \text{ g}}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de leite = $4,00 \times 10^2 \text{ kg} = \mathbf{4,00 \times 10^5 \text{ g}}$ (dado de campo)

Apêndice F.3 – Memorial de cálculo da energia por unidade do sistema de produção de ovos (seJ/g), do sistema de produção de carne de porco (seJ/J) e do sistema de produção de leite (seJ/g).

Apêndice F.3.1 Cálculo da energia 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: $4.924.800 \times 55 = \mathbf{2,71 \times 10^8 \text{ g/ano}}$ (energia em massa)

- Energia total da Fazenda: $2,97 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $2,97 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,71 \times 10^8 \text{ g/ano} = \mathbf{1,10 \times 10^{10} \text{ seJ/g}}$

- **Energia/unidade = $1,10 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice F.3.2 Cálculo da energia por unidade da produção de carne de porco (suínos)

- Produção: 350 carcaças por mês = 4.200 carcaças por ano

- Massa de cada carcaça: 75 kg

- Massa de carcaças produzidas na Fazenda por ano: $4.200 \times 75 = \mathbf{3,15 \times 10^5 \text{ kg/ano}}$ (energia em massa)

- Energia das carcaças (em joules): $3,15 \times 10^5 \text{ kg} \times 2.341 \text{ kcal/kg}$ (Cavalett, 2006) $\times 4186 \text{ J/kcal} = \mathbf{3,09 \times 10^{12} \text{ J}}$.

- Energia total da Fazenda: $2,97 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de carne de porco = Energia da Fazenda / Energia das carcaças: $2,97 \times 10^{18}$ seJ/ ano/ $3,09 \times 10^{12}$ J/ano = $9,61 \times 10^5$ seJ/J

- **Energia/unidade = $9,61 \times 10^5$ seJ/J**

Apêndice F.3.3 Cálculo da energia 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)

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html)

- 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)

- Energia total da Fazenda = $3,41 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade da produção de leite = Energia da Fazenda / Energia do leite = $2,97 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $2,23 \times 10^8$ g/ano = $1,33 \times 10^{10}$ seJ/g

- **Energia/unidade = $1,33 \times 10^{10}$ seJ/g**

Apêndice F.4 – Memorial de cálculo da energia por unidade (em seJ/g de proteínas) do sistema de produção de ovos, do sistema de produção de carne de porco, do sistema de produção de leite e do sistema sem a produção de milho (total).

Apêndice F.4.1 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de ovos

- Massa de ovos produzidos na Fazenda por ano = **$2,71 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)

Cada 100g de ovos possui 13g de proteína = 0,13g de proteína por cada grama de ovo (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).

- Massa de ovos em gramas de proteína (por ano) = $0,13 \times 2,71 \times 10^8$ g/ano = **$3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)

- Energia total da Fazenda: $2,97 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de ovos) = Energia da Fazenda/Energia dos ovos (em gramas de proteínas): $2,97 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $3,52 \times 10^7$ g/ano = $8,44 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína

- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $8,44 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice F.4.2 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de carne de porco (suínos)

- Massa de carne (carcaças) produzidas na Fazenda por ano = $3,15 \times 10^5$ kg/ano = **$3,15 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)

Cada 100g de carne possui 25g de proteína = 0,25g de proteína por cada grama de carne (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).

- Massa de carne em gramas de proteína (por ano) = $0,25 \times 3,15 \times 10^8$ g/ano = **$7,88 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)

- Energia total da Fazenda: $2,97 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de carne) = Energia da Fazenda/Energia da carne (em gramas de proteínas): $2,97 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,88 \times 10^7$ g/ano = $3,77 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína

- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $3,77 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice F.4.3 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de leite

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano = **$2,23 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)

Cada 100g de leite possui 3,4g de proteína = 0,034g de proteína por cada grama de leite (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).

- Massa de leite em gramas de proteína (por ano) = $0,034 \times 2,23 \times 10^8$ g/ano = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)

- Energia total da Fazenda: $2,97 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de leite) = Energia da Fazenda/Energia do leite (em gramas de proteínas): $2,97 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,58 \times 10^6$ g/ano = $3,92 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína

- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $3,92 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice F.4.4 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) do sistema sem a produção de milho

- Massa de ovos em gramas de proteína = **$3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano**

- Massa de carne em gramas de proteína = **$7,88 \times 10^7$ g de proteína/ano**

- Massa de leite em gramas de proteína = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano**

- Massa total em gramas de proteína (ovos + carne + leite) = **$1,22 \times 10^8$ g de proteína/ano**

- Energia total da Fazenda: $2,97 \times 10^{18}$ seJ

- Energia por unidade em gramas de proteína (sistema sem a produção de milho) = Energia da Fazenda/Energia total (em gramas de proteínas): $2,97 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $1,22 \times 10^8$ g/ano = $2,43 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína

- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $2,43 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice G – Sistema de produção de milho sem o adubo orgânico

Apêndice G.1 – Memorial de cálculo dos insumos referentes a implantação (construção)

Retirando a utilização de adubo orgânico da fazenda, considerou-se que toda a infraestrutura da fazenda é necessária. Foram consideradas 6 casas de funcionários, 1 casa sede, 1 galpão de 1000m², 7 galpões de 600m², 8 galpões de 420m² e 2 galpões de 300m².

Apêndice G.1.1 – Casas utilizadas pelos funcionários da Fazenda

Concreto e aço utilizados na construção das casas de 80 m² cada

Concreto (cada casa)

Colunas

$$8 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 0,832 \text{ m}^3$$

Vigas

$$3 \times 7 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,787 \text{ m}^3$$

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 2,905 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 80 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 24 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,905 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 = 26,905 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 26,905 \text{ m}^3 = 6,726 \times 10^4 \text{ kg} = 6,726 \times 10^7 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,97 = 6,523 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{2,609 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 11,43 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 89,154 \text{ m}^2$$

$$3 \times 7 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 54,600 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 143,754 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 1.797 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 1.797 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 1,752 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{7,008 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 2,609 \times 10^6 \text{ g} + 7,008 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto (para 1 casa)} = \mathbf{3,310 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para 6 casas)} = 6 \times 3,310 \times 10^6 = 1,986 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço (cada casa)

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 6,726 \times 10^7 \text{ g} \times 0,03 = 2,018 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço (para 1 casa)} = \mathbf{8,072 \times 10^4 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para 6 casas)} = 6 \times 8,072 \times 10^4 = 4,843 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice G.1.2 – Casa sede

Concreto e aço utilizados na construção da casa sede de 150 m²

Concreto

Colunas

$$10 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} = 1,040 \text{ m}^3$$

Vigas

$$4 \times 10 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,500 \text{ m}^3$$

$$3 \times 15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 1,687 \text{ m}^3$$

$$\text{Total (vigas e colunas)} = 3,187 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 150 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 3,187 \text{ m}^3 + 45 \text{ m}^3 = 48,187 \text{ m}^3$$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

$$\text{Massa total (piso, laje, colunas e vigas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 48,187 \text{ m}^3 = 1,205 \times 10^5 \text{ kg} = 1,205 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 1,168 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{4,674 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

Paredes

$$3 \times 15 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 117 \text{ m}^2$$

$$4 \times 10 \text{ m} \times 2,6 \text{ m (altura)} = 104 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 221 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.763 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 2.763 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,694 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,078 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 4,674 \times 10^6 \text{ g/ano} + 1,078 \times 10^6 \text{ g/ano} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para a casa sede de 150 m}^2\text{)} = 5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso, pilares e vigas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 1,205 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 3,615 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para a casa sede de 150 m}^2\text{)} = 1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice G.1.3 – Galpão de 1000m²

Concreto e aço utilizados na construção do galpão de 1000 m²

Concreto

Colunas

$$18 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 4,0 \text{ m (altura)} = 2,880 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 1000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 2,880 \text{ m}^3 + 300 \text{ m}^3 = 302,880 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 302,880 \text{ m}^3 = 7,572 \times 10^5 \text{ kg} = 7,572 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 7,368 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos}$$

(depreciação) = **$3,029 \times 10^7 \text{ g/ano}$**

Paredes

$$2 \times 72 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 288 \text{ m}^2$$

$$2 \times 14 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 56 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 344 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 4.300 \text{ blocos}$$

$$\text{Total: } 4.300 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 4,192 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{1,677 \times 10^6 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total: } 3,029 \times 10^7 \text{ g} + 1,677 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{3,152 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\text{Total de concreto} = \mathbf{3,197 \times 10^7 \text{ g}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de concreto (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}}}$$

Aço

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do aço: } 7,572 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 2,272 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\text{Total de aço} = \mathbf{9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}$$

$$\mathbf{\underline{\text{Total de aço (para galpão de } 1000\text{m}^2) = 9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}}}$$

Apêndice G.1.4 – Galpões de 600m²**Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 600 m²****Concreto (cada galpão de 600 m²)****Colunas**

$$14 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,680 \text{ m}^3$$

Piso e Laje

$$2 \times 600 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 180 \text{ m}^3$$

$$\text{Total: } 1,680 \text{ m}^3 + 180 \text{ m}^3 = 181,680 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do concreto armado} = 2.500 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Massa total (piso, laje e colunas): } 2.500 \text{ kg/m}^3 \times 181,680 \text{ m}^3 = 4,542 \times 10^5 \text{ kg} = 4,542 \times 10^8 \text{ g}$$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

$$\text{Massa do concreto (piso, laje e colunas): } 4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 4,406 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos}$$

(depreciação) = **$1,762 \times 10^7 \text{ g/ano}$**

Paredes

$$2 \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 200 \text{ m}^2$$

$$2 \times 12 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 48 \text{ m}^2$$

Área total = $248 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 3.100$ blocos

Total: $3.100 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 3,022 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 1,209 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Total: $1,762 \times 10^7 \text{ g} + 1,209 \times 10^6 \text{ g} = 1,883 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 1 galpão de 600 m^2) = $1,883 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 7 galpões de 600 m^2) = $7 \times 1,883 \times 10^7 = 1,318 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 600 m^2)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $4,542 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 1,363 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 600 m^2) = $5,450 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 7 galpões de 600 m^2) = $7 \times 5,450 \times 10^5 \text{ g/ano} = 3,815 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice G.1.5 – Galpões de 420 m^2

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 420 m^2

Concreto (cada galpão de 420 m^2)

Colunas

$12 \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 3,0 \text{ m (altura)} = 1,440 \text{ m}^3$

Piso e Laje

$2 \times 420 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} = 126 \text{ m}^3$

Total: $1,440 \text{ m}^3 + 126 \text{ m}^3 = 127,440 \text{ m}^3$

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m^3

Massa total (piso, laje e colunas): $2.500 \text{ kg/m}^3 \times 127,440 \text{ m}^3 = 3,186 \times 10^5 \text{ kg} = 3,186 \times 10^8 \text{ g}$

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,97 = 3,090 \times 10^8 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 1,236 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Paredes

$2 \times 42 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 168 \text{ m}^2$

$2 \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m (altura)} = 40 \text{ m}^2$

Área total = $208 \text{ m}^2 / 0,08 \text{ m}^2 = 2.600$ blocos

Total: $2.600 \text{ blocos} \times 9750 \text{ g (cada bloco)} = 2,535 \times 10^7 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 1,014 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Total: $1,236 \times 10^7 \text{ g} + 1,014 \times 10^6 \text{ g} = 1,337 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 1 galpão de 420 m^2) = $1,337 \times 10^7 \text{ g}$

Total de concreto (para 8 galpões de 420 m^2) = $8 \times 1,337 \times 10^7 = 1,070 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (cada galpão de 420 m^2)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: $3,186 \times 10^8 \text{ g} \times 0,03 = 9,558 \times 10^6 \text{ g} / 25 \text{ anos (depreciação)} = 3,823 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Total de aço (para 1 galpão de 420m²) = **3,823 x 10⁵ g/ano**

Total de aço (para 8 galpões de 420m²) = 8 x 3,823 x 10⁵ g/ano = 3,059 x 10⁶ g/ano

Apêndice G.1.6 – Galpões de 300m²

Concreto e aço utilizados na construção dos galpões de 300 m²

Concreto (cada galpão de 300 m²)

Colunas

8 x 0,2 m x 0,2 m x 3,0 m (altura) = 0,960 m³

Piso e Laje

2 x 300 m² x 0,15 m = 90 m³

Total: 0,960 m³ + 90 m³ = 90,960 m³

Densidade do concreto armado = 2.500 Kg/m³

Massa total (piso, laje e colunas): 2.500 kg/m³ x 90,960 m³ = 2,274 x 10⁵ kg = 2,274 x 10⁸ g

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do concreto (piso, laje e colunas): 2,274 x 10⁸ g x 0,97 = 2,206 x 10⁸ g / 25 anos (depreciação) = **8,823 x 10⁶ g/ano**

Paredes

2 x 30 m x 2 m (altura) = 120 m²

2 x 10 m x 2 m (altura) = 40 m²

Área total = 160 m² / 0,08 m² = 2.000 blocos

Total: 2.000 blocos x 9750 g (cada bloco) = 1,950 x 10⁷ g / 25 anos (depreciação) = **7,800 x 10⁵ g/ano**

Total: 8,823 x 10⁶ g + 7,800 x 10⁵ g = **9,603 x 10⁶ g**

Total de concreto (para 1 galpão de 300m²) = **9,603 x 10⁶ g**

Total de concreto (para 2 galpões de 300m²) = 2 x 9,603 x 10⁶ = 1,921 x 10⁷ g/ano

Aço (cada galpão de 300 m²)

- Contrapiso e colunas

Considerando 97% de concreto e 3% de aço

Massa do aço: 2,274 x 10⁸ g x 0,03 = 6,822 x 10⁶ g / 25 anos (depreciação) = **2,729 x 10⁵ g/ano**

Total de aço (para 1 galpão de 400m²) = **2,729 x 10⁵ g/ano**

Total de aço (para 2 galpões de 300m²) = 2 x 2,729 x 10⁵ = 5,458 x 10⁵ g/ano

Apêndice G.1.7 – Equipamentos, máquinas agrícolas e tratores

- Equipamentos e Máquinas Agrícolas (Fonte: www.baldan.com.br - 24/03/2011)

2 semesadoras de arrasto: 2 x 1030 kg = 2060 g

2 máquinas de arado: 2 x 547 kg = 1094 kg

Colheitadeira + carreta agrícola = 2130 kg

Massa total: 5.284 kg = 5,284 x 10⁶ g / 10 anos (depreciação) = **5,284 x 10⁵ g/ano**

- Tratores (Fonte: www.massey.com.br/produtos/tratores/serie-mf-4200 - 24/03/2011)

Massa de um trator de 65 cv: $3.250 \text{ kg} = 3,250 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{3,250 \times 10^5 \text{ g/ano}}$

Massa de um trator de 120 cv: $6.600 \text{ kg} = 6,600 \times 10^6 \text{ g} / 10 \text{ anos (depreciação)} = \mathbf{6,660 \times 10^5 \text{ g/ano}}$

Massa total de aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Apêndice G.1.8 – Total de materiais referentes à implantação (construção) – Soma dos Apêndices A.1 até A.7

Concreto (6 casas) = $1,986 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Concreto (casa sede de 150 m^2) = $5,752 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Concreto (galpão de 1000 m^2) = $3,197 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Concreto (7 galpões de 600 m^2) = $1,318 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Concreto (8 galpões de 420 m^2) = $1,070 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Concreto (2 galpões de 300 m^2) = $1,921 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Total de concreto = $3,156 \times 10^8 \text{ g/ano}$

Aço (6 casas) = $4,843 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (casa sede de 150 m^2) = $1,446 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (galpão de 1000 m^2) = $9,088 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (7 galpões de 600 m^2) = $3,815 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Aço (8 galpões de 420 m^2) = $3,059 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Aço (2 galpões de 300 m^2) = $5,458 \times 10^5 \text{ g/ano}$

Aço (equipamentos, máquinas agrícolas e tratores) = $1,519 \times 10^6 \text{ g/ano}$

Total de aço = $1,048 \times 10^7 \text{ g/ano}$

Apêndice G.2 – Memorial de cálculo dos insumos referentes à utilização da Fazenda

Apêndice G.2.1 – Irradiação Solar

Insolação média = $4,97 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$ (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

$1 \text{ kW} = 1000 \text{ J/s}$ e $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$

Albedo: 22% ($1 - 0,22 = 0,78$) (Fonte: Bice, 2001)

Total Irradiação Solar = $101 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 4,97 \text{ kWh/m}^2 \times 1.000 \text{ J/s} \times 3600 \text{ s} \times 0,78 = \mathbf{1,409 \times 10^{13} \text{ J/ano}}$

Apêndice G.2.2 – Energia Cinética do Vento

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Velocidade média sazonal a 50 m de altura: $5,40 \text{ m/s}$ (Fonte: Sundata: <http://www.cresesb.cepel.br> - 10/03/2011)

Densidade do ar = $1,23 \text{ kg/m}^3$ (Odum, 1996)

Drag Coefficient = $1,00 \times 10^{-3}$ (Cavallet *et al.*, 2006)

Energia Cinética do Vento = (área) x (densidade do ar) x (drag coefficient) x (velocidade do vento)³.

Energia Cinética do Vento = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,23 \text{ kg/m}^3) \times (1,00 \times 10^{-3}) \times (5,40 \text{ m/s})^3 \times (3,14 \times 10^7 \text{ s/ano}) = 2,106 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice G.2.3 – Energia Química da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Energia Livre de Gibbs = 4.940 J/kg (Odum, 1996)

Energia Química da Chuva = (área) x (precipitação) x (Energia Livre de Gibbs).

Energia Química da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (1,81 \text{ m/ano}) \times (4.940 \text{ J/kg}) \times (1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) = 9,031 \times 10^{12} \text{ J/ano}$

Apêndice G.2.4 – Energia Geopotencial da Chuva

Área Total: $101 \times 10^4 \text{ m}^2$.

Elevação Média = 50 m

Média mensal de precipitação = 151,2 mm/mês = $1,81 \times 10^3 \text{ mm/ano} = 1,81 \text{ m/ano}$

Runoff = 5% da precipitação média = $0,05 \times 1,81 \text{ m/ano} = 0,0905 \text{ m/ano}$

Aceleração da gravidade = $9,8 \text{ m/s}^2$

Energia Geopotencial da Chuva = (área) x (elevação média) x (runoff) x (densidade) x (aceleração da gravidade).

Energia Geopotencial da Chuva = $(101 \times 10^4 \text{ m}^2) \times (50 \text{ m}) \times (0,0905 \text{ m/ano}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 4,479 \times 10^{10} \text{ J/ano}$

Apêndice G.2.5 – Perda de solo (Plantação)

Área Total: 55 ha = 550.000 m².

Taxa de erosão = 2500 g/m².ano (Coelho et. al., 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(550.000 \text{ m}^2) \times (2500 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 3,108 \times 10^{11} \text{ J/ano}$

Apêndice G.2.6 – Perda de solo (Pastagens)

Área Total: 36 ha = 360.000 m².

Taxa de erosão = 90 g/m².ano (Coelho et al., 2002)

Porcentagem de matéria orgânica no solo = 1% (0,01)

Energia orgânica contida por grama de terra = 5,4 kcal/g

Energia da perda de solo = (área) x (taxa de erosão) x (% de matéria orgânica) x (energia orgânica contida).

Energia da perda de solo = $(360.000 \text{ m}^2) \times (90 \text{ g/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (0,01) \times (5,4 \text{ kcal/g}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) = 7,324 \times 10^9 \text{ J/ano}$

Apêndice G.2.7 – Energia elétrica (eletricidade)

Total consumo = 192.000 kWh (consumo anual)

1 kW = 1000 J/s e 1h = 3600s

Total Energia Elétrica = 192.000 kWh x 1.000 J/s x 3600s = **6,912 x 10¹¹ J/ano**

Apêndice G.2.8 – Combustíveis

Massa = 5000 L

Densidade = 0,75 kg/L (Agostinho, 2005)

Poder Calorífico = 1000 kcal/kg (Agostinho, 2005)

Total combustíveis = 5000 L x 0,75 kg/L x 1000 kcal/kg x 4186 J/kcal = **1,570 x 10¹⁰ J/ano**

Apêndice G.2.9 – Mão de obra

Total = 30 funcionários (dado de campo)

Cada funcionário trabalha 260 dias/ano e consome 3000 kcal/dia

Mão de obra: 30 x 260 dias/ano x 3000 kcal/dia x 4186 J/kcal = **1,07 x 10¹¹ J/ano**

Apêndice G.2.10 – Água

Massa = 21.900 m³ (dado de campo)

Apêndice G.2.11 – Fertilizante

Massa = 81.700 kg = 8,17 x 10⁷ g (dado de campo)

Apêndice G.2.12 – Sementes

Consumo de sementes na Fazenda = 1,08 x 10⁶ g (dado de campo)

Apêndice G.2.13 – Milho

Consumo de milho na produção de ovos = 3,92 x 10⁴ kg = 3,92 x 10⁷ g, sendo 30% comprado = **1,18 x 10⁷ g** (dado de campo)

Consumo de milho na produção de suínos = 8,40 x 10⁴ kg = 8,40 x 10⁷ g, sendo 30% comprado = **2,52 x 10⁷ g** (dado de campo)

Consumo de milho na produção de leite = 2,80 x 10³ kg = 2,80 x 10⁶ g, sendo 30% comprado = **8,40 x 10⁵ g** (dado de campo)

Consumo de milho na Fazenda (total) = 1,26 x 10⁵ kg = 1,26 x 10⁸ g, sendo 30% comprado = **3,78 x 10⁷ g** (dado de campo)

A Fazenda produz 70% do consumo total = 8,82 x 10⁴ kg de milho = 8,82 x 10⁷ g

Apêndice G.2.14 – Farelo de soja e Núcleo

Consumo de farelo de soja na produção de ovos = 1,12 x 10⁴ kg = **1,12 x 10⁷ g** (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de ovos = 5,60 x 10³ kg = **5,60 x 10⁶ g** (dado de campo)

Consumo de farelo de soja na produção de suínos = $2,40 \times 10^4 \text{ kg} = 2,40 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de suínos = $1,20 \times 10^4 \text{ kg} = 1,20 \times 10^7 \text{ g}$ (dado de campo)

Consumo de farelo de soja na produção de leite = $8,00 \times 10^2 \text{ kg} = 8,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Consumo de núcleo na produção de leite = $4,00 \times 10^2 \text{ kg} = 4,00 \times 10^5 \text{ g}$ (dado de campo)

Apêndice G.3 – Memorial de cálculo da energia por unidade do sistema de produção de ovos (seJ/g), do sistema de produção de carne de porco (seJ/J) e do sistema de produção de leite (seJ/g).

Apêndice G.3.1 Cálculo da energia 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: $4.924.800 \times 55 = 2,71 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)

- Energia total da Fazenda: $3,59 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de ovos = Energia da Fazenda/Energia dos ovos: $3,59 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,71 \times 10^8 \text{ g/ano} = 1,32 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$

- **Energia/unidade = $1,32 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice G.3.2 Cálculo da energia por unidade da produção de carne de porco (suínos)

- Produção: 350 carcaças por mês = 4.200 carcaças por ano

- Massa de cada carcaça: 75 kg

- Massa de carcaças produzidas na Fazenda por ano: $4.200 \times 75 = 3,15 \times 10^5 \text{ kg/ano}$ (energia em massa)

- Energia das carcaças (em joules): $3,15 \times 10^5 \text{ kg} \times 2.341 \text{ kcal/kg}$ (Cavalett, 2006) $\times 4186 \text{ J/kcal} = 3,09 \times 10^{12} \text{ J}$.

- Energia total da Fazenda: $3,59 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de carne de porco = Energia da Fazenda / Energia das carcaças: $3,59 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 3,09 \times 10^{12} \text{ J/ano} = 1,16 \times 10^6 \text{ seJ/J}$

- **Energia/unidade = $1,16 \times 10^6 \text{ seJ/J}$**

Apêndice G.3.3 Cálculo da energia por unidade da produção de leite

- Produção: 18.000 litros por mês = 216.000 litros por ano = $2,16 \times 10^8 \text{ cm}^3$ de leite por ano

- Densidade do leite (média): $1,032 \text{ g/cm}^3$ (Embrapa)

(Fonte:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano: $2,16 \times 10^8 \times 1,032 \text{ g/cm}^3 = 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano}$ (energia em massa)

- Energia total da Fazenda = $3,59 \times 10^{18} \text{ seJ}$

- Energia por unidade da produção de leite = Energia da Fazenda / Energia do leite = $3,59 \times 10^{18} \text{ seJ/ano} / 2,23 \times 10^8 \text{ g/ano} = 1,61 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$

- **Energia/unidade = $1,61 \times 10^{10} \text{ seJ/g}$**

Apêndice G.4 – Memorial de cálculo da energia por unidade (em seJ/g de proteínas) do sistema de produção de ovos, do sistema de produção de carne de porco, do sistema de produção de leite e do sistema sem o adubo orgânico (total).

Apêndice A.4.1 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de ovos

- Massa de ovos produzidos na Fazenda por ano = **$2,71 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de ovos possui 13g de proteína = 0,13g de proteína por cada grama de ovo (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de ovos em gramas de proteína (por ano) = $0,13 \times 2,71 \times 10^8$ g/ano = **$3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,59 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de ovos) = Energia da Fazenda/Energia dos ovos (em gramas de proteínas): $3,59 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $3,52 \times 10^7$ g/ano = $1,02 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $1,02 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice A.4.2 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de carne de porco (suínos)

- Massa de carne (carcaças) produzidas na Fazenda por ano = $3,15 \times 10^5$ kg/ano = **$3,15 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de carne possui 25g de proteína = 0,25g de proteína por cada grama de carne (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de carne em gramas de proteína (por ano) = $0,25 \times 3,15 \times 10^8$ g/ano = **$7,88 \times 10^7$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,59 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de carne) = Energia da Fazenda/Energia da carne (em gramas de proteínas): $3,59 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,88 \times 10^7$ g/ano = $4,56 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,56 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice A.4.3 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) da produção de leite

- Massa de leite produzido na Fazenda por ano = **$2,23 \times 10^8$ g/ano** (energia em massa)
- Cada 100g de leite possui 3,4g de proteína = 0,034g de proteína por cada grama de leite (Fonte: Health.Alicious.Ness.com).
- Massa de leite em gramas de proteína (por ano) = $0,034 \times 2,23 \times 10^8$ g/ano = **$7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano** (energia em gramas de proteínas)
- Energia total da Fazenda: $3,59 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (produção de leite) = Energia da Fazenda/Energia do leite (em gramas de proteínas): $3,59 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $7,58 \times 10^6$ g/ano = $4,74 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $4,74 \times 10^{11}$ seJ/g de proteína**

Apêndice A.4.4 Cálculo da energia por unidade (em seJ/gramas de proteínas) do sistema sem o adubo orgânico

- Massa de ovos em gramas de proteína = $3,52 \times 10^7$ g de proteína/ano
- Massa de carne em gramas de proteína = $7,88 \times 10^7$ g de proteína/ano
- Massa de leite em gramas de proteína = $7,58 \times 10^6$ g de proteína/ano
- Massa total em gramas de proteína (ovos + carne + leite) = $1,22 \times 10^8$ g de proteína/ano
- Energia total da Fazenda: $3,59 \times 10^{18}$ seJ
- Energia por unidade em gramas de proteína (sistema sem o adubo orgânico) = Energia da Fazenda/Energia total (em gramas de proteínas): $3,59 \times 10^{18}$ seJ/ano/ $1,22 \times 10^8$ g/ano = $2,94 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína
- **Energia/unidade (seJ/g de proteína) = $2,94 \times 10^{10}$ seJ/g de proteína**

Apêndice H – Análise Avançada de Sustentabilidade (ASA) - Demonstração da série que avalia as alterações no produto $ESI^* \times GP$

$$ESI^* \times GP = MO/F \times \text{área}/MO \times R/\text{área} \times UF/\$ \times \$/U \quad (\text{Equação 11 do texto})$$

Onde: ESI^* é igual a razão $EYR/(ELR+1)$; GP é a produtividade global calculada em gramas de proteína/seJ; MO/F é a contribuição da energia da mão de obra em relação à energia importada; $\text{área}/MO$ descreve a disponibilidade de área para emprego de mão de obra (ha/funcionário); $R/\text{área}$ é a capacidade de caga renovável; $UF/\$$ representa o preço unitário de cada grama de proteína; $\$/U$ é a razão entre a receita financeira bruta e a energia total do sistema.

Obtenção da série

A decomposição de $ESI \times GP$ parte da equação:

$$ESI \times GP = (EYR/ELR) \times (UF/U)$$

Mas, neste caso, a escala de ELR foi deslocada de acordo com a proposta de S. Bastianoni (Comunicação Oral, *4th International Workshop - Advances in Cleaner Production*, 2013, São Paulo, Brasil). Este procedimento, válido para as condições do sistema em estudo (F diferente de zero e N tendendo a zero) causaria uma diminuição no valor do ESI calculado. As condições supracitadas podem ser verificadas no diagrama ternário de energia. Desta forma, o $ESI \times GP$ utilizado nas análises de decomposição foi denominado $ESI^* \times GP$. Apesar da redução do valor do ESI para ESI^* , os sistemas apenas são comparados entre si, o que torna esta análise possível.

Sendo assim:

$$ESI^* \times GP = (EYR/(ELR + 1)) \times (UF/U)$$

Onde:

$$ELR + 1 = (N + F)/R + R/R$$

$$ELR + 1 = (N + F + R)/R = U/R$$

Portanto:

$$ESI^* \times GP = (EYR/(ELR + 1)) \times (UF/U)$$

$$ESI^* \times GP = ((U/F)/(U/R)) \times (UF/U)$$

$$ESI^* \times GP = ((R/F) \times (UF/U)) = MO/F \times \text{área}/MO \times R/\text{área} \times UF/\$ \times \$/U$$

Apêndice I – Análise de Sensibilidade

Os valores das *UEVs* da produção de milho foram retiradas de *The Emergy Database* (<http://emergydatabase.org/transformities-view/all>) e de artigos da literatura (já corrigidas para a base $15,83 \times 10^{24}$ seJ/ano) e comparadas com o valor empregado neste trabalho.

A variação entre os valores das *UEVs* do milho, para mais e para menos, é grande e optou-se por empregar neste trabalho um valor intermediário de um sistema brasileiro, com características e tamanho semelhantes ao do agronegócio estudado.

Análise de Sensibilidade

Transformidade / (seJ/J)	UEV / (sej/g)	Referência	Valor literatura/ Valor usado neste trabalho	Observação
-----	$2,08 \times 10^9$	Ortega <i>et al.</i> , 2002	utilizada neste trabalho	Brasil
$7,09 \times 10^4$	$1,21 \times 10^9$	Sciubba e Ulgiati, 2005	0,58	média mundial
$7,34 \times 10^4$	$1,26 \times 10^9$	Franzese <i>et al.</i> , 2009	0,60	Itália
$2,38 \times 10^5$	$4,07 \times 10^9$	Rodrigues <i>et al.</i> , 2003	1,96	Brasil
$1,20 \times 10^5$	$2,05 \times 10^9$	Brandt-Williams, 2002	0,99	Estados Unidos
$7,85 \times 10^7$	$1,34 \times 10^{12}$	Vendrametto, 2011	646,08	Brasil
-----	$2,40 \times 10^9$	Odum, 1996	1,16	Estados Unidos