

**MODELAGEM DO BALANÇO ENERGÉTICO NA
ALIMENTAÇÃO SUPLEMENTAR PARA BOVINOS**

THIAGO LIBÓRIO ROMANELLI

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia, Área de Concentração: Máquinas
Agrícolas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Dezembro – 2002

MODELAGEM DO BALANÇO ENERGÉTICO NA ALIMENTAÇÃO SUPLEMENTAR PARA BOVINOS

THIAGO LIBÓRIO ROMANELLI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **MARCOS MILAN**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia, Área de Concentração: Máquinas
Agrícolas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Dezembro – 2002

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Romanelli, Thiago Libório
Modelagem do balanço energético na alimentação suplementar para
bovinos / Thiago Libório Romanelli. - - Piracicaba, 2002.
110 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
2002.
Bibliografia.

1. Administração ambiental 2. Balanço de energia 3. Ensilagem 4.
Fenação 5. Sistema de produção 6. Suplementos alimentares para animais l.
Título

CDD 636.2084

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O
autor”**

"O conformismo é carcereiro da liberdade e inimigo do crescimento."

John F. Kennedy

À

meus pais, Lysis e Antonieta;

minha avó, Assumpta e

meu irmão, Luciano;

Dedico.

Ao time canino:

Bande (*in memoriam*),

Belle, Tuna, Taiga e Diana;

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

À **FAPESP** pela bolsa concedida ao projeto.

Ao amigo e orientador **Prof. Dr. Marcos Milan** pela valiosa orientação, confiança e exemplo.

Ao **Prof. Dr. Gil Eduardo Serra** pela valiosa contribuição, atenção e prontidão.

Ao **Prof. Dr. Luís Gustavo Nussio** pelas observações oportunas, atenção e prontidão no trabalho executado e também quanto à permissão para acompanhar o sistema de produção do Departamento de Zootecnia.

Ao **Prof. Dr. Casimiro Dias Gadanha Júnior** pelas sugestões e atenção.

Ao **Prof. Dr. Alexandre Lahóz Mendonça de Barros** pelo incentivo e troca de idéias

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, na pessoa do **Prof. Dr. José Paulo Molin**, coordenador do Programa de PG em Máquinas Agrícolas pela convivência gratificante.

À **Fazenda Água Comprida** nas pessoas de seu diretor **Paulo Toledo** e do funcionário **Marcos**, por propiciarem a obtenção de informações fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Aos amigos **M.S. Maximiliano Salles Scarpári, Med. Vet. Lucas José Mari e Eng. Agr. Rodrigo Bonato** pelo apoio nas determinações realizadas a campo.

Aos amigos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, nas pessoas de **Fernanda Barbosa, Davilmar Colevatti e D. Lurdes Franzini** pela agradável convivência.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia, na pessoa do **Sr. José Benedito de Oliveira** pela dedicação e respeito à execução desse trabalho.

Às bibliotecárias **Silvia e Eliana**, pela atenção e profissionalismo na correção da formatação do documento final.

À minha namorada **Vanessa** por todo o seu carinho, amor, dedicação e paciência.

Aos amigos **Adriana Pires, Robson Barizon, Fábio Prata e Genelício Rocha**, pela acolhida em seus corações.

Aos amigos **Lucas Mari, Felipe Godoy, Orlando Godoy, Maximiliano Scarpári, Leandro Gimenez, Giovanni Fuss, Cléber Zanin, Juriston Novello, Fábio Altafin, Jefferson Varriano, Ricardo Bueloni, Lucas Dorizotto, Thiago Nogueira, Daniel Gomes, Marcelo Corazza, Eduardo Novaes e Luciano Fioravanti** por fazerem parte de minha vida.

Aos amigos de curso **Sérgio Dias Inglez de Sousa, Rodrigo Bonato, Fábio Baio, Guilherme Cerri, Lucy Pereira, Luiz Cláudio Cremonini, Sérgio Bizuti, Saulo Salaber, Murilo Sugisawa, Fabiana Franco e Rui Consentino** pelo convívio.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ANEXOS	xiii
RESUMO	xv
SUMMARY	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Balanço Energético	3
2.1.1 A Importância.....	3
2.1.2 Energia e a termodinâmica	5
2.1.3 Energia e desenvolvimento da agricultura	6
2.1.4 Balanço energético na agricultura.....	12
2.1.5 Balanço energético na produção de silagem	14
2.2 Alimentação Suplementar	15
2.2.1 Pecuária no Brasil.....	15
2.2.2 A alternativa da silagem.....	16
2.2.3 Silagem de milho.....	17
2.2.4 Fatores importantes	19
2.2.5 Qualidade da silagem	20
2.2.6 Silagem emurchecida	21
2.3 Modelagem.....	22
2.3.1 Conceitos	22

2.3.2 Vantagens	24
2.3.3 Deficiências	25
2.3.4 Componentes	25
2.3.5 Tipos de modelos	26
2.3.6. Modelagem em sistemas de produção.....	27
2.3.7 Abordagens de energia e silagem.....	28
2.3.8 Futuro da modelagem na agricultura.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 Sistemas de Produção de Alimentação Sup lementar	30
3.2 Fundamentos para o Desenvolvimento do Algoritmo	30
3.2.1 Cálculo da energia de entrada	34
3.2.1.1 Energia dos insumos (E_I).....	34
3.2.1.2 Depreciação energética (E_{DE}).....	36
3.2.1.3 Energia do combustível (E_{CB})	40
3.2.1.4 Mão-de-obra (E_{MO}).....	41
3.2.1.5 Irrigação (E_{IR}).....	42
3.2.2 Cálculo da energia de saída	43
3.3 Verificação	44
3.4 Cenários.....	44
3.4.1 Cenário 1 – Sistema de produção de silagem de milho.....	45
3.4.1.1 Propriedade.....	45
3.4.1.2 Operações agrícolas.....	45
3.4.2 Cenário 2 – Sistema de produção de silagem emurchecida	48
3.4.2.1 Propriedade.....	48
3.4.2.2 Operações agrícolas.....	49
3.4.2.3 Irrigação	52
3.4.3 Determinações realizadas	52
3.4.3.1 Velocidade de trabalho	52
3.4.3.2 Consumo de combustível	52
3.4.3.3 Largura efetiva média	53

3.4.3.4 Largura efetiva média para aplicação de defensivos.....	53
3.4.3.5 Vazão de insumos da semeadora-adubadora.....	53
3.4.3.6 Vazão de fertilizantes na adubação de cobertura	54
3.4.3.7 Vazão da aplicação de defensivos	54
3.4.3.8 Análise bromatológica do material colhido	54
3.5 Validação.....	55
3.6 Análise de Sensibilidade	55
3.7 Alternativas aos Cenários	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Sistemas de Produção.....	56
4.2 Algoritmo Geral	58
4.2.1 Algoritmo da energia contida nos insumos (E_I).....	59
4.2.2 Algoritmo da energia despendida na depreciação energética da maquinaria (E_{DE})....	61
4.2.3 Algoritmo da energia despendida pela mão-de-obra (E_{MO})	62
4.2.4 Algoritmo da energia despendida pelo sistema de irrigação (E_{IR}).....	62
4.2.5 Algoritmo da energia contida nos combustíveis (E_{CB}).....	63
4.3 Verificação da Rotina	64
4.4 Cenários.....	64
4.4.1 Silagem de milho.....	64
4.4.2 Silagem emurhecida	65
4.4.2.1 Revestimento	66
4.4.2.2 Irrigação	67
4.5 Validação.....	67
4.6 Análise de Cenários.....	68
4.6.1 Silagem de milho.....	68
4.6.2 Silagem emurhecida	70
4.6.3 Observações	72
4.7 Análise de Sensibilidade	73
4.8 Alternativas aos Cenários	76

4.8.1 Silagem de milho.....	76
4.8.2 Silagem emurchecida	78
5 CONCLUSÕES	80
ANEXOS.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Consumo de combustíveis fósseis ao longo da história da agricultura	7
2 Evolução do consumo energético do setor agropecuário	8
3 Evolução do uso das fontes de energia do setor agropecuário no últimos 17 anos	9
4 Fluxograma da determinação de balanço energético em sistemas de produção agrícola.	31
5 Fluxograma da determinação das energias de saída.....	31
6 Fluxograma geral dos sistemas de produção de alimentação suplementar de bovinos existentes	57
7 Fluxograma geral do algoritmo	59
8 Fluxograma da determinação da energia contida nos insumos (E_I)	60
9 Fluxograma da determinação da energia despendida na depreciação energética da maquinaria (E_{DE})	61

10 Fluxograma da determinação da energia pela mão-de-obra (E_{MO})	62
11 Fluxograma da determinação da energia despendida pela mão-de-obra (E_{MO})	62
12 Fluxograma do cálculo de energia contida nos combustíveis (E_{CB})	63
13 Fluxograma do sistema de produção de silagem de milho	64
14 Fluxograma do sistema de produção de silagem emurchecida.	65
15 Comparação do balanço energético para silagem de milho avaliada	68
16 Resultado do sistema de produção de silagem de milho	69
17 Contribuição percentual das operações agrícolas na produção de silagem de milho	70
18 Resultado do sistema de produção de silagem emurchecida.....	71
19 Contribuição percentual das operações agrícolas na produção de silagem emurchecida de Tifton 85	71
20 Estimativas de balanço energético para novos cenários do sistema de produção de silagem de milho	77
21 Estimativas de balanço energético para novos cenários do sistema .de produção de silagem emurchecida de Tifton 85.....	79

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Evolução percentual no consumo de insumos de 1961 – 2000	10
2 Descrição dos conjuntos motomecanizados utilizados no Sistema 1	47
3 Descrição dos conjuntos motomecanizados utilizados no Sistema 2	51
4 Resultado da análise de sensibilidade de alguns fatores dos sistemas de produção	74
5 Alterações no balanço energético dos novos cenários do Sistema 1	77
6 Alterações no balanço energético dos novos cenários do Sistema 2	79

LISTA DE ANEXOS

	Página
A Índices energéticos de alguns fertilizantes	82
B Índices energéticos dos fertilizantes formulados	83
C Índices energéticos de sementes aplicadas nos sistemas de produção agrícolas	84
D Índices energéticos de alguns defensivos	84
E Parâmetros de eficiência de campo	85
F Resultados da análise bromatológica do milho a ser ensilado	87
G Resultados das operações mecanizadas efetuadas para a produção de silagem de milho	88
H Resultados da análise bromatológica do Tifton 85 a ser ensilado	89
I Resultados das operações mecanizadas efetuadas para a produção de silagem emurcheada.	90

J Planilha de entrada de dados das máquinas utilizadas na produção de silagem de milho do modelo elaborado	91
K Planilha de entrada de dados dos insumos utilizados na produção de silagem de milho do modelo elaborado	92
L Resultados fornecidos pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem de milho	93
M Gráfico gerado pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem de milho	94
N Planilha de entrada de dados das máquinas utilizadas na produção de silagem emurchecida do modelo elaborado	95
O Planilha de entrada de dados dos insumos utilizados na produção de silagem emurchecida do modelo elaborado	96
P Resultados fornecidos pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem emurchecida	97
Q Gráfico gerado pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem emurchecida	98
R Arquivos do modelo com dados da silagem de milho, emurchecida de Tifton 85 e a ser preenchido	99

MODELAGEM DO BALANÇO ENERGÉTICO NA ALIMENTAÇÃO

SUPLEMENTAR PARA BOVINOS

Autor: THIAGO LIBÓRIO ROMANELLI

Orientador: Prof. Dr. MARCOS MILAN

RESUMO

A necessidade em se produzir alimentos para atender a demanda crescente, vem se constituindo em um dos principais problemas da humanidade. Desde o primeiro choque do petróleo, em 1973, há preocupação com o consumo de energia, devido à escassez dos recursos energéticos, que ameaça a sustentabilidade dos sistemas de produção atuais. O balanço energético é de fundamental importância para a determinação da eficiência no aproveitamento da energia de um sistema de produção agrícola sendo determinado através da quantificação dos fluxos de entrada e saída de energia no sistema. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de carne bovina e o sexto de leite. Devido à importância econômica da pecuária no país, há uma grande preocupação com a produção de alimentação suplementar para ser fornecida aos animais durante o período seco, sendo um dos métodos mais utilizados para esse fim, a silagem de milho. Além dos métodos tradicionais de produção de alimentação suplementar como a ensilagem e a fenação, surgiram técnicas mais modernas como a silagem emurchecida, utilizada principalmente com gramíneas, que tem o seu sistema de produção muito similar ao do feno, porém apresenta menor tempo de secagem, prevenindo perdas qualitativas e quantitativas no material a ser recolhido. O trabalho proposto avaliou a eficiência

energética de dois diferentes sistemas de produção de alimentos suplementares para bovinos, identificando as variáveis críticas e propondo cenários alternativos. A silagem de milho apresentou balanço energético bruto de 14,08, ou seja produziu 15,08 vezes o que consumiu, já a silagem emurhecida de Tifton 85 apresentou balanço energético bruto de - 0,98, consumindo 1,98 vezes o que produziu. Considerando a energia de saída efetivamente disponível ao gado, devido ao teor de NDT da cultura, o balanço energético é de 9,12 e -0,99, respectivamente. A maior demanda da produção da silagem de milho foram a adubação de cobertura e a semeadura-adubação, com 49,34 e 24,06%, respectivamente. Na produção da silagem emurhecida a irrigação demandou 99,72% do total da energia de entrada. O balanço energético diário, que visa considerar a ocupação do solo pelo sistema de produção, foi de 0,087 e - 0,022 para o milho e o Tifton 85, respectivamente. Os mesmos parâmetros considerando a energia de saída disponível ao rebanho, via teor de NDT, são 0,057 e -0,022, respectivamente.

ENERGY BALANCE MODELLING IN CATTLE SUPPLEMENTARY

FEEDING

Author: THIAGO LIBÓRIO ROMANELLI

Adviser: Prof. Dr. MARCOS MILAN

SUMMARY

The need in producing food to supply the increasing demand has been one of the most important problems of mankind. Since the first oil chock, in 1973, there is worry about the energy consumption, because of the lack of energy sources, which threatens the sustainability of the present-day production systems. The energy balance has a important role to evaluate how efficient the energy use by a production system is. And it is determined through the quantification of the income and outcome energy flows. Brazil is the second biggest cattle meat producer and the sixth milk producer. Because of the economic importance of cattle raising in Brazil, there is a great worry about supplementary food to be supplied to cattle during the dry season. To reach this goal, maize silage is one of the most used methods. In addition to the traditional methods, like silage and hay, more modern techniques were created such as haylage, which is used mainly with grasses and has its production system too similar to the hay's. But haylage requires shorter time to dry, avoiding losses in quantity and quality in the vegetal material that will be collected. The present work evaluated the energetic efficiency in two different production systems of supplementary food to cattle, identifying critical variables and suggesting alternative scenarios. Maize silage presented a gross energy

balance of 14.08, what means a outcome energy 15.08 times higher than the income one. haylage presented a gross energy balance of -0.98 , what means a income energy 1.98 times higher than the outcome one. When the really available energy to cattle was considered through the TDN levels, maize silage and haylage presented energy balances of 9.12 and -0.99 , respectively. The highest energy demand in the maize silage production was the fertilizer spreading during the seeding and field cultivation, responsible for 49.34% and 24.06%, respectively. In the haylage production system irrigation was the most demanding operation since it was responsible for 99.72% of the total demanded energy. The daily energy balance, which aims to consider the soil occupation period, was 0.087 to maize silage, and -0.022 to haylage (Tifton 85). The same parameters regarding the effective energy available to cattle, via TDN, were 0.057 and -0.022 , respectively.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade em se produzir alimentos para atender a demanda crescente, vem se constituindo em um dos principais problemas da humanidade. Com o intuito de amenizá-lo, surgem inovações tecnológicas agrícolas que visam o aumento da produtividade, demandando, na grande maioria das vezes, uma maior quantidade de energia empregada, via insumos, nos sistemas de produção. Esse acréscimo na demanda de energia, suprida, principalmente, pela utilização de combustíveis fósseis, gera um aumento dos custos, principalmente após a 1ª crise do petróleo em 1973. Além disso, gera também um aumento no consumo energético, devido à maior utilização dos insumos como os fertilizantes, defensivos, máquinas e implementos. A preocupação com o gasto de energia se deve à escassez dos recursos energéticos, que ameaça a sustentabilidade dos sistemas de produção atuais. O balanço energético é de fundamental importância para a determinação da eficiência no aproveitamento da energia de um sistema agrícola, sendo determinado através da quantificação dos fluxos de entrada e saída. No Brasil, a principal fonte de proteína na alimentação é a carne bovina. O rebanho brasileiro é considerado o maior do mundo para fins comerciais, com aproximadamente 159,4 milhões de cabeças, perdendo apenas para a Índia com 313,7 milhões, país onde a produção de carne não é explorada. Quanto à pecuária de corte, o Brasil é o segundo maior produtor mundial com 6,7 milhões de toneladas por ano, perdendo apenas para os Estados Unidos com 12,3 milhões. Já em relação à produção de leite, o Brasil é o sexto produtor mundial, com cerca de 21 bilhões de litros de leite. Devido à importância econômica da pecuária no país, há uma grande preocupação com a produção de alimentação suplementar para ser fornecida aos animais durante o período

seco, sendo um dos métodos mais utilizados para esse fim, a silagem de milho. A produção dos alimentos suplementares se deve ao fato de haver estacionalidade de chuvas no Brasil. Por volta de 80% da produção de matéria seca anual das gramíneas concentra-se na época chuvosa. Sendo assim, além da menor quantidade do pasto existente na época de seca, há diminuição da qualidade. Além dos métodos tradicionais de produção de alimentação suplementar, como a ensilagem e a fenação, surgiram técnicas mais modernas como a silagem emurchecida, utilizada, principalmente, com gramíneas, que tem o seu sistema de produção muito similar ao do feno, porém apresenta menor tempo de secagem, prevenindo perdas quali e quantitativas no material a ser recolhido.

Desse modo, o trabalho proposto visa avaliar a eficiência energética de diferentes sistemas de produção de alimentos suplementares para bovinos, identificando as variáveis críticas e propondo cenários alternativos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Balanço Energético

2.1.1 A Importância

A produção e a utilização de alimentos há muito vem se constituindo num dos principais problemas da humanidade. Segundo Ulbanere¹ citado por Campos et al. (1998), enquanto o homem desenvolve tecnologias que visam o aumento da produtividade agrícola, inúmeros fatores concorrem para dificultar a obtenção desse objetivo, podendo-se destacar, por exemplo, a influência dos combustíveis fósseis na formação dos custos econômicos e energéticos.

Tal influência foi evidenciada quando houve um alerta geral sobre eventual falta de combustíveis fósseis transmitido pelos países árabes em outubro de 1973, durante a primeira crise do petróleo (Rodrigues, 1975). Segundo Ulbanere & Ferreira (1989), as economias passaram a ter maior preocupação com seus gastos energéticos, pois, até então, os derivados fósseis, que não apresentavam ônus relevante, passaram a ter participação significativa no custo das operações agrícolas. A dependência da humanidade de fontes de energia não-renovável vem desde os primórdios, pois, segundo Barros (1996), a história do Homem é a história da apropriação de energia. Sendo assim, o crescimento da população mundial e a passagem das sociedades extrativistas para o

¹ ULBANERE, R.C.; FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para à produção de milho no Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.4, n.1, p.35-42, 1989.

moderno mundo urbano só foram possíveis graças à crescente habilidade no aproveitamento de fontes de energia que eram até então desconhecidas. Sendo que, no último século, não houve nenhuma grande revolução tecnológica que possibilitasse o aproveitamento de uma nova fonte de energia. Por isso as fontes não-renováveis tradicionais (principalmente o petróleo), seguem sendo a base da matriz energética da economia moderna, justificando a preocupação quanto a sustentabilidade do crescimento econômico.

Segundo Stanhill (1984), durante a última metade do século XX, a propriedade agrícola se transformou de um sistema quase fechado e auto-suficiente, onde insumos (*inputs*), com baixo valor energético embutido, utilizados na produção satisfaziam apenas as exigências locais, para um sistema intensivo e aberto, onde se utiliza grande quantidade de insumos, com grande quantidade de energia embutida para se obter produtos destinados à um mercado globalizado. Os avanços da agricultura, segundo Ferraro Júnior (1999), ocorreram graças ao aumento da energia consumida nos sistemas de produção, principalmente, das fontes de baixa entropia, fazendo com que a agricultura deixasse, aos poucos, de ser a "arte de colher o sol" para se tornar um processo de transformação de petróleo, gás natural e eletricidade em energias assimiláveis pelo organismo humano. A agricultura é considerada como meio de converter energia solar em "alimentos". Entretanto, ela necessita de outras fontes de energia aplicada no cultivo, destacando-se os fertilizantes e os defensivos agrícolas, insumos geralmente derivados do petróleo (Almeida, 1985).

A "industrialização" da agricultura foi aceita como um modelo destinado ao seu desenvolvimento, permitindo aumento da produção e da eficiência por unidade de área, trabalho e água, mesmo em áreas com fontes limitadas de recursos energéticos.

A partir da 1ª crise do petróleo, foi observado que, em muitos casos, para produzir uma unidade de energia metabólica pela agricultura extensiva, havia necessidade de mais de uma unidade de energia proveniente do petróleo, que era economicamente viável devido ao baixo preço do combustível (Stanhill, 1984). Desde então, observou-se que toda vez que novos fatores eram acrescentados para modernizar a agricultura, intensificava-se o uso de energia, que por sua vez, influenciava nos fluxos e

nas taxas de retorno do capital investido (Santos, 1992). Assim, para que o sistema fosse econômico, havia necessidade de se empregar tecnologia que apresentassem baixo consumo de energia e elevado retorno econômico.

2.1.2 Energia e a termodinâmica

Energia é a capacidade de realizar trabalho e é equivalente ao trabalho propriamente dito. Os princípios que governam as conversões entre as diferentes formas de energia são as duas leis da termodinâmica.

A Primeira Lei da Termodinâmica, ou Princípio da Conservação da Energia, pode ser enunciada da seguinte maneira: a energia não pode ser criada ou destruída, mas pode apenas mudar de uma forma para outra. A energia total existente sob diversas formas é invariável.

A Segunda Lei da Termodinâmica, ou Lei da Entropia, trata da irreversibilidade dos processos naturais. Segundo Odum (1969), pode ser enunciada da seguinte maneira: “Nenhum processo que implique numa transformação da energia ocorrerá espontaneamente, a menos que haja uma degradação da energia de uma forma concentrada ou dispersa”.

A entropia é a medida da energia não-disponível que resulta das transformações e, também, pode ser considerada como um índice geral da desordem de um sistema associado com a degradação da energia. A entropia do universo não pára de crescer, tendendo a um máximo no qual encontraremos um equilíbrio termodinâmico.

A segunda lei da termodinâmica nos remete à questão da qualidade da energia, pois as mesmas quantidades de energia de formas diferentes possuem diferentes potenciais para realizar trabalho. A energia química contida nos combustíveis fósseis possui um alto grau de ordenação, ou seja, uma grande disponibilidade de energia. Segundo Cavalcanti (1996), ao utilizar os recursos de baixa entropia e devolver matéria em desordem (resíduos de alta entropia), o processo econômico muda o perfil no seu aspecto qualitativo. A teoria econômica neoclássica exclui a realidade física da

produção, os recursos naturais e os serviços ecológicos não fazem parte das funções de produção. Sendo assim, a melhoria da eficiência de uso de energia de um sistema de produção propicia uma redução no processo de exaustão das fontes de energia de baixa entropia, embora tal benefício não seja quantificado economicamente.

2.1.3 Energia e desenvolvimento da agricultura

Do início da domesticação das culturas pela humanidade até a utilização de ferramentas no trabalho agrícola, o homem dispunha apenas de instrumentos endossomáticos, ou seja, seu próprio corpo para a realização das tarefas. Com o advento das ferramentas, foi-se aumentando continuamente o emprego de instrumentos exossomáticos, ou seja, aqueles não inerentes às características humanas como enxadas, implementos, máquinas etc. O uso de instrumentos exossomáticos para a sobrevivência gera, segundo Georgescu-Roegen (1975), problemas diferentes aos das outras espécies, sendo denominados de problemas bioeconômicos.

A agricultura sofreu grandes avanços ao longo do século XX. Todo este avanço tecnológico teve como suporte o aumento na demanda energética do setor, principalmente das fontes de energia de baixa entropia, tendo como os principais exemplos os combustíveis fósseis.

A dependência dos combustíveis fósseis, tanto na produção de alimentos quanto na forma de insumos, pela agricultura é muito recente na sua história, como pode-se observar na Figura 1, extraída de Hall et al. (1992).

Na Figura 1 pode ser observada a evolução do uso de combustíveis fósseis (*fossil fuels*) desde os primórdios da agricultura (aproximadamente 7000 a.C.), bem como a explosão demográfica na Terra desde o princípio do período Paleolítico (*Lower Paleolithic*).

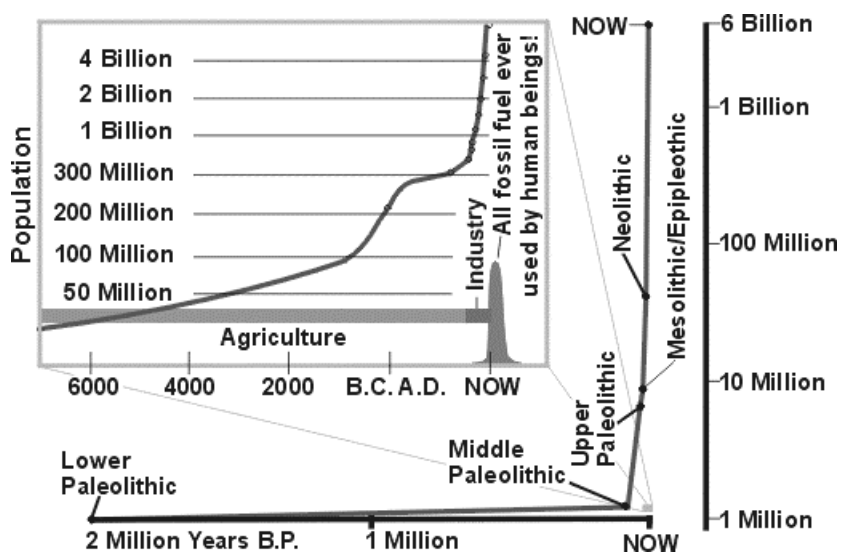


Figura 1 - Consumo de combustíveis fósseis ao longo da história da agricultura.

Esta dependência foi fundamental para os ganhos de produtividade, principalmente após a "Revolução Verde", que propiciou um aumento considerável na utilização de diversos insumos na produção agrícola, de forma mais acentuada nos países desenvolvidos. Segundo Hill & Ramsay (1976), os grandes avanços na produtividade da agricultura moderna são devidos a uma dependência extrema dos insumos oriundos de recursos finitos. Examinar a eficiência da agricultura quanto ao uso e geração de energia é o primeiro passo para corrigir esta situação. A principal tarefa é identificar ou projetar estratégias dependentes de combustíveis não fósseis e de agricultura não poluente que possam ser permanentes, e, assim, atender às necessidades nutricionais individuais da população.

A contabilidade energética identifica o grau de sustentabilidade de um sistema de produção, já que essa dependência põe em risco tal sustentabilidade em função da exaustão das reservas energéticas de baixa entropia no mundo (combustíveis fósseis etc.), e do conseqüente aumento dos preços. Por sua vez, a exaustão é devida não somente ao aumento direto do consumo de energia pelos sistemas de produção, mas também indiretamente na produção de todos os insumos utilizados.

Castanho Filho & Chabariberi (1983), estudando o perfil energético da lavoura paulista, concluíram que a energia fóssil participa com quase 80% do total requerido pela agricultura intensiva, e que, isoladamente, os combustíveis contribuem com 38%. Em muitos sistemas de agricultura intensiva, a energia adicional investida pode ser maior que o adicional produzido (Almeida, 1985). Silva et al. (1987) ao analisarem o balanço energético das culturas de feijão e milho, encontraram como principais fontes de consumo energético os combustíveis e lubrificantes, que somaram 51,2 e 57,1% do total, respectivamente.

Analisando os dados brasileiro de balanço energético do ano de 1992, Januzzi (1994), observou que o consumo do setor agropecuário variava de 5 a 8% do total consumido no país. O consumo de óleo diesel era a principal fonte energética do setor e representava 48% desse total. Comparando-se esses dados com os disponibilizados pelo Brasil (2002), pode-se observar que a situação não se alterou muito, como demonstram as Figuras 2 e 3.

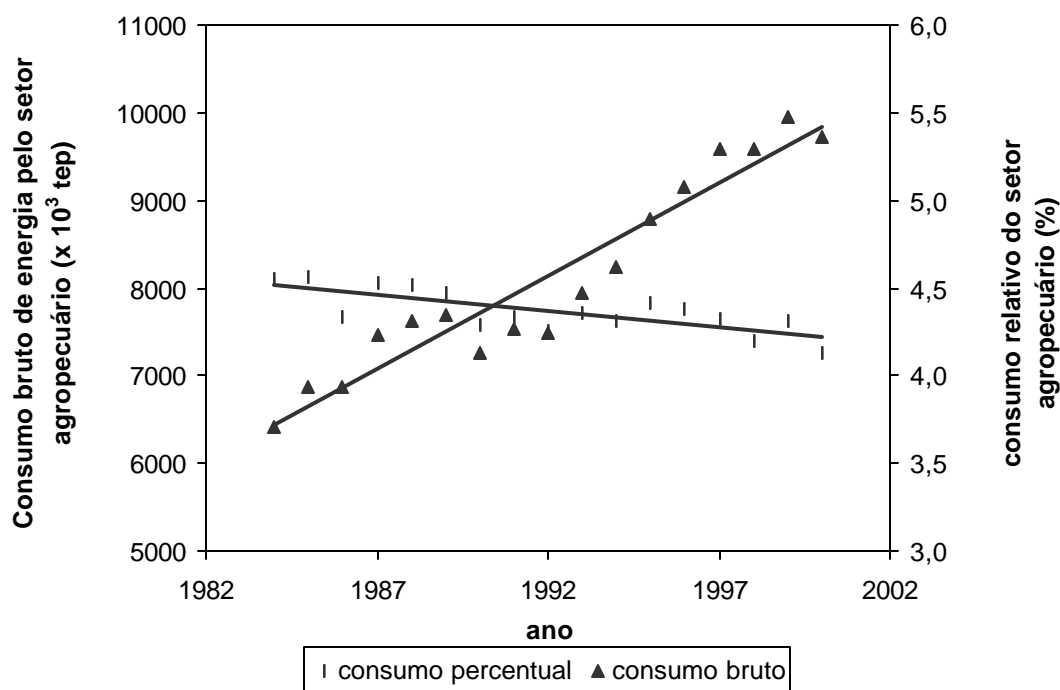


Figura 2 – Evolução do consumo energético do setor agropecuário.

Apesar do consumo percentual ter diminuído 0,30%, como mostra a Figura 2, o consumo absoluto cresceu 55% em um período de 17 anos. Isso se deve ao fato dos outros setores terem a sua demanda por energia elevada ainda mais que o setor agropecuário. A eficiência de uso energia se faz importante na agricultura não apenas para reduzir o consumo do setor agropecuário, mas também para consolidar tal setor como fonte alternativa de energia, tais como álcool e biomassa.

A Figura 3 mostra que a principal fonte de energia do setor agropecuário continua sendo o óleo diesel, ao passo que a lenha vem cedendo lugar à energia elétrica.

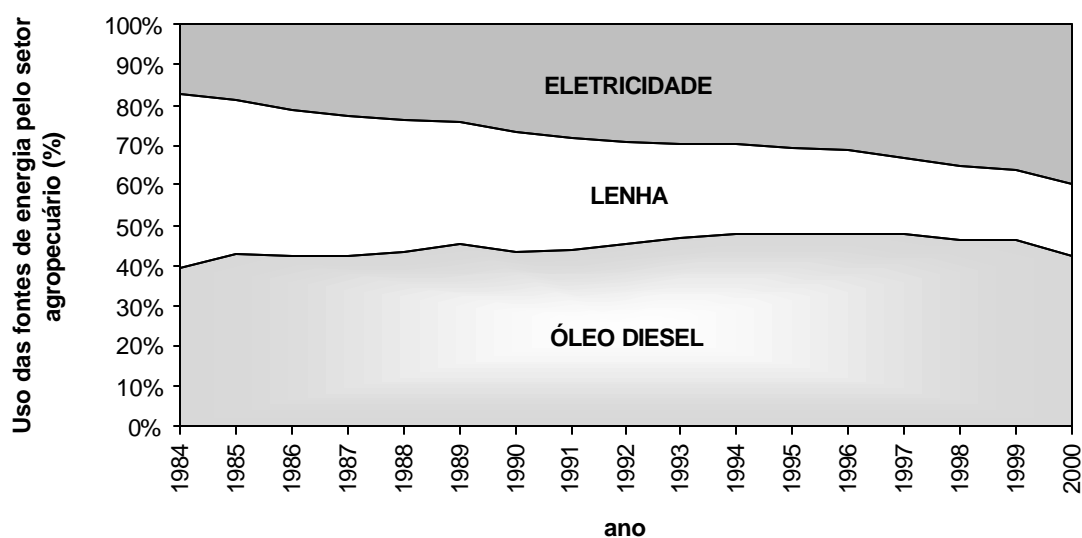


Figura 3 – Evolução do uso das fontes de energia do setor agropecuário no últimos 17 anos.

Entretanto, para Ferraro Junior (1999), há limites para a intensificação do uso de energia via insumos aplicados nos sistemas de produção, uma vez que devido as características genéticas das culturas, e ao fato do excedente aplicado poluir o ambiente, gerando malefícios ao solo bem como ao produto agrícola de interesse. Como exemplo,

poderiam não haver mais razões técnicas ou econômicas para ampliar-se o uso de fertilizantes, que é extremamente dependente de energia para a sua extração ou fabricação, pois, após um determinado ponto, a resposta à esta adição inexistente ou é mesmo negativa. Também não há possibilidade de se aumentar a mecanização agrícola uma vez que isto só implicaria em perdas físicas e biológicas do solo.

A modernização da agricultura está vinculada à obtenção de produtos utilizando alto consumo energético. Sendo assim, o aumento da produtividade está relacionado com o incremento do dispêndio energético (Mello, 1986). Pode-se observar na Tabela 1 que, ao longo da Revolução Verde, o aumento da produtividade, no caso do milho, que é a cultura mais dependente de insumos de alta tecnologia, é muito inferior aos acréscimos de insumos empregados. Tal acréscimo também não é explicado pelo aumento da área cultivada, tanto no Brasil, como no Mundo.

Tabela 1. Evolução percentual no consumo de insumos de 1961 – 2000

Insumo	Mundo (%)	Brasil (%)
Fertilizantes nitrogenados	611	2542
Fertilizantes fosfatados	201	1301
Fertilizantes potássicos	154	3097
Área cultivada	10	66
Máquinas	132	1019
População	94	124
Produtividade do milho	117	109

Fonte: FAO (2000)

O desenvolvimento tecnológico ocorrido nos últimos 40 anos no Brasil, está, segundo Comitê (1995), associado ao aumento de demanda energética no setor, trazendo à tona a importância da eficiência energética. Esta, segundo Fancelli (1994) citado por Comitê (1995), tende a ser negativa no atual sistema de produção. O desenvolvimento e a aplicação de novas técnicas aumentou a produtividade de algumas culturas, mas fez com que o Brasil, por não ser auto-suficiente em alguns insumos,

atingisse um padrão de consumo energético elevado e se tornasse dependente econômica e tecnologicamente, como por exemplo do petróleo e fósforo (Comitre, 1995).

Segundo Mello (1986), os gastos energéticos são proporcionais ao grau de interferência mecânica e química nos ecossistemas. A tração mecanizada e os insumos empregados na correção, adubação e no controle de pragas, doenças e plantas daninhas são itens de alto custo energético. Na Tabela 1 podemos observar a evolução da tecnificação da agricultura brasileira, principalmente quanto à utilização de máquinas agrícolas e fertilizantes.

Segundo Stout & Myers (1979), políticas mais racionais quanto ao desenvolvimento de recursos energéticos adicionais e tecnologias para reduzir o consumo energético pelos sistemas de produção, deveriam ser implantadas para promover um grau maior de sustentabilidade para a agricultura.

O conhecimento das formas como a agricultura gasta e produz energia é fundamental para a definição de políticas de estímulo à produção, ou de restrição do consumo, em função da importância estratégica que ocupa como potencial produtora de excedente energético para outros setores da economia (Castanho Filho & Chabariberi, 1983). O balanço energético das culturas, segundo Silva et al. (1976), é fator de fundamental importância para a eleição de uma matéria-prima para a produção de energia. Molina Junior (1991) considera que há necessidade em melhorar a eficiência no consumo energético das culturas para minimizar o impacto ao ambiente, pois a maior parte dos combustíveis fósseis emitem gases que poluem a atmosfera. Deve-se lembrar que são atribuídos à maciça utilização dos combustíveis fósseis, os impactos globais sobre o ambiente, como o efeito estufa, cuja contribuição do setor agrícola é estimada em 14% por Lashof & Tirpark (1990), citados por Goldemberg (1998).

No setor de planejamento agrícola, segundo Singh & Singh (1992), há demandas conflitantes como a maximização da produção de alimentos a partir de uma área limitada arável, e minimização de acréscimo de energia, na forma de insumos, fatores esses que deveriam ser baseados no entendimento da interação entre a cultura e a energia contida nos diversos tratamentos culturais.

2.1.4 Balanço energético na agricultura

Segundo Silva et al.(1987), a produção de energia pelo setor agropecuário para satisfazer as necessidades calóricas da população (alimentos) ou para ser utilizada como fonte substituta de energia fóssil (álcool, adubos orgânicos), prescinde de injeção energética nos processos de produção, transporte e transformação, podendo-se agregar as fontes básicas em três grandes grupos: energia biológica, energia fóssil e energia elétrica.

De acordo com Hetz (1994), o balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando a demanda total, a eficiência energética refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada (energia produzida/energia empregada), além da energia necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto. Nesse processo identifica-se e quantifica-se todos os insumos utilizados e produzidos que serão transformados em unidades de energia (Siqueira et al., 1999).

Segundo Sousa & Milanez (1990), no balanço energético considera-se não somente a energia empregada como combustível para tratores, mas também a utilizada na fabricação de maquinaria agrícola, fertilizantes e defensivos, no desenvolvimento de sementes melhoradas e nos demais insumos empregados no processo de produção, sendo adicionais à solar. Fluck & Baird (1982) afirmaram que a análise energética deve avaliar objetivamente as quantidades de energia envolvidas em um processo ou sistema, identificando e medindo esses fluxos.

Odum (1984) observou que para analisar o balanço energético de um sistema era necessário medir em unidades físicas a quantidade de energia gasta para a produção de cada serviço ou em cada etapa da produção. Essas medidas incluíam além da energia empregada na fabricação de máquinas, fertilizantes e defensivos, a energia exigida para disponibilizar os equipamentos necessários em cada fase do processo.

Segundo Pimentel (1980a), além de ser necessário contabilizar a energia gasta para obtenção dos principais insumos, deveria também considerar-se aquela empregada no transporte destes da fábrica até a propriedade, bem como a energia gasta com tratamentos culturais. Entretanto, Loomis & Connor (1992) consideram as atividades auxiliares à

produção como provenientes de consumo indireto de energia e que apenas os insumos diretamente envolvidos na produção agrícola deveriam ser considerados. Segundo esses autores, deve-se considerar apenas a eficiência da energia empregada pela mecanização, tratamentos culturais e colheita.

Obviamente, determinar a melhor estratégia de manejo para a produção agrícola depende da análise não apenas das condições ambientais específicas, mas também de dados de balanços energético e econômico. Segundo Ferraro Junior (1999), nos sistemas agrícolas, há entradas direta e indireta de energia. A energia direta seria aquela contida na alimentação de homens e animais, além da presente nos combustíveis consumidos pelas máquinas. A energia contida em um serviço ou em um bem é a soma do dispêndio energético humano, dos combustíveis e de quaisquer outras fontes de energia. Essa soma recebe o nome de energia incorporada.

Para Santos (1992), cada item consumidor de energia deve ser transformado em unidade energética, considerando a razão entre a produção de cada espécie vegetal e a energia cultural apresentada pelo uso de insumos e pelas atividades operacionais do sistema de produção. Esse índice é denominado de produtividade cultural e seu resultado é expresso em unidade de massa por unidade de energia (ex.: kg.kcal^{-1})

Algumas culturas, principalmente as destinadas ao consumo humano nos EUA, segundo Pimentel (1984), mostraram que a razão entre energia alimentar e a investida na cultura era inferior a 1, ou seja, apresentavam balanço energético desfavorável. Como os alimentos têm em sua composição elementos essenciais ao organismo humano, como vitaminas, fibras etc., mesmo que o balanço energético seja desfavorável, continuarão a ser cultivados, mas deve-se sempre almejar que o sistema busque o máximo rendimento energético e econômico. Quando uma cultura não responde adequadamente aos seus investimentos energéticos, pode significar que alguns dos insumos empregados não estão sendo bem aproveitados.

Segundo Serra et al. (1979), a maior dificuldade na obtenção do indicador energético de uma cultura é quanto ao cômputo da energia indireta embutida nas máquinas e nos produtos químicos utilizados como insumos na lavoura. Cada produto

elaborado exige o consumo de certa quantidade de trabalho humano, transporte, capital investido, matéria-prima e combustíveis sendo esses itens chamados de energia indireta.

Deve-se também considerar a energia de entrada devido ao emprego de sementes, fertilizantes, defensivos, trabalhos humano e animal, operações mecanizadas, transporte, irrigação, terra, edificações, além de combustíveis e outras fontes de energia direta (Pimentel et al., 1984).

Embora a energia de entrada proveniente da energia solar seja bastante superior ao do petróleo, Loomis & Connor (1982) demonstraram que a eficiência potencial capturada pelas plantas é de 4 a 5%, sendo utilizada, sob condições ideais de nutrição e disponibilidade de água, no máximo 2%. A radiação solar não deve ser computada no cálculo do balanço energético, pois grande parte é perdida quando não é absorvida, além de não gerar custo econômico.

De acordo com o método proposto por IFIAS (1974 e 1975), citado por Pellizzi (1992), é desnecessário o cômputo de quaisquer energias renováveis cuja disponibilidade não dependa de fontes convencionais. Além disso, se a energia solar não é aproveitada imediatamente no momento em que as folhas das plantas são atingidas, o fóton se degrada, impossibilitando seu uso posterior. Apesar da energia solar ser considerada um bem gratuito, Heichel (1976) lembra que o produtor tem que possuir ou alugar a área onde a cultura se estabelecerá, o que reflete um preço indireto da energia solar fotossinteticamente ativa.

2.1.5 Balanço energético na produção de silagem

Phipps et al. (1976) analisaram o balanço energético na produção de silagem de milho e feno, sendo encontrados relações de entrada e saída de energia brutas de 4,8 (380% de eficiência energética) e 2,7, respectivamente. Considerando sistemas de produção alternativos para a produção de silagem de milho, como plantio direto e utilização de esterco como adubação orgânica, os mesmos elevariam aquela relação para 5,3 e 10,8, respectivamente, ou seja 430% e 980% de eficiência energética.

Considerando a média de catorze cultivos, Campos et al. (1998) encontraram um balanço energético bruto de 8,2 (720% de eficiência), ou ainda, 7,8, considerando perda de 4,4% de matéria seca durante o armazenamento.

Pimentel (1984), por sua vez, estudando o balanço energético de diversas culturas no EUA, encontrou a relação de 5,6 (460% de eficiência) para a produção de silagem de milho. Já Hetz (1992) encontrou uma variação entre 12,6 e 17,5 no balanço energético na produção de silagem de milho no Chile. Segundo o mesmo autor, os principais componentes da demanda energética foram combustível e fertilizantes nitrogenado e fosfatado, totalizando 78,8% da demanda total.

Para Phipps et al. (1976), na produção de silagem de milho, o maior componente do consumo energético foram: fertilizantes (58%) e combustível (28%). Já para Campos et al. (1998) os combustíveis contabilizaram apenas 13,57%, enquanto que fertilizantes foram novamente o componente de maior expressão, com 49,87%. A depreciação das máquinas e equipamentos foi responsável por apenas 0,93% da demanda energética total.

2.2 Alimentação Suplementar

2.2.1 Pecuária no Brasil

No período de 1980 a 2000, o rebanho bovino brasileiro cresceu de 70 para 159,4 milhões de cabeças, sendo superado apenas pela Índia, com 313,7 milhões de animais, o qual, entretanto, não tem finalidade econômica, sendo assim o rebanho brasileiro é o maior do mundo para fins comerciais. No que se refere à produção de carne, o Brasil ocupa a segunda posição, com 6,7 milhões de toneladas de equivalente-carcaça produzida em 2000, superada apenas pela produção norte-americana com 12,3 milhões de toneladas de equivalente-carcaça (FNP, 2001). Desse total a região sudeste, em 2000, representava 21,8%. O estado de São Paulo nesta data era o sexto maior rebanho efetivo do país.

Em 1998, a produção de leite brasileira ocupava a sexta colocação no ranking mundial, com cerca de 21 bilhões de litros, antecedida pela produção de Estados Unidos, Rússia, Índia, Alemanha e França, segundo USDA (1999), citado por Ferreira et al. (1999).

Quanto à produção de carne, São Paulo era o primeiro estado produtor, contando com 13,4% do abate em 2000. Na produção de leite nacional, o estado se localiza na terceira posição, com 10% do total, em 2000, atrás de Minas Gerais (29,4%) e Goiás (10,4%). Neste último, os custos de produção são menores, e nele a agropecuária tem se beneficiado de incentivos fiscais estaduais. Os dados revelam por um lado a importância econômica da atividade pecuária para o país, e por outro lado trás uma preocupação quanto à alimentação do rebanho.

2.2.2 A alternativa da silagem

A distribuição estacional de chuvas no Brasil central gera desequilíbrio na produção de forragem e, conseqüentemente, na produção animal. Durante o período chuvoso há forragem abundante disponível para o gado, quando as plantas forrageiras apresentam por volta de 80% da produção de matéria seca do total anual, enquanto que no período seco, o rebanho sofre por falta de alimento (Codagnone et al., 1988). Para amenizar isso pode-se usar a silagem, que é um instrumento auxiliar na estabilização da produção animal ao longo do ano, pois é uma das principais fontes de volumosos da dieta. Além disso, a qualidade da forragem, no período seco, é muito ruim, devido ao avanço da maturidade das plantas, o que diminui seu valor nutritivo. A fenação e ensilagem são técnicas que surgiram para amenizar esse problema. (Pimentel et al., 1998).

Isso mostra a necessidade da suplementação alimentar de alta qualidade durante o inverno, principalmente nas regiões onde este é seco, como na Centro-Sul brasileira. Nos sistemas, que fazem uso de pastagens, a silagem é uma importante fonte de volumoso para a alimentação na época seca. (Valente, 1991)

De todos os processos viáveis, segundo Silva & Machado (1997), para a conservação de forragem, a ensilagem constitui o melhor método para colher sob mau tempo em uma data marcada, permitindo um melhor manejo da propriedade.

Segundo Janssen & Giardini (1995), a silagem é o produto obtido por fermentação de forragens, contendo adequada porcentagem de matéria seca e seu método fundamental de produção consiste no armazenamento de forragens verdes na ausência de ar, em recipientes variáveis em tamanho, tipo e material de construção denominados silos.

Para Salvador (1998) a ensilagem é uma técnica de compactação altamente eficiente para colocar à disposição do rebanho leiteiro grande quantidade de alimentos com alto teores de energia e elevados níveis de matéria seca. A silagem é uma alternativa de volumoso, de alto valor energético, para a dieta do rebanho, podendo ser diminuído o uso de concentrados em rações completas para bovinos (Ferreira, 1991; Fonseca, 2000).

A silagem também é a principal fonte de volumoso em sistemas de confinamento, tanto para a pecuária de corte quanto leiteira. Como a tendência nesses sistemas é adotar animais melhorados geneticamente, que apresentam maior potencial de produção, há demanda para utilizar-se alimentos de melhor qualidade. Por isso, o milho, como planta forrageira, desperta tanto interesse entre os produtores. (Nussio, 1991; Silva, 1997; Fonseca, 2000).

2.2.3 Silagem de milho

Para a produção de silagem, há necessidade de uma espécie de forrageira que apresente produção elevada de massa por unidade de área e que seja um alimento de alta qualidade para os animais. Por isso, segundo Pimentel et al. (1998), o milho é a forrageira mais utilizada para produzir silagem. Embora algumas forrageiras mostrem

produções de matéria seca maiores que o milho, este contém maior teor de energia digestível, com um menor custo, segundo Nussio² citado por Andrade et al. (1998).

Dentre todas as plantas forrageiras que podem ser ensiladas, o milho tem sido a mais indicada por conter grande quantidade de energia, boa produtividade, pouca ocupação do solo, o que propicia uma maior utilização da área, além de ser fácil de cultivar. (Ferreira, 1991; Nussio, 1997; Fonseca, 2000).

A silagem de milho, como alimentação suplementar nas épocas de estiagem, é um recurso de grande valia, viabilizando a pecuária de uma forma geral. A produção de alimentos de boa qualidade deve receber atenção prioritária, independente do sistema de criação adotado. Segundo Campos et al. (1998), na maioria dos sistemas, o milho, na forma de silagem e grãos moídos, participa com mais de 70% da matéria seca da dieta fornecida aos animais.

Os alimentos volumosos, como a silagem, segundo Silveira et al. (1995), constituem-se em importantes componentes dietéticos para os ruminantes, pois perfazem mais de 50% da dieta diária. Volumosos com alta proporção de grãos e menor teor de fibras têm preferência, quando visa-se alta produção de carne, pois estando satisfeitas as necessidades fisiológicas da ruminação e ensalivação, é preferível um maior consumo de grãos, possuidores de alta energia, para melhorar a eficiência alimentar.

O desempenho do animal é limitado pela qualidade da fibra utilizada, em função do efeito de enchimento do trato gastrointestinal. Se o potencial de consumo e concentração energética fossem aumentados, a silagem (volumoso) poderia ser fornecida em maiores quantidades percentuais na dieta, permitindo um maior desempenho animal (Silva & Machado, 1997).

Segundo os mesmos autores, a silagem de milho deve ser encarada como fonte de energia e fibra na dieta, sendo necessária a suplementação com proteína para vacas em lactação.

² NUSSIO, L.G. Cultura de milho para produção de silagem de alto valor nutritivo alimentício. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4. Piracicaba, 1991. *Anais.*, Piracicaba: FEALQ, 1991. P.59-168.

Apesar disso, a tecnologia adotada no cultivo do milho no Brasil, segundo Fonseca (2000), varia muito, devido à escolha de cultivares menos adequados para a produção de matéria seca de qualidade, o que é uma das causas da baixa produtividade de matéria seca e do menor valor nutritivo das silagens produzidas.

2.2.4 Fatores importantes

Segundo Rotz et al. (1989), os parâmetros primários qualitativos requeridos para modelar a qualidade do alimento e o rendimento animal são: proteína bruta e fibra em detergente neutro (FDN), pois as rações podem ser balanceadas com esse dois parâmetros para satisfazer as demandas energética e protéica, além de prever a produção de leite.

O valor nutritivo dos alimentos é baseado, normalmente, em sua densidade energética intrínseca, sendo que esta, por sua vez, é estimada através de equações de regressão estabelecidas entre componentes da parede celular de vegetais (FDN, FDA, lignina e outros) e a digestibilidade das forragens e alimentos concentrados (Nussio & Manzano, 1999).

Sérias restrições baseadas em estudos teóricos e experimentais são feitas através do uso do parâmetro dos nutrientes digestíveis totais (NDT) como indicativo de energia dos alimentos (Harris et al., 1972). Roston & Andrade (1992) afirmam ser possível determinar a energia potencial pelo calor de combustão, tanto no alimento como nas fezes, inferindo-se que a diferença entre os dois indicaria a energia digestível (ED) do alimento para o animal.

Weiss et al. (1992) relacionam o teor de nutrientes digestíveis totais com os teores de fibra detergente ácido (FDA), proteína bruta, extrato etéreo, material mineral, lignina e a proteína bruta insolúvel em detergente ácido. Este é determinado indiretamente através da razão de nitrogênio insolúvel em F.D.A. sobre nitrogênio total.

Segundo Roston & Andrade (1992), existe uma estreita relação entre NDT e ED como medidas de energia potencial do alimento, pois ambos se baseiam na diferença de nutrientes dos alimentos e das fezes.

2.2.5 Qualidade da silagem

De acordo com Nussio & Manzano (1999), a qualidade da produção de silagem pode ser afetada por fatores que podem ou não interagir entre si, como determinação do ponto ideal de colheita e demora excessiva nos processos de ensilagem. Tal fato nos lembra a importância da pontualidade, tanto quanto ao custo quanto à qualidade, abordado por Ozkan & Edwards (1986) e comentado posteriormente no item 2.3.6.

Devido à rentabilidade da atividade leiteira ser medida em centavos por litro, é primordial que se prepare uma silagem de alta qualidade a baixo custo, que é o divisor entre boa e má silagem (Salvador, 1998).

Segundo Freitas (1990), após superados problemas como: aumento de produtividade, teste de cultivares e adequação do método de ensilagem, resta um problema complexo que é a obtenção de um alimento de alto valor energético para se justificar o custo relativamente alto.

O referido problema da qualidade de silagem, em termos energéticos, persiste tanto para a produção como na pesquisa, pois quando vacas entram em regime no qual o volumoso é predominante, a produção cai, atestando deficiência energética. É economicamente vantajoso fornecer como base de alimentação a silagem com valor energético adequado, pois o NDT contido nela tem preço inferior àquele contido em concentrados (Freitas, 1990).

2.2.6 Silagem emurchecida

Dentre as diferentes técnicas de se obter alimentação suplementar para o rebanho, existe a produção de silagem de forragens denominada emurchecida ou emurchecida, que, segundo Janssen & Giardini (1995), apresenta algumas vantagens comparando-se com a fenação, como o menor período de secagem, que diminui o risco de perda por causa do clima e favorece o rebrote da forrageira, além de haver maior constância na qualidade da alimentação e permitir estocagem de forragens de alta qualidade por períodos maiores, apresentando boa relação custo-benefício.

Segundo Vilela (1998), a qualidade do material ensilado é influenciada pela composição química do mesmo, principalmente o teor de umidade associado ao teor de carboidratos solúveis. Este, sendo baixo, pode colocar em risco a conservação do material, provocando acentuadas perdas em matéria seca.

Para amenizar tais problemas, segundo Kautz³ citado por Monteiro (1999), tanto no quesito umidade quanto carboidratos, surgiram técnicas como uso de aditivos na ensilagem e o emurchecimento ou pré-secagem. O emurchecimento, pela remoção parcial da água da planta, age restringindo a extensão da fermentação no silo, além de reduzir ocorrências de fermentações secundárias indesejadas (Monteiro, 1999).

No Brasil, a pré-secagem tem sido usada em regiões de elevada produção de leite, sendo considerada como um dos sistemas mais modernos de produção de volumosos, devido ao menor risco de perdas comparadas à fenação (Monteiro, 1999). Apesar do alto investimento, principalmente em máquinas e implementos, em 1995, apenas na região de Castro e Carambeí, no estado do Paraná, havia 20 mil hectares destinados à silagem emurchecida.

Isso se deve à melhor conservação da qualidade dessa silagem, o que ajuda a manter a estabilidade da produção de leite durante todo o ano. Segundo Monteiro (1999), a silagem emurchecida não é um substituto à de milho, mas sim um

³ KAUTZ, W.P. Fermented forages. PIONEER FORAGE MANUAL: A Nutritional Guide. Iowa: Pioneer Hi Breed International. 1990. 54 p.

complemento. A silagem emurchecida, que demanda tratos culturais muito semelhante aos da produção de feno, se torna mais vantajosa pois tem reduzido o tempo de secagem, e conseqüentemente o risco de perda de produção, além da melhor qualidade do material comparando-se à ensilagem de forragens frescas, com baixo teor de matéria seca.

2.3 Modelagem

2.3.1 Conceitos

Modelo é uma palavra que admite diversas conotações, dentre as quais as seguintes podem ser mencionadas: a representação de alguma entidade, normalmente em tamanho menor que a original; ou, uma simples descrição de um sistema utilizada para explicá-lo. (Crowther⁴ e Procter⁵ citados por Dourado-Neto et al. (1998)).

Um modelo matemático, segundo Pereira (1989), é um conjunto de equações que representam quantitativamente as hipóteses feitas a respeito do sistema real, permitindo deduzir suas conseqüências, ou seja, um modelo matemático pode ser considerado a formalização do conhecimento que se tem do sistema.

Numa análise convencional, tendemos a usar modelo matemático para estudar o comportamento de um componente preferencialmente ao sistema inteiro, e tendemos a ter a visão de alguns fatores que podem ser cruciais ao comportamento do sistema. Com a abordagem do sistema, olhamos ao sistema como um todo. A simulação supre essa tendência, pois é uma técnica de solução de problemas pela predição da resposta do sistema como um todo, com respeito ao tempo de um modelo dinâmico de um sistema. A metodologia de simulação tem propiciado uma poderosa abordagem à solução de sistemas e tem sido aplicada à diversas colocações de problemas encampano uma gama desde processos biológicos à ciências sociais. (Huang, 1994).

⁴ CROWTHER, J. (Ed.). Oxford advanced learner's dictionary of current english. 5 ed. Oxford: Oxford University Press, 1995. 1430 p.

⁵ PROCTER, P. (Ed.). Cambridge international dictionary of english. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 1774 p.

Simular ou modelar é imitar, reproduzir ou parecer similar (Pereira, 1987). A arte da simulação é tão antiga quanto a humanidade. Desde a origem da civilização, o ser humano tem se esforçado para sobreviver, usando, mesmo que inconscientemente, simulações de processos futuros reais para garantir a vida (Dourado-Neto et al., 1998). Ou ainda, segundo Portugal (1983), a modelagem é uma atividade continuamente exercida pelo ser humano, uma vez que os modelos ajudam o raciocínio lógico. Logo, consciente ou inconscientemente, formal ou informalmente, o homem tende a usá-la no cotidiano.

Dent & Blackie (1979) sintetizaram o que se trata a simulação, onde o trabalho com a simulação não é apenas transformar fórmulas conhecidas à uma forma adequada para a computação, mas antes de mais nada, é uma arte que requer genialidade, visão e esforço e, acima de tudo, integridade, por parte do pesquisador. E como em outras artes, a maneira de se usar ou não a técnica em si mesma é o que determina o sucesso ou insucesso.

Segundo Naylor (1971), a simulação é definida como: “uma técnica numérica para conduzir experimentos com certos tipos de modelos matemáticos, os quais descrevem o comportamento de um sistema complexo em um computador digital, por determinados períodos de tempo”. Nesse conceito, o uso do computador está explicitamente incluído. Embora, em teoria, isso não seja essencial, em função da complexidade dos sistemas simulados há a demanda do uso de um modelo de simulação baseado em computador. Quanto ao sistema, Dent & Anderson⁶ citados por Alvarenga & Coelho (1987) afirmam que ele “implica em um complexo de fatores inter-relacionados, o que significa que há interação entre esses fatores e que se deve construir uma fronteira conceptual à volta do complexo como um limite à sua autonomia organizacional”.

Metodologias de simulação computacional e modelagem, com o recente e notável avanços de *hardwares* e *softwares*, têm sido aplicadas extensivamente no início de estudos quantitativos de muitos eventos do mundo real. Métodos de sistemas de

⁶ DENT, J.B.; ANDERSON, J.R. Systems analysis in agriculture management. Sidney: John Wiley, 1971. 394p.

análise e síntese estão sendo usados crescentemente para transpor a lacuna entre teoria e aplicação. (Huang, 1994).

2.3.2 Vantagens

Segundo Portugal (1983), a maior e principal vantagem dos modelos de simulação é a flexibilidade, pois a grande diversidade de técnicas possíveis de serem empregadas propicia a construção de modelos complexos, não sendo necessárias restrições simplificadoras. Outras vantagens são o fato de que o pesquisador é forçado a ter uma visão holística, unindo partes do conhecimento disponível para a compreensão do algoritmo do modelo, possibilitando a criação de um ambiente propício à cooperação interdisciplinar; e a oportunidade que os modelos de simulação de sistemas complexos propiciam de haver uma maior participação e um papel do pesquisador e/ou do tomador de decisão.

Os modelos não só reduzem a distância entre a pesquisa e a prática, facilitando os objetivos da pesquisa, como também auxiliam na identificação dos pontos falhos no estoque de conhecimento científico e as melhores alternativas ou combinações a serem testadas como experimentos físicos. A operação do modelo que representa o sistema, gera a simulação, que segundo Ambrosano (1990), possibilita manipulações que seriam inviáveis quer pelo custo, pela impraticabilidade ou impossibilidade de realização.

Segundo Alvarenga & Oliveira (1987), dentre as diversas vantagens citadas na literatura econômica, a mais evidente é que os modelos de simulação podem ser mais complexos e realísticos que os que devem ser solucionados por técnicas matemáticas convencionais. Os mesmos autores apontam outra vantagem que seria a possibilidade da construção de teorias que levem em consideração os aspectos qualitativos da tomada de decisão. Já Rotz et al. (1989), ao modelar um sistema de produção de forragens para gado leiteiro, afirmam que uma ferramenta que possa permitir a avaliação das conseqüências econômicas de alternativas de gerenciamento ou novas tecnologias, numa

perspectiva total do sistema em um extenso período de tempo, se faz necessária. Para eles, a simulação via computador propiciou esse tipo de avaliação.

2.3.3 Deficiências

Portugal (1983) lembra as deficiências e limitações dos modelos de simulação, como durante a fase de análise, onde o pesquisador tem que decidir quais variáveis e relações devem ou não ser incluídas no modelo, além de onde colocar os limites do modelo, de forma a representar de forma mais fiel, a realidade. Além disso, há falta de informação sobre as variáveis e relações consideradas importantes na análise do sistema, e também, há problema com a validação, que é definida por Jones⁷ citado por Portugal (1983) como: “o processo de definir se o modelo representa ou não suficientemente bem um sistema de acordo com os objetivos do pesquisador”.

Segundo Portugal (1983), é necessário enfatizar a diferença entre a verificação e a validação, pois esta é mais difícil de executar, em função da freqüente falta de informação quantitativa sobre o sistema simulado, e aquela se refere ao processo de definir se o modelo representa de forma correta ou não, a realidade.

2.3.4 Componentes

A modelagem pode ser subdividida em análise e síntese. Durante a análise, o pesquisador deve decompor o sistema em estudo, identificar as variáveis e as relações de maior importância e entender o funcionamento interno do sistema, tão detalhadamente quanto o possível. Na fase de síntese, ele deve unir as relações e variáveis, consideradas importantes na análise, num modelo que possa representar suficientemente bem o sistema em estudo. (Portugal, 1983).

⁷ JONES, J.G.W. Models of agricultural production systems and their application. In.: FREEMAN, B.M. & BOORMAN, K.M. (ed.). Economic factors affecting egg production. Edimburg: British Poultry Science, 1975.

A maioria dos problemas científicos e de engenharia podem ser, segundo Huang (1994), estudados ou analisados tomando-se as seguintes abordagens: definição ou exposição do problema a ser respondido; desenvolvimento das considerações teóricas necessárias para resolver o problema; construção de um modelo matemático do sistema envolvido no problema; redução do problema matemático à um procedimento numérico pela aplicação de metodologias computacionais apropriadas para se obter as soluções do modelo; avaliação das relações de energia de entrada e de saída para propiciar análises quanti e qualitativa do sistema; simulação do comportamento do sistema pela modificação de um ou mais parâmetros do sistema para obter a perspicácia das características do sistema; interpretação dos resultados em termos das características de resposta do sistema com julgamento adequado para o problema e aplicação de técnicas de otimização para determinar os parâmetros do sistema.

2.3.5 Tipos de modelos

O modelo de um sistema real pode ser matemático, gráfico ou físico. Dentre eles, os modelos matemáticos, um processo de descrição de um sistema em termos matemáticos, é considerado como o mais poderoso, uma vez que fornece algo que pode ser manipulado e operado com métodos matemáticos e pode ser desenvolvido em computadores e modelos de simulação. Por essa razão, benefícios substanciais podem ser obtidos pela criação de modelos matemáticos de um sistema, e pela comparação com outros modelos similares. A disponibilidade de computadores de alta velocidade tem revolucionado o conceito de o que é essencial na modelagem matemática de componentes e sistemas.

2.3.6. Modelagem em sistemas de produção

A modelagem dos fluxos de energia, se organizada quanto ao fluxograma próprio de cada sistema de produção, permite que as variáveis envolvidas sejam identificadas e avaliadas quanto a importância na composição do dispêndio energético.

Quanto à minimização do custo da mecanização, Burrows & Siemens (1974) desenvolveram um programa computacional para determinar o sistema mecanizado ótimo, para fazendas produtoras de milho e feijão. Veiga (2000) desenvolveu um modelo empírico para a seleção e cálculo dos custos de sistemas mecanizados para a cultura da soja, baseado na época de plantio.

Milan (1992) desenvolveu um modelo específico para a cultura da cana-de-açúcar que identificava as variáveis críticas envolvendo custos no sistema de produção, concluindo que a uniformização da frota de tratores para uma faixa de alta potência influi na diminuição do custo horário.

Ozkan & Edwards (1986) confirmam que o insumo de maior capital na maioria das propriedades agrícolas é a maquinaria, e que os administradores são capazes de aumentar a margem de lucro selecionando o mais adequado conjunto mecanizado. Para isso desenvolveram um modelo para auxiliar na tomada de decisão, considerando não apenas custos fixo e variável, mas também o custo da pontualidade de semeadura e colheita da cultura.

Apesar de não tratarem diretamente de custo energético, os trabalhos de Burrows & Siemens (1974), Ozkan & Edwards (1986), Milan (1992) e Veiga (2000), fornecem subsídios para que, analogamente ao custo econômico, seja viável a criação de um modelo para a determinação do custo energético, através do balanço energético.

2.3.7 Abordagens de energia e silagem

Ferraro Junior (1999) propôs um método para a avaliação de sistemas de produção de modo a aferir sua sustentabilidade, através de uma planilha eletrônica e da análise dos índices obtidos, referentes a produtividade, balanço energético e rentabilidade. Esse método foi validado para a cultura do milho sob duas condições distintas de preparo e solo e duas de adubação. Porém, nessa planilha proposta não são permitidas simulações de cenários alternativos.

Panesar (1998), desenvolveu um modelo, denominado SENMAP, para a produção agrícola, o qual predizia a energia requerida pelas culturas em um período de 1 ano. A energia demandada foi analisada nos seguintes fatores: água, óleo diesel, eletricidade e trabalho, além da energia total. Este modelo foi conduzido tendo como base um enorme banco de dados de Punjab, um estado da união da Índia. Esses bancos de dados são sobre culturas, implementos, solos, coeficientes energéticos para outras operações, mecanização e irrigação. O autor utilizou conceitos de integração de modelos temporais e espaciais. O SENMAP consiste em três modelos: demanda energética e água, demanda energética para ferramentas de preparo de solo e demanda energética para outras operações.

O modelo SENMAP fornece a saída quanto ao espaço em tabelas ou mapas, os quais apresentam regiões de baixa, média e alta demanda dos fatores abordados. Nesse modelo utilizou-se metodologia de integração, pois apresenta caráter tanto temporal quanto espacial.

Para Rotz et al. (1989), o sistema de produção de forragem para gado leiteiro é uma complexa inter-relação entre a produção agrícola e o uso dela pelos animais. Isso se deve ao fato de existir um grande número de fatores envolvidos, o que torna difícil determinar os benefícios em se implementar alternativas de gerenciamento no sistema já existente ou em se adotar novas tecnologias.

Uma vez que a mesma tecnologia ou alternativa pode trazer um benefício em um aspecto, pode ser prejudicial em outros. Sendo assim, Rotz et al. (1989) revisaram o

modelo DAFOSYM (Dairy Forage System). Para maximizar a eficiência, segundo Rotz et al. (1989), o sistema deve ser otimizado em função das necessidades do animal. Os principais fatores que influenciam quanti e qualitativamente o alimento entre a produção e o uso final são: clima, modo de colheita, dimensão e disponibilidade das máquinas, e tipo e tamanho do silo. O DAFOSYM considera todos esses fatores, e foi desenvolvido como um meio de avaliar novas tecnologias e estratégias de gerenciamento em fazendas produtoras de leite.

2.3.8 Futuro da modelagem na agricultura

Um dos mais importantes usos de modelos é prever os resultados gerados por um dado sistema em resposta a um dado conjunto de insumos. Um uso futuro muito importante de modelos na agricultura é prever os efeitos em certas condições ambientais e práticas agrícolas no desempenho das culturas. Segundo Ruttan (1983), outro uso potencial vem da capacidade em ajudar a definir prioridades de pesquisa e direcionar a alocação de fundos. A modelagem pode propiciar descrições quantitativas e o entendimento do sistema agrícola, auxiliando no apontamento de áreas onde o conhecimento é escasso e ajudando na elaboração de experimentos mais adequados e efetivos. (Dourado-Neto, 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em duas etapas, sendo a primeira o desenvolvimento do algoritmo contido no modelo, e a segunda, a avaliação de cenários, referentes aos sistemas de produção de alimentação suplementar para bovinos. Para o desenvolvimento do modelo utilizou-se um microcomputador portátil (*notebook*) marca Toshiba, com processador Pentium IV, 256 Mb de memória RAM, HD de 10 Gb. Os *softwares* utilizados foram Microsoft[®] Excel[®] 2000 e Microsoft[®] Office[®] Millenium.

3.1 Sistemas de Produção de Alimentação Suplementar

Com a finalidade de desenvolver-se o algoritmo foram levantados, através da revisão bibliográfica e visitas técnicas, os principais sistemas de produção de alimentação suplementar para bovinos. As visitas foram efetuadas na Fazenda Água Comprida, empresa produtora de feno e silagem emurcheada, e na Fundação ABC.

3.2 Fundamentos para o Desenvolvimento do Algoritmo

Algoritmo é um processo de cálculo ou de resolução de um grupo de equações em que se estipulam, com generalidades e sem restrições, regras formais para a obtenção do resultado ou da solução do problema integrando uma seqüência de cálculos. No presente trabalho, o algoritmo realiza o processamento das informações, referentes a sistemas de produção de alimentação suplementar, para o cálculo do balanço energético. O esboço geral do algoritmo pode ser observado na Figura 4.



Figura 4 – Fluxograma da determinação de balanço energético em sistemas de produção agrícola.

Em um sistema de produção a energia de entrada (EE) é aquela contida em todos os insumos utilizados para que se obtenha o produto agrícola de interesse. Esses insumos são fertilizantes, defensivos, corretivos, combustível, depreciação energética da maquinaria e do sistema de irrigação, da mão-de-obra e da energia demandada para o funcionamento do sistema de irrigação. Já a energia de saída (ES) é determinada por fatores quanti e qualitativos da produção agrícola obtida, como pode ser observado na Figura 5. Tais fatores serão determinados a partir de amostras de material vegetais colhido para a produção de alimentação suplementar. Não foram amostradas as silagens para não que fosse abordada a ensilagem, o que não é objetivo deste trabalho.

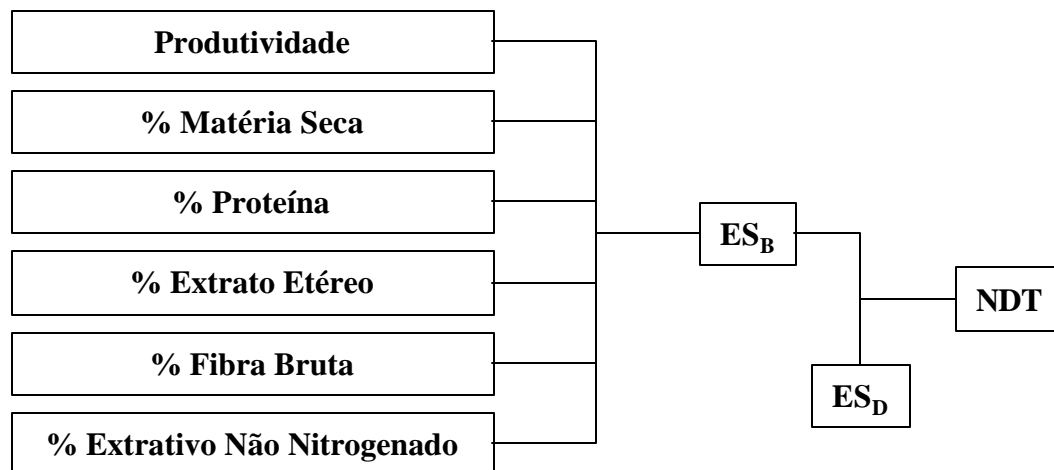


Figura 5 – Fluxograma da determinação das energias de saída.

A energia de saída foi dividida em energia bruta de saída (ES_B) e energia digestível de saída (ES_D). A ES_B é determinada em função da produtividade, do teor de matéria seca, além dos teores de proteína, extrato etéreo, fibra bruta e extrativo não nitrogenado. Já para a determinação da ES_D é acrescido o percentual de nutrientes digestíveis totais das culturas a serem ensiladas. Através desse fator é determinada a energia digestível (ED).

No presente caso, o algoritmo realiza o balanço energético através da energia líquida fornecida pelo sistema, determinada através da subtração de EE da ES_B . O balanço energético, sendo um índice adimensional, é dado pela divisão da energia líquida, fornecida pelo sistema, pela EE, de acordo com a Equação 1.

$$BE_B = \frac{ES_B - EE}{EE} \quad (1)$$

Em que:

BE_B = balanço energético bruto, adimensional;

ES_B = energia de saída bruta, em $MJ.ha^{-1}$; e

EE = energia de entrada, em $MJ.ha^{-1}$.

Na Equação 2 é determinado o balanço energético digestível, o qual contempla o teor de nutrientes digestíveis totais, que representa o montante efetivo de energia a ser aproveitado pelos animais.

$$BE_D = \frac{ES_D - EE}{EE} \quad (2)$$

Em que:

BE_D = balanço energético digestível, adimensional;

ES_D = energia de saída digestível, em $MJ.ha^{-1}$; e

EE = energia de entrada, em $MJ.ha^{-1}$.

A fim de viabilizar comparações entre diferentes sistemas de produção, incluiu-se o cálculo do Balanço Energético Bruto Diário, que pondera a eficiência do sistema com a ocupação do solo, calculado pela relação entre o balanço energético e o período de ocupação do solo, como pode-se observar na Equação 3.

$$BE_{BD} = \frac{BE_B}{Os} \quad (3)$$

Em que:

BE_{BD} = balanço energético bruto diário, em dia^{-1} ;

BE_B = balanço energético bruto, adimensional; e

Os = número total de dias que a cultura ocupa o solo.

Através da Equação 4 é determinado o balanço energético digestível diário, o qual propicia a comparação entre diferentes culturas destinadas à ensilagem, contemplando a eficiência de uso e fornecimento de energia pelos sistemas de produção de cada cultura.

$$BE_{DD} = \frac{BE_D}{Os} \quad (4)$$

Em que:

BE_{DD} = balanço energético digestível diário, em dia^{-1} ;

BE_D = balanço energético digestível, adimensional; e

Os = número total de dias que a cultura ocupa o solo.

3.2.1 Cálculo da energia de entrada

A energia de entrada foi calculada segundo a Equação 5.

$$EE = E_I + E_{DE} + E_{CB} + E_{MO} + E_{IR} \quad (5)$$

Em que:

EE = energia de entrada, em MJ.ha^{-1} ;

E_I = energia demandada para a produção dos insumos aplicados, em MJ.ha^{-1} ;

E_{DE} = energia para a fabricação da maquinaria depreciada ao longo da vida útil, em MJ.ha^{-1} ;

E_{CB} = energia demandada pelo consumo de combustível do conjunto motomecanizado, em MJ.ha^{-1} ;

E_{MO} = energia despendida pela mão-de-obra empregada, em MJ.ha^{-1} ;e

E_{IR} = energia demandada pelo uso do sistema de irrigação, em MJ.ha^{-1} .

As informações referentes às características de cada sistema a ser analisado serão fornecidas pelos usuários do algoritmo.

3.2.1.1 Energia dos insumos (E_I)

Os insumos aplicados nos sistemas de produção foram divididos em insumos sólidos e líquidos. Os sólidos são representados pelo calcário, sementes e fertilizantes e os líquidos correspondem aos herbicidas, inseticidas e fungicidas utilizados na cultura. A energia total contida nos insumos aplicados numa dada operação mecanizada é calculada segundo a Equação 6.

$$E_I = E_{is} + E_{il} \quad (6)$$

Em que:

E_t = energia total contida nos insumos aplicados, em MJ.ha^{-1} ;

E_{is} = energia contida nos fertilizantes e corretivos aplicados, em MJ.ha^{-1} ; e

E_{il} = energia contida nos defensivos aplicados, em MJ.ha^{-1} .

a) Insumos sólidos

Os insumos sólidos tem a energia demandada calculada em função da área e do índice energético próprio de cada insumo sendo estimado de acordo com a Equação 7. São considerados como insumos sólidos no presente trabalho, fertilizantes e corretivos, apesar de existirem fertilizantes líquidos. Isso se deve ao fato dos fertilizantes sólidos serem mais amplamente utilizados que os líquidos. Também é considerado nesse item o plástico utilizado para embalar fardos de silagem emurcheçada.

$$E_{is} = Q_t \text{ Ins} \quad (7)$$

Em que:

E_{is} = energia contida nos fertilizantes e corretivos aplicados, em MJ.ha^{-1} ;

Q_t = quantidade de insumo aplicado por hectare, em kg.ha^{-1} ; e

Ins = índice de energia contida no insumo, em MJ.kg^{-1} .

Os valores dos índices energéticos para o insumo sólido foram obtidos junto a bibliografia especializada e constam dos Anexos A, B e C.

b) Energia insumos líquidos

Nesse item são contemplados os defensivos, os quais são aplicados, predominantemente, na forma líquida, apesar de existirem também na forma sólida. Para a determinação da energia demandada pelos insumos líquidos (E_{il}), cujos índices energéticos são calculados em função do ingrediente ativo (i.a.), leva-se em

consideração a concentração de i.a. no produto comercial, a quantidade de produto comercial no tanque do pulverizador (L), a capacidade do tanque (L), para que a diluição possa ser calculada, e o volume aplicado ($L \cdot ha^{-1}$), Equação 8.

$$E_{il} = \frac{Ind \cdot i.a. \cdot Vp}{Vc} \cdot Q \quad (8)$$

Em que:

E_{il} = energia contida nos defensivos aplicados, em $MJ \cdot ha^{-1}$;

Ind = índice de energia contida no defensivo, em $MJ \cdot L^{-1}$;

i.a. = a concentração do princípio ativo no produto comercial, em %;

Vp = volume utilizado do produto comercial, em L;

Vc = o volume da calda, em L; e

Q = vazão de aplicação da calda, em $L \cdot ha^{-1}$.

Os valores dos índices energéticos para os defensivos foram obtidos junto a bibliografia especializada e constam do Anexo D.

3.2.1.2 Depreciação energética (E_{DE})

A energia total despendida pela depreciação energética é calculada segundo a Equação 9.

$$E_{DE} = D_{MM} + D_{MI} + D_{IR} \quad (9)$$

Em que:

E_{DE} = energia despendida pela depreciação energética da maquinaria, em $MJ \cdot ha^{-1}$;

D_{MM} = energia despendida pela depreciação energética de tratores e máquinas autopropelidas, em MJ.ha^{-1} ;

D_{MI} = energia despendida pela depreciação energética de máquinas ou implementos, em MJ.ha^{-1} ; e

D_{IR} = energia despendida pela depreciação energética do sistema de irrigação, em MJ.ha^{-1} .

a) Máquinas e Implementos

Segundo Ulbanere (1988), máquinas motoras apresentam demanda específica de energia (DEE), denominada no presente trabalho de $DDEm$, de $68,86 \text{ MJ.kg}^{-1}$ para serem fabricadas, enquanto que as movidas, denominada de $DDEi$, demandam $57,22 \text{ MJ.kg}^{-1}$. O cálculo da depreciação energética do conjunto motomecanizado foi realizado, similarmente à depreciação econômica, que é componente do custo fixo, sendo determinado de acordo com as Equações 10 e 11. Para calcular a energia demandada por unidade de área, relacionou-se a energia com a capacidade de campo operacional (CcO), do conjunto motomecanizado.

$$D_{MM} = \frac{M \text{ DEEm}}{CcO \text{ Vu}} \quad (10)$$

Em que:

D_{MM} = energia despendida pela depreciação energética de tratores e máquinas autopropelidas, em MJ.ha^{-1} ;

M = massa, em kg;

$DEEm$ = demanda específica de energia para máquinas motoras, em MJ.kg^{-1} ;

CcO = capacidade de campo operacional, em ha.h^{-1} ; e

Vu = vida útil do equipamento, em h.

$$D_{MI} = \frac{M \text{ DEE}i}{CcO \text{ Vu}} \quad (11)$$

Em que:

D_{MI} = energia despendida pela depreciação energética de máquinas ou implementos, em MJ.ha⁻¹;

M = massa, em kg;

DEEi = demanda específica de energia para máquinas movidas, em MJ.kg⁻¹;

CcO = capacidade de campo operacional, em ha.h⁻¹; e

Vu = vida útil do equipamento, em h.

Para o cálculo da capacidade de campo operacional (CcO) de cada operação, relacionou-se a área trabalhada com o tempo despendido para efetuar a operação, como pode ser observado na Equação 12. Ttd é obtido pela cronometragem do tempo total despendido para a realização da operação.

$$CcO = \frac{At}{Ttd} \quad (12)$$

Em que:

CcO = capacidade de campo operacional, em ha.h⁻¹;

At = área total de trabalho, em ha; e

Ttd = tempo total despendido para realizar a operação, em h.

Quando não existirem dados referentes a Ttd, a CcO é determinada através da relação entre a capacidade de campo efetiva (CcE) e a eficiência de campo (Efc), como se observa na Equação 13. A determinação da Efc, se faz relacionando-se a CcO e a CcE. A eficiência de campo depende do tipo de percurso e manobras adotados, do formato de talhão, entre outros fatores. A Efc pode ser obtida através dos dados da ASAE (1998), que constam do Anexo E.

$$CcO = CcE \frac{Efc}{100} \quad (13)$$

Em que:

CcO = capacidade de campo operacional, em $ha.h^{-1}$;

CcE = capacidade de campo efetiva, em $ha.h^{-1}$

Efc = eficiência de campo, em %.

A determinação da CcE é obtida através da relação entre a velocidade e a largura de trabalho de cada operação, como pode ser observado na Equação 14.

$$CcE = \frac{v \cdot l}{10} \quad (14)$$

Em que:

CcE = capacidade de campo efetiva, em $ha.h^{-1}$;

v = velocidade de trabalho, em $km.h^{-1}$; e

l = largura efetiva de trabalho, em m.

b) Sistemas de Irrigação

A depreciação energética de sistemas de irrigação (D_{IR}) foi determinada de acordo com a Equação 15.

$$D_{IR} = \frac{M \cdot DEE \cdot Ud \cdot ND}{Vu \cdot Ai} \quad (15)$$

Em que:

D_{IR} = energia despendida pela depreciação energética do sistema de irrigação, em $MJ.ha^{-1}$;

M = energia despendida para o funcionamento do sistema de irrigação, em kg;

DEE = demanda específica de energia, em MJ.kg⁻¹;

Ud = uso médio diário, em h;

ND = número de dias utilizados durante o ciclo da cultura;

Vu = vida útil, em h; e

Ai = área total irrigada pelo sistema, em ha.

3.2.1.3 Energia do combustível (E_{CB})

A energia despendida com combustível por unidade de área (E_{CB}) foi calculada de acordo com a Equação 16.

$$E_{CB} = \frac{C_b \cdot f_{cb}}{C_{cO}} \quad (16)$$

Em que:

E_{CB} = energia despendida com combustível, em MJ.ha⁻¹;

C_b = consumo horário de combustível, em L.h⁻¹;

C_{cO} = capacidade de campo operacional, em ha.h⁻¹; e

f_{cb} = fator de energia contida no combustível, igual a 38,55 MJ.L⁻¹ (Ulbanere, 1988).

O consumo horário de combustível (C_b) pode ser calculado no algoritmo de duas maneiras. A primeira através do consumo medido a campo, explanado no item 3.4.3.2, Equação 17, e uma segunda através do uso de equações empíricas relacionando-se a potência do motor à um fator de consumo, como se observa na Equação 18, o trabalho de Milan (1992) é um exemplo nessa aplicação.

$$C_b = \frac{V_a}{T_{td}} \quad (17)$$

Em que:

C_b = consumo horário de combustível, em $L.h^{-1}$;

V_a = volume de combustível consumido, em L; e

T_{td} = tempo total despendido para realizar a operação, em h^{-1} .

$$C_b = Pot \cdot f_{ce} \quad (18)$$

Em que:

C_b = consumo de combustível horário, em $L.h^{-1}$;

Pot = potência bruta do trator ou máquina motriz utilizada, em kW;

f_{ce} = fator de consumo específico por potência, igual a 0,163, em $L.kW^{-1}.h^{-1}$.

3.2.1.4 Mão-de-obra (E_{MO})

A energia gasta pela mão-de-obra é determinada relacionando-se a quantidade de homens-hora, empregadas nas operações pela quantidade de horas trabalhadas. Segundo Serra et al. (1979), o gasto energético horário de um homem é de 2,2 MJ. O cálculo do gasto energético com mão-de-obra (E_{mo}) foi realizado através da Equação 19

$$E_{MO} = \frac{MO \cdot f_{mo}}{At} \quad (19)$$

Em que:

E_{MO} = energia despendida pela mão-de-obra, em $MJ.ha^{-1}$;

MO = número total de horas trabalhadas, em h.homem;

f_{mo} = fator de consumo energético pela mão-de-obra, igual a 2,2 $MJ.h^{-1}.homem^{-1}$;

A_t = área trabalhada, em ha.

3.2.1.5 Irrigação (E_{IR})

O consumo de energia para o funcionamento de um sistema de irrigação foi determinado segundo a Equação 20, quando acionado por motor elétrico, e pela Equação 21, quando for por motor de ciclo Diesel.

$$E_{IR} = \frac{f_{ee} \text{ Pot Ud ND}}{A_i} \quad (20)$$

$$E_{IR} = \frac{f_{cb} f_{ce} \text{ Pot Ud ND}}{A_i} \quad (21)$$

Em que:

E_{IR} = energia despendida para o funcionamento do sistema de irrigação, em MJ.ha^{-1} ;

f_{ee} = fator de energia contida na energia elétrica, igual a $11,98 \text{ MJ. kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$, segundo Pimentel (1980);

Pot = potência nominal do motor que aciona o sistema de bombeamento, em kW;

Ud = uso médio diário, em h;

ND = número de dias utilizados durante o ciclo da cultura;

A_i = área total irrigada pelo sistema, em ha.

f_{cb} = fator de energia contida no combustível, igual a $38,55 \text{ MJ.L}^{-1}$, segundo Ulbanere (1988); e

f_{ce} = fator de consumo específico por potência, igual a $0,163$, em $\text{L. kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

Segundo Pimentel (1980), 1 kW.h corresponde a $11,98 \text{ MJ}$, enquanto que 1 litro de óleo diesel corresponde a $38,55 \text{ MJ.L}^{-1}$, segundo Ulbanere (1988).

3.2.2 Cálculo da energia de saída

Para o cálculo da energia bruta de saída (ES_B), ou energia fornecida pelo sistema, também denominada de *output*, utilizou-se a Equação 22.

$$ES_B = \left(P \frac{MS}{100} \right) \left(\left(\frac{PR}{100} f_{PR} \right) + \left(\frac{EX}{100} f_{EX} \right) + \left(\frac{FB}{100} f_{FB} \right) + \left(\frac{ENN}{100} f_{ENN} \right) \right) \quad (22)$$

Em que:

ES_B = energia bruta de saída, em $MJ.ha^{-1}$;

P = produtividade do talhão, em $kg.ha^{-1}$;

MS = matéria seca do material colhido, em %;

PR = teor de proteína na matéria seca, em %;

f_{PR} = índice de energia contida na proteína, $23,44 MJ.kg^{-1}$, segundo Crampton & Harris (1956);

EX = teor de extrato etéreo na matéria seca, em %;

f_{EX} = índice de energia contida na proteína, $38,93 MJ.kg^{-1}$, segundo Crampton & Harris (1956);

FB = teor de fibra bruta na matéria seca, em %;

f_{FB} = índice de energia contida na fibra bruta, $18,00 MJ.kg^{-1}$, segundo Crampton & Harris (1956);

ENN = teor de extrativo não nitrogenado na matéria seca, em %; e

f_{ENN} = índice de energia contida na fibra bruta, $18,00 MJ.kg^{-1}$, segundo Crampton & Harris (1956).

Para a determinação da energia digestível de saída (ES_D) faz-se uso da Equação 23, nela está implícita a eficiência do fornecimento de energia via alimentação suplementar ao rebanho.

$$ES_D = ES_B \frac{NDT}{100} \quad (23)$$

Em que:

ES_D = energia digestível de saída, em $MJ.ha^{-1}$;

ES_B = energia bruta de saída, em $MJ.ha^{-1}$; e

NDT = percentual de nutrientes digestíveis totais, em %.

3.3 Verificação

Utilizando-se os fundamentos apresentados, foi desenvolvido o modelo em planilha eletrônica MS Excel⁸. A verificação da rotina foi realizada durante as etapas intermediárias e final do trabalho para identificar eventuais erros. Ela foi efetuada através da comparação dos valores determinados manualmente em cada etapa da rotina para cada operação mecanizada.

3.4 Cenários

O modelo foi utilizado na análise de dois cenários. O primeiro referente a produção de silagem a partir do milho e o segundo referente a silagem emurchecida de gramínea. Para ambos foram coletados dados básicos para a entrada no modelo, envolvendo o local e a área, as operações agrícolas e os insumos aplicados.

⁸ As citações de marcas neste trabalho não são recomendações para uso.

3.4.1 Cenário 1 – Sistema de produção de silagem de milho

3.4.1.1 Propriedade

O talhão, onde foi acompanhado o ciclo do milho para a produção de silagem, está localizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba – SP, e é pertencente ao Departamento de Zootecnia. O talhão possui área de 2,3 ha e está localizado aproximadamente nas coordenadas 22°42’42” S e 47°36’36” W.

Os conjuntos motomecanizados utilizados na realização das operações agrícolas componentes desse sistema, podem ser observados na Tabela 2.

3.4.1.2 Operações agrícolas

Os levantamentos foram efetuados em cada operação para a obtenção das suas características e insumos utilizados.

a) Escarificação

Durante essa operação agrícola foram medidos os tempos efetivo e total e a largura efetiva média de trabalho, a velocidade do conjunto motomecanizado e o consumo de combustível. Dados técnicos referentes ao conjunto motomecanizado, como modelo, peso, entre outros, foram obtidos nos manuais ou fornecidos pelos fabricantes das máquinas e implementos.

b) Gradagem

Os mesmos itens analisados para a operação de escarificação foram utilizados na gradagem. Os dados técnicos referentes ao conjunto motomecanizado também foram obtidos nos manuais ou determinados nas máquinas e implementos.

c) Semeadura e adubação

As sementes utilizadas foram de milho híbrido Monsanto DKB 333B, peneira C2L, produzidas na safra 00/01. As sementes receberam um tratamento adicional, tendo sido aplicados 0,4 litros de Promet[®] 400 CS (Furathicarb 0,4 kg.L⁻¹) por cada 20 kg de sementes. Já o fertilizante aplicado foi a formulação (mistura de grânulos) 08-28-16 + 0,5 Zn da Solorrigo.

Para essa operação foram medidos todos os parâmetros já citados na escarificação, diferenciando apenas a forma de mensuração da largura efetiva média de trabalho, e da determinação da vazão dos insumos aplicados.

d) Aplicação de herbicida

O pulverizador de barras utilizado apresenta um reservatório de 2000 L, e barra com bicos em leque 11008. A calda aplicada nessa aplicação consistiu em 25 L de Primestra[®] SC (solução concentrada contendo 0,2 kg.L⁻¹ de Atrazina e 0,03 kg.L⁻¹ de Metolachlor) e 17,5 L de Gesaprim[®] 500 (solução concentrada contendo 0,5 kg.L⁻¹ de Atrazina), para 2000 L de calda, que era a capacidade do reservatório.

Para essa operação foram repetidas as determinações citadas na escarificação, com exceção da vazão de insumos e da largura efetiva média de trabalho.

e) Adubação de cobertura

A mistura de grânulos utilizada foi 20-00-20 da Fertiza e da Vera Cruz. Para essa operação foram repetidas as determinações citadas na escarificação, com exceção da vazão de insumos.

Tabela 2. Descrição dos conjuntos motomecanizados utilizados no Sistema 1.

Operação	Trator					Implemento				
	Marca	Modelo	Potência kW	Tração	Massa kg	Marca	Modelo	Largura m	Massa kg	Nº linhas, bicos, discos, ou hastes
Esc.	JD	6600	89	4x2 TDA	4560	Stara	ASA CR5B	1,55	580	5
Grad.	MF	296	88	4x2	3960	Baldan		2,55	690	32
Adub-sem	MF	275	55,2	4x2 TDA	3745	Semeato	PSE - 8	2,41	2052	4
Herb.	MF	275	55,2	4x2 TDA	3745	Jacto	Coral	12,65	632	23
Ad.Cob.	MF	275	55,2	4x2 TDA	3745	Marchesan	CAC	3,25	404	4
Inset.	MF	265	47,8	4x2	3620	Jacto	Coral	12,80	632	16
Colh.	MF	275	55,2	4x2 TDA	3745	Nogueira	Pecus 9004	0,81	583	1

Onde Esc. = Escarificação; Grad. = Gradagem; Adub-sem = adubação-semeadura; Herb. = aplicação de herbicida; Ad.Cob. = adubação de cobertura; Inset. = aplicação de inseticida; Colh. = colheita, JD = John Deere, e MF = Massey Ferguson. OBS: Os dados referentes às características dos tratores e implementos foram obtidos nos manuais ou informações fornecidas pelo fabricante.

f) Aplicação de inseticida

O reservatório e bico de pulverizador, para essa operação, apresentam as mesmas características da aplicação de herbicida. A calda aplicada na aplicação de inseticida consistiu em 0,75 L de Karate® 50 CE (concentrado emulsionável contendo 0,05 kg.L⁻¹ de Lambdacyhalothrin) e 1,5 L de Match® CE (concentrado emulsionável contendo 0,05 kg.L⁻¹ de Lufenuron), para 2000 L de calda. Para essa operação foram repetidas as determinações citadas na aplicação de herbicida.

g) Colheita

A produtividade do talhão analisado foi determinada por amostragem, onde foram colhidas as plantas ao longo de 10 metros, em duas fileiras vizinhas. Com a pesagem do material colhido, em uma balança eletrônica (Marte LC100) de carga máxima de 100 kg e precisão de 20 g, e conhecendo o espaçamento utilizado na implantação da cultura (0,81 m), pudemos extrapolar o resultado estimando a produtividade. Foram coletadas pelo menos 3 amostras no talhão. No mais, foram realizadas as mesmas avaliações citadas na escarificação.

3.4.2 Cenário 2 – Sistema de produção de silagem emurchecida

3.4.2.1 Propriedade

O talhão, onde foi acompanhado o ciclo do Tifton 85 para fim de produção de silagem emurchecida, está localizado na Fazenda Água Comprida, no município de Água Comprida – MG. O talhão possui área de 5,2 ha e está localizado aproximadamente nas coordenadas 19°56'45" S e 48°02'15" W. Os conjuntos motomecanizados utilizados na realização das operações agrícolas componentes desse sistema, podem ser observados na Tabela 3.

3.4.2.2 Operações agrícolas

a) Adubação

Para efetuar-se a adubação de cobertura a largura efetiva foi determinada por bandeiras a campo e a mistura de grânulos utilizada foi 30-00-20 da Cargill.

Durante essa operação agrícola foram medidos os tempos efetivo e total de trabalho, a largura efetiva média de trabalho, a velocidade do conjunto motomecanizado, o consumo de combustível, além da vazão de insumo. Dados técnicos referentes ao conjunto motomecanizado, como modelo, massa entre outros, foram obtidos nos manuais ou fornecidos pelos fabricantes das máquinas e implementos.

b) Segar

Para essa operação foram repetidas as determinações citadas na adubação, com exceção da vazão de insumos. Dados técnicos referentes ao conjunto motomecanizado, como modelo, massa entre outros, foram obtidos nos manuais ou fornecidos pelos fabricantes das máquinas e implementos.

c) Revolvimento

Durante essa operação agrícola coletou-se dados para a determinação dos mesmos itens da adubação. Os dados técnicos referentes ao conjunto motomecanizado também foram obtidos nos manuais ou determinados nas máquinas e implementos.

d) Enleiramento

Durante essa operação agrícola coletou-se dados para a determinação dos mesmos itens da adubação, com exceção da vazão de insumos. Os dados técnicos referentes ao conjunto motomecanizado também foram obtidos nos manuais ou determinados nas máquinas e implementos.

e) Enfardamento

A enfardadora utilizada apresenta largura teórica de trabalho idêntica à do ancinho enleirador, já que ela apenas recolhe o material enleirado.

Durante essa operação agrícola coletou-se dados para a determinação dos mesmos itens das outras operações. Para essa operação foram repetidas as determinações citadas na adubação, com exceção da vazão de insumos. Os dados técnicos referentes ao conjunto motomecanizado também foram obtidos nos manuais ou determinados nas máquinas e implementos.

f) Revestimento

O equipamento que embala os fardos de silagem emurchecida foi adaptado na própria fazenda, sendo composto basicamente de duas embaladoras Rekord, modelo Q Pac 90, cada uma com 2200 kg de massa e capacidade de embalar 45 fardos.h⁻¹, além do guincho tipo munck de 1575 kg de massa, o qual é utilizado para levar os fardos até o mecanismo embalador. Como esse mecanismo é estacionário, dois motores da marca Hatz o acionam, sendo um do modelo 3M40L e outro do 2M40L. O equipamento todo possui massa aproximada de 6500 kg, e tem capacidade teórica de embalar 90 fardos.h⁻¹.

Para levar o fardo até o alcance do munck, é utilizada uma carregadora Motocana, modelo CM 100-9, 4x2 TTA, montada sobre um trator New Holland 565E. Sua capacidade é idêntica à do equipamento de revestimento e Sua massa é de 7130 kg.

Os fardos são embalados com um material plástico denominado Triowrap, do fabricante sueco Trioplast. Cada fardo recebe, aproximadamente, 1,7 kg desse material. Segundo Fluck & Baird (1982), o polietileno apresenta 108,70 MJ.kg⁻¹.

Para essa operação foram repetidas as determinações citadas na adubação, com exceção da vazão de insumos.

Tabela 3. Descrição dos conjuntos motomecanizados utilizados no Sistema 2.

Operação	Trator					Implemento				
	Marca	Modelo	Potência kW	Tração	Massa kg	Marca	Modelo	Largura m	Massa kg	Nº rotores
Adub..	Ford	6610	65,4	4x2	4150	Kuhn	a lança	30,0	1320	-
Sega.	Case	8850	113	4x2 d*	5071	-	-	-	-	-
Revol.	NH	5030	55,2	4x2	3780	FP**	-	8,10	910	6
Enlei.	NH	5030	55,2	4x2	3780	Kuhn	-	6,25	670	4
Enfar.	JD	7500	103	4x2 TDA	5470	Claas	Quadrant 2200	6,25	6800	-

Onde Adub. = adubação-semeadura; Revol. = revolvimento; Enlei. = enleiramento; Enfar. = enfardamento, NH = New holland, JD = John Deere, d* = tração dianteira, e FP** = fabricação própria.

OBS: Os dados referentes às características dos tratores e implementos foram obtidos nos manuais ou informações fornecidas pelo fabricante.

3.4.2.3 Irrigação

O talhão analisado está sob área de irrigação de pivô central, marca Carborundum, modelo GSV2, de 11 torres, o qual cobre 102 ha e é acionado por um motor elétrico de 183,8 kW.

3.4.3 Determinações realizadas

Todas as determinações realizadas pela medida do peso, que é expresso por unidade de força (N), foram retratadas como de medida de massa (kg) para facilitar a visualização.

3.4.3.1 Velocidade de trabalho

Para a determinação da velocidade, tomou-se uma distância de 50 m, marcadas com estacas fixadas no campo, para que fosse cronometrado o tempo despendido para percorrer essa distância. Foi adotado um referencial no trator, nesse foi o centro da roda dianteira, para que toda a distância conhecida fosse percorrida. Foram realizadas pelo menos 5 repetições para ambos os sentidos de deslocamento do conjunto motomecanizado. Para essa determinação utilizou-se cronômetro, trena e estacas.

3.4.3.2 Consumo de combustível

Para essa determinação o tanque de combustível foi completado antes do início da operação agrícola, com o trator posicionado em um plano de referência. Após o termino da operação na área de estudo, o trator foi posicionada sobre o mesmo plano, e teve o tanque preenchido novamente com o uso de recipiente (galão) plástico de capacidade de aproximadamente 50 litros, graduado a cada 1 litro, com o auxílio de uma bureta graduada. Pela diferença encontrada entre o volume inicial e o final, após ter-se completado o tanque do trator quando terminou-se a operação, pôde-se determinar o

volume de combustível gasto em cada operação. Para essa determinação utilizou-se um galão graduado.

3.4.3.3 Largura efetiva média

Para essa determinação foi delimitado, com estacas, os limites laterais de duas faixas de solo subseqüentes onde realizou-se a operação mecanizada agrícola. A medida tomada utilizando-se trena foi dividida pelo número de passadas, obtendo-se a largura efetiva média trabalhada pelo implemento. Foram coletadas pelo menos 5 repetições em cada operação realizada. Para essa determinação utilizou-se trena e estacas.

3.4.3.4 Largura efetiva média para aplicação de defensivos

Para essa operação agrícola, a largura efetiva média foi determinada pela distância de um referencial longitudinal ao trator em duas passagens seqüenciais no campo. Esse referencial longitudinal ao sentido de caminhamento foi a extremidade esquerda do sulco formado pelo trânsito do pneu traseiro à esquerda do observador. Foram coletados pelo menos 3 repetições na área experimental. Para essa determinação utilizou-se trena e estacas.

3.4.3.5 Vazão de insumos da semeadora-adubadora

No caso da semeadora – adubadora utilizada, ela apresenta um mecanismo de distribuição acionados pela própria roda, esta foi girada durante 10 voltas, numa velocidade similar à utilizada na operação. Sendo assim, coletou-se as sementes e o fertilizante depositados, durante um período de 15 s, após a aplicação ter se estabilizado, como sugere Coelho (1996). Após a determinação da massa desse insumos, obteve-se a vazão de aplicação de insumos. Foram realizadas pelo menos 3 repetições em cada uma das linhas componentes da semeadora. Para essa determinação utilizou-se uma proveta de 1 L de volume.

3.4.3.6 Vazão de fertilizantes na adubação de cobertura

Para a determinação da vazão de fertilizante aplicado na adubação de cobertura, coletou-se durante 15 segundos a massa depositada pelo implemento. Ao todo foram realizadas 5 repetições. Para essa determinação utilizou-se uma balança eletrônica de 5 gramas de precisão, baldes coletores e cronômetro.

3.4.3.7 Vazão da aplicação de defensivos

Para se determinar a vazão dos defensivos aplicados no campo, foi determinado um período de 15 segundos após estabilização da aplicação, nos quais foi coletado, em uma proveta, o volume pulverizado pelos bicos. Sendo assim, determinou-se a vazão em que o defensivo foi aplicado. Foram realizadas pelo menos 3 repetições em cada bico ensaiado, escolhidos ao acaso. Coletou-se volume de 5 bicos componentes à barra de aplicação, tanto na aplicação de herbicida quanto na de inseticida. Para essa determinação utilizou-se uma proveta de 1 L de volume.

3.4.3.8 Análise bromatológica do material colhido

Foram coletadas três amostras tanto do milho quanto da forragem Tifton 85, antes de serem ensilados. Essas três amostras formaram, através da homogeneização das amostras, para cada um dos materiais colhidos, uma única amostra composta, que foi submetida à análise bromatológica no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Produção Animal, ESALQ/USP. A partir dessa amostra foram determinadas matéria seca (MS), extrato etéreo, fibra bruta e material mineral (cinzas) descrito por AOAC (1984); fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina segundo Van Soest (1991). A proteína bruta foi determinada indiretamente através do teor de nitrogênio pelo método de Kjeldahl, descrito por AOAC (1984).

Através dessas determinações foi possível relacionar a composição das silagens com os nutrientes digestíveis totais (NDT) segundo Weiss et al. (1992). A partir desses

dados pode ser determinada a energia fornecida pelo sistema de produção, e conseqüentemente, a determinação do balanço energético do sistema. A determinação foi realizada em plantas à serem ensiladas, pois o presente trabalho não tem como pretensão e/ou objetivo analisar quaisquer influências do processo de ensilagem na qualidade da silagem.

3.5 Validação

Na validação é verificada a consistência dos resultados obtidos pelo programa. Para tanto os valores calculados foram comparados com dados existentes na bibliografia.

3.6 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade foi utilizada para identificar as variáveis que mais influenciam no modelo. Foram selecionadas variáveis consideradas como as mais críticas e os seus valores foram alterados em um percentual fixo (10%) e verificado os efeitos no sistema. Essa técnica foi utilizada por Milan (1992) e Tachibana (2000).

3.7 Alternativas aos Cenários

Após ter-se analisado os sistemas de produção sob estudo, foram sugeridas algumas alternativas, as quais também foram analisadas e tiveram seus resultados comparados ao do sistema de produção original.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sistemas de Produção

Os sistemas de produção de alimentação suplementar para bovinos levantados através da bibliografia e de visitas técnicas podem ser observados na Figura 6. Os sistemas de produção podem ser agrupados em dois grupos principais.

Um deles seria o cultivo de uma espécie anual, e o material colhido sendo ensilado para o armazenamento, para, posteriormente, ser fornecido ao gado. Mas, ao invés de ser colhido, o material pode ser cortado e deixado ao campo para secar. Este tempo de secagem, determinará, primeiramente, se será produzida silagem emurchedida ou feno, e conseqüentemente, os métodos de conservação adequados.

Outro seria o cultivo de gramíneas que, após o corte, pode ser armazenada em seguida, gerando silagem de gramínea. Este material também pode ser secado ao campo, e novamente o tempo de secagem determinará tanto o tipo de alimento suplementar produzido (feno ou emurchedida). As diferenças existentes entre esses sistemas se dão, principalmente, devido a ciclo da cultura e forma de armazenamento. A silagem emurchedida tem seu sistema de produção muito similar ao do feno, pois surgiu como uma alternativa para se minimizar perdas quali e quantitativas de material quando secados no campo.

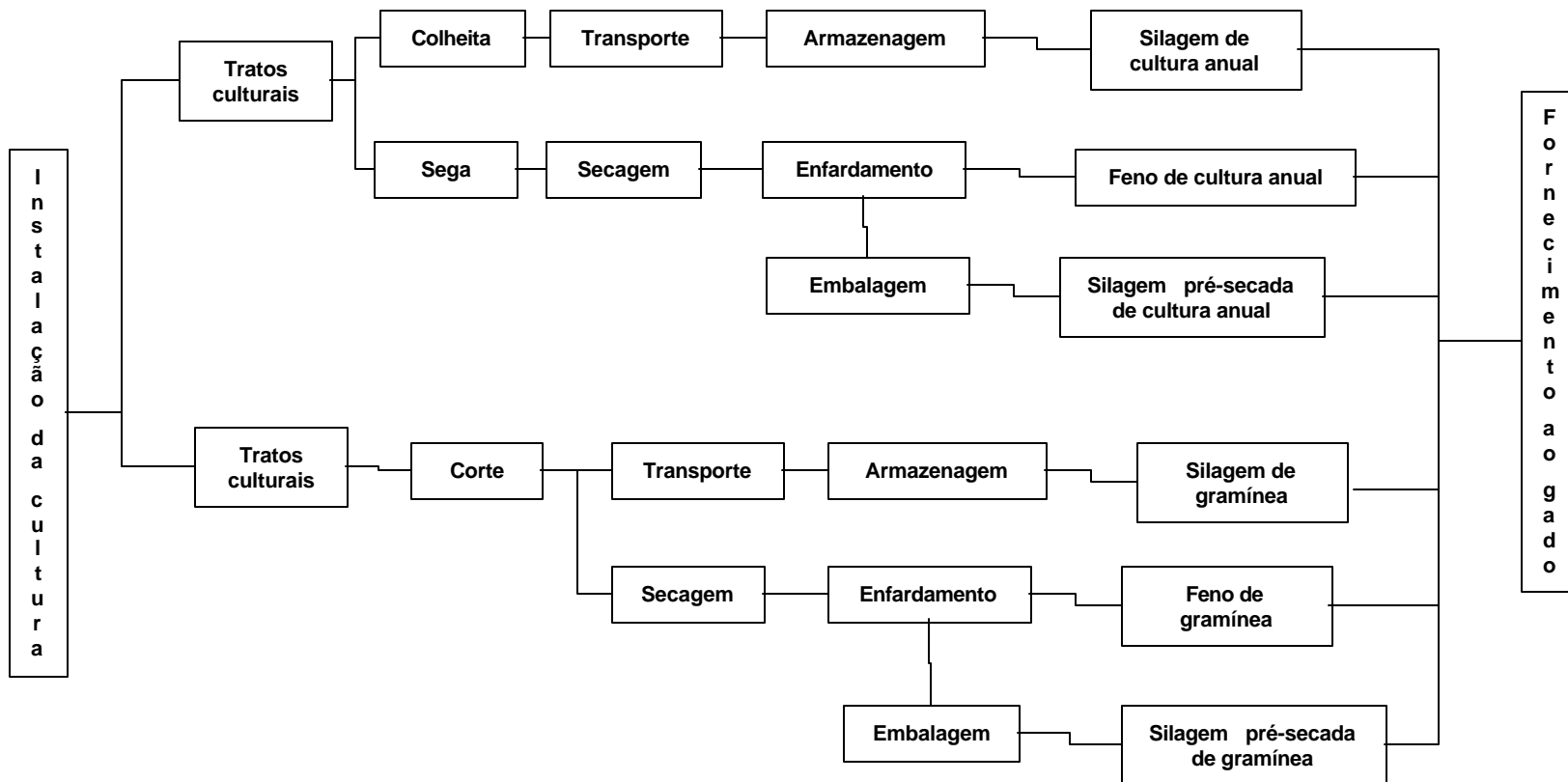


Figura 6 – Fluxograma geral dos sistemas de produção de alimentação suplementar de bovinos existentes.

4.2 Algoritmo Geral

O algoritmo geral desenvolvido com base nos sistemas de produção, pode ser visualizado no fluxograma apresentado na Figura 7. Na tela inicial (1) da planilha há instruções quanto ao uso do modelo. Para utilizá-lo, o usuário deve entrar com os dados referentes ao sistema de produção (2) para que possam ser calculadas a energia de entrada (EE) e a de saída (ES), e, conseqüentemente, o balanço energético.

A energia de entrada (11) é calculada somando-se os meios de demanda de energia do sistema: E_I (6), que é a energia contida nos insumos; E_{DE} (7), que é a energia despendida na depreciação energética da maquinaria; E_{MO} (8), que é energia despendida pela mão-de-obra; E_{IR} (9), que é a energia despendida pelo sistema de irrigação; e E_{CB} (10) que é a energia contida nos combustíveis.

Com os dados referentes à produtividade (12), teor de matéria seca (13), teor de proteína (14), teor de extrato etéreo (15), teor de fibra bruta (16) e teor de extrativo não nitrogenado (17), obtêm-se o total de energia produzida por área, ou seja, a energia bruta de saída (18).

Com os dados de EE e ES_B , obtêm-se o balanço energético bruto (19). Para a determinação da energia digestível de saída (21), utiliza-se o NDT (20) como fator de eficiência no fornecimento de energia ao gado, uma vez que reflete a energia efetivamente disponibilizada. Similarmente ao balanço energético bruto (19), o balanço energético digestível (21) é calculado relacionando-o com a EE (11). Tanto o balanço energético bruto quanto o digestível são divididos pelo período de ocupação do solo (23) para que seja fornecido o balanço energético bruto diário (24) e o balanço energético digestível diário (25), respectivamente. O modelo fornece esses quatro dados e ainda a informação quanto à demanda de energia de cada operação mecanizada realizada; com isso, diferentes sistemas de produção podem ser comparados e tem-se suporte para tomadas de decisão. Após o fornecimento dessas informações encerra-se o uso do modelo (26).

O algoritmo supracitado baseia o modelo heurístico proposto pelo presente trabalho.

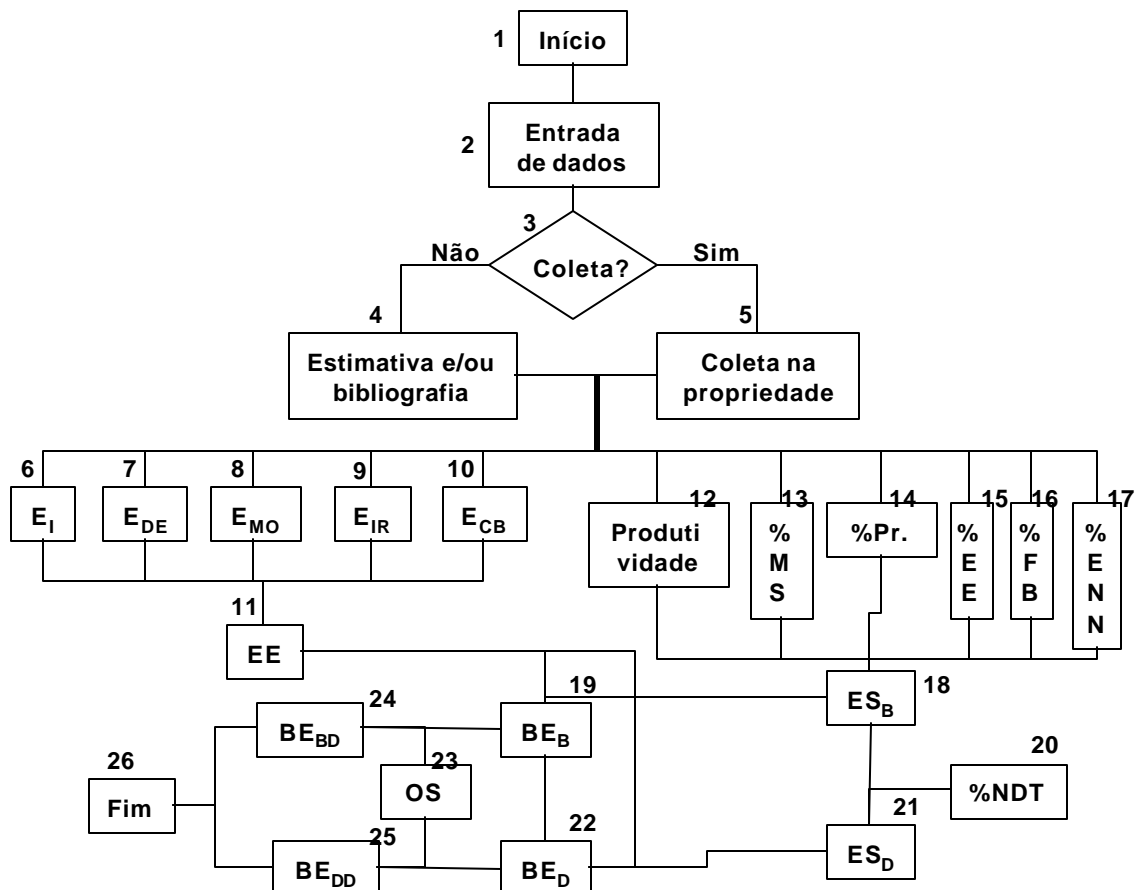


Figura 7 – Fluxograma geral do algoritmo.

4.2.1 Algoritmo da energia contida nos insumos (E_I)

Um maior detalhamento do item energia contida nos insumos (E_I) pode ser observado na Figura 8. Esse item é subdividido em dois componentes: energia contida no insumos sólidos (E_{is}) e nos líquidos (E_{il}).

Para determinar a E_s (13), deve-se identificar a cultura (1) e informar a massa de sementes semeada por área (2). Caso a semente passe por um tratamento fitossanitário, deve-se informar o produto aplicado (3), a concentração do princípio ativo (4) e a dose (5). Para determinar-se a energia contida nos fertilizantes (6), são necessários o tipo de fertilizante, se formulação (7) ou primário (9) e a taxa de aplicação dos mesmos (8 e 10).

Para determinar a energia contida em corretivos, basta informar a taxa de aplicação do mesmo (11). Para a produção de silagem emurchecida enfardada, os quais podem ser embalados com plástico, deve-se informar a massa desse material necessária para embalar um fardo (12).

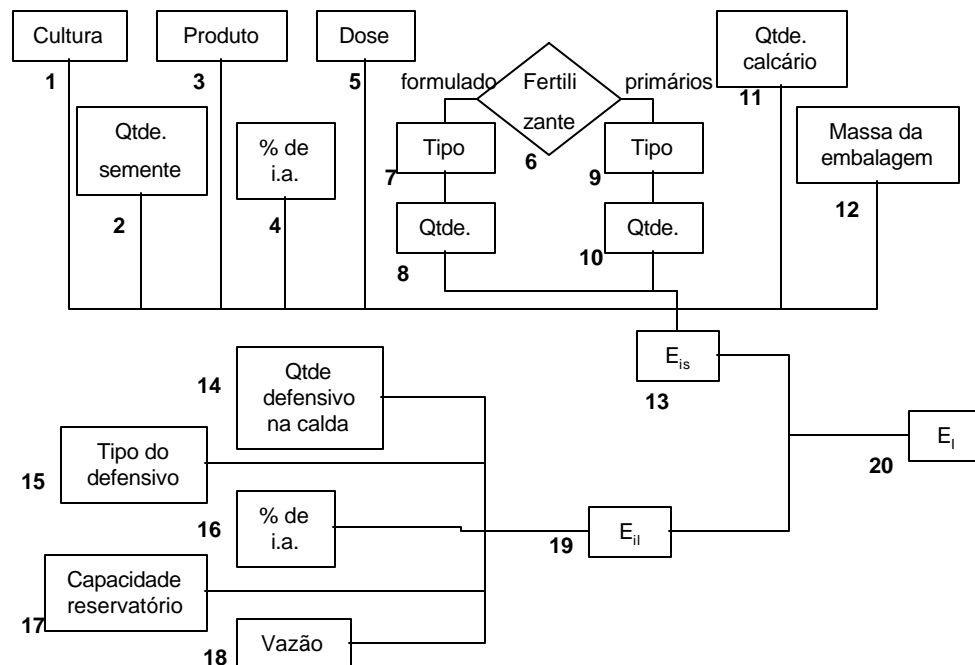


Figura 8 – Fluxograma da determinação da energia contida nos insumos (E_I).

Para o cálculo da E_{il} deve-se informar o volume de produto comercial a ser dissolvido na calda (14), o princípio ativo utilizado (15), a concentração de ingrediente ativo do produto comercial (16), o volume da calda (17) e a taxa de aplicação (18). Através desses dados obtêm-se a energia contida nos insumos líquidos (19). Somando-se E_{is} e E_{il} é determinada a energia contida nos insumos (20).

4.2.2 Algoritmo da energia despendida na depreciação energética da maquinaria (E_{DE})

A energia despendida na depreciação energética da maquinaria (E_{DE}) é calculada somando-se as energias despendidas pelas depreciações de tratores ou máquinas autopropelidas (D_{MM}), implementos (D_{MI}) e sistemas de irrigação (D_{IR}), como mostra a Figura 9. Para cada um desses componentes é estimada a energia demandada para o fabricaço dos equipamentos depreciada pela vida útil do mesmo.

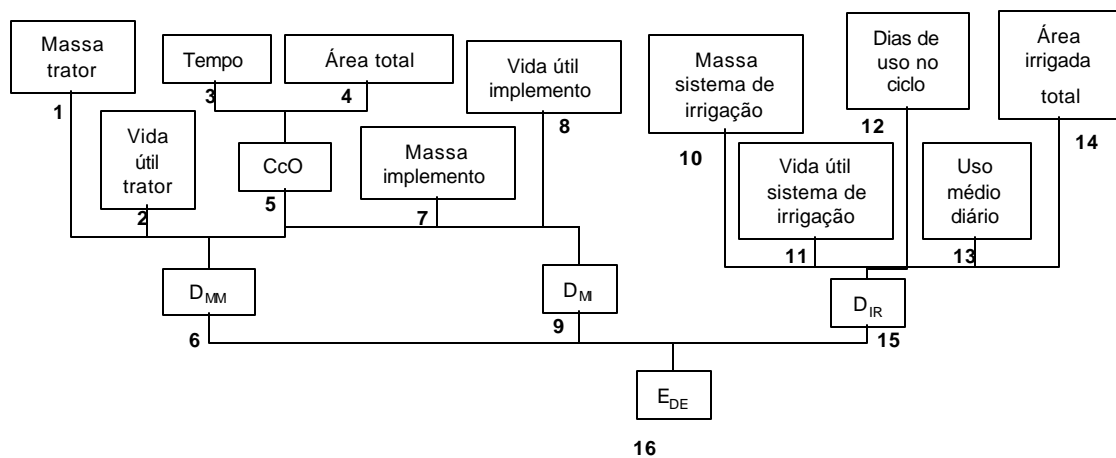


Figura 9 – Fluxograma da determinação da energia despendida na depreciação energética da maquinaria (E_{DE}).

Para o cálculo do D_{MM} (6) são fornecidos: massa (1), vida útil (2), tempo de operação (3) e área total (4), os quais fornecem a CcO (5). Para a determinação do D_{MI} , a CcO (5) é fornecida da mesma maneira que a D_{MM} (9), e além dela, massa (7) e a vida útil (8) do implemento são fornecidas. Somando-se a D_{MM} e a D_{MI} obtêm-se a energia despendida na depreciação energética do conjunto motomecanizado utilizado.

Caso o sistema de produção seja irrigado, determina-se a D_{IR} (15) do sistema de irrigação utilizado através da massa do sistema (10), vida útil (11), dias de uso no ciclo da cultura (12), uso médio diário (13) e a área total sob irrigação (14). Somando-se D_{MM} , D_{MI} e D_{IR} obtêm-se a E_{DE} (16).

4.2.3 Algoritmo da energia despendida pela mão-de-obra (E_{MO})

O fluxograma, que representa como se calcula a energia despendida pela mão-de-obra (E_{MO}) empregada no sistema de produção analisado, pode ser observado na Figura 10.

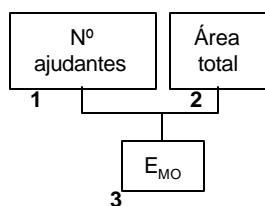


Figura 10 – Fluxograma da energia despendida pela mão-de-obra (E_{MO}).

A E_{MO} (3) é calculada através do fornecimento do número de horas-homem utilizados em cada operação agrícola (1) e também da área total da cultura (2).

4.2.4 Algoritmo da energia despendida pelo sistema de irrigação (E_{IR})

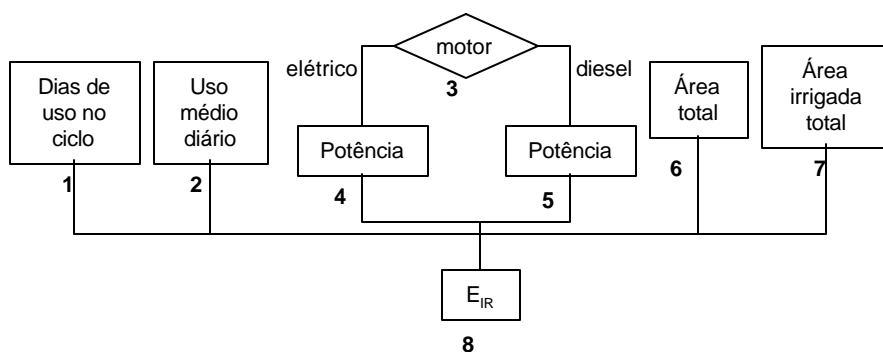


Figura 11 – Fluxograma da energia despendida pelo sistema de irrigação (E_{IR}).

A energia despendida pelo sistema de irrigação (E_{IR}) é calculada segundo o fluxograma mostrado na Figura 11. Para se determinar a E_{IR} (8) são necessários o número de dias utilizados durante o ciclo da cultura (1) e o número médio de horas por dia (2). Deve-se fornecer também a potência bruta do motor (3), seja ele elétrico (4) ou diesel (5); área total da cultura (6) e área total irrigada pelo sistema (7).

4.2.5 Algoritmo da energia contida nos combustíveis (E_{CB})

A energia contida nos combustíveis (E_{CB}) é calculada segundo o fluxograma apresentado na Figura 12. O dado referente ao consumo pode ser tanto real quanto estimado (1). O modelo pode ser alimentado pelo consumo horário do conjunto motomecanizado (2) ou estimado através da potência bruta do mesmo (3). Para relacionar o consumo de combustível por unidade de área, são informados também a área total trabalhada (4) e o tempo gasto para tal (5), os quais são utilizados para determinar a CcO (6) do conjunto motomecanizado. Através desses dados a E_{CB} (8) é determinada.

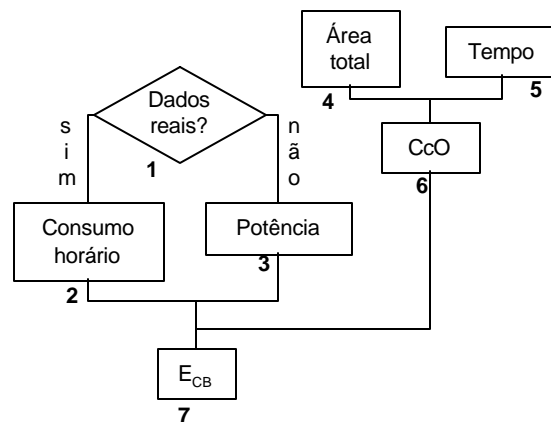


Figura 12 – Fluxograma do cálculo da energia contida nos combustíveis (E_{CB}).

4.3 Verificação da Rotina

Com base nos algoritmos foi desenvolvido um modelo heurístico em planilha Excel. A rotina foi avaliada durante as etapas de desenvolvimento do modelo não se verificando erros. Considera-se que o modelo pode ser utilizado para a análise de sistemas de produção de alimentação suplementar.

4.4 Cenários

O levantamento de dados dos diferentes sistemas de produção de alimentação suplementar para bovinos, forneceu subsídio para que o modelo fosse alimentado e, conseqüentemente, que a eficiência de uso e geração de energia de cada um deles fosse analisada.

4.4.1 Silagem de milho

O fluxograma das operações mecanizadas agrícolas do sistema de produção de silagem de milho podem ser observados nas Figuras 13.



Figura 13 – Fluxograma do sistema de produção de silagem de milho.

Em que:

PCA = preparo e correção do solo;

SA = semeadura e adubação;

CF = controle fitossanitário;

AC = adubação de cobertura; e

CH = colheita.

O talhão avaliado apresentou uma produtividade de $47024,7 \text{ kg.ha}^{-1}$, e seu ciclo de produção durou 161 dias, desde a realização da escarificação, em 04 de outubro de 2001, até a colheita, realizada em 14 de março de 2002. A operação da colheita durou aproximadamente 10 dias, sendo assim coletou-se os dados em um dia intermediário.

A longa duração do ciclo se deve principalmente ao período de 45 dias, compreendido entre escarificação e gradagem, que deveriam ser sequenciais. Esse atraso ocorreu em função de problemas administrativos que resultaram na demora da chegada dos insumos necessários para a semeadura, operação subsequente à gradagem. Esse fato prejudicou o balanço energético diário desse sistema de produção.

O material colhido quando submetido à análise bromatológica, apresentou os resultados observados no Anexo F. Essas análises foram realizadas para propiciarem a determinação da energia contida no material colhido.

Os resultados das operações realizadas na produção e colheita da silagem de milho podem ser observados no Anexo G.

4.4.2 Silagem emurchecida

O fluxograma das operações mecanizadas agrícolas do sistema de produção de silagem emurchecida de Tifton 85 podem ser observados nas Figura 14.

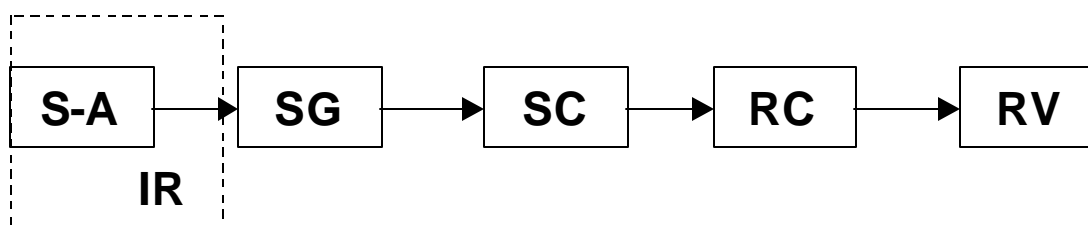


Figura 14 – Fluxograma do sistema de produção de silagem emurchecida.

Em que:

S-A = semeadura e/ou adubação;

SG = sega;

SC =secagem de campo;

RC = recolhimento;

RV = revestimento; e

IR = irrigação.

O talhão avaliado apresentou uma produtividade de 3467,7 kg.ha⁻¹, e seu ciclo de produção durou 45 dias, desde a realização da adubação, em 09 de junho de 2002, até a colheita, realizada em 24 de julho de 2002.

O material colhido quando submetido à análise bromatológica, apresentou os resultados observados no Anexo H. Essas análises foram realizadas para propiciarem a determinação da energia contida no material colhido.

Os resultados das operações realizadas na produção e colheita da silagem emurcheçada podem ser observados no Anexo I.

4.4.2.1 Revestimento

O equipamento embalador tem uma capacidade de revestimento teórica (Crt) de 60 fardo.h⁻¹. Com base na massa de um fardo – 400 kg.fardo⁻¹ e na produtividade do talhão 3467,7 kg.ha⁻¹, determinou-se a capacidade de revestimento efetivo (Cre) de 45 fardo.h⁻¹.

$$1 \text{ fardo} = \frac{400 \text{ kg}}{3467,7 \text{ kg/ha}} = 0,1153 \text{ ha.fardo}^{-1}$$

$$\text{Logo, } Crt = 60 \text{ fardo.h}^{-1} \times 0,1153 \text{ ha.fardo}^{-1} = 6,92 \text{ ha. h}^{-1}$$

$$Cre = 45 \text{ fardo.h}^{-1} \times 0,1153 \text{ ha.fardo}^{-1} = 5,19 \text{ ha. h}^{-1}$$

$$T \text{ (h)} = \frac{5,2 \text{ ha}}{5,19 \text{ ha/h}} = 1,00 \text{ h}$$

Para a alimentação do modelo, a carregadora foi considerada como o trator, e o equipamento estacionário como o implemento. A velocidade foi determinada através da Equação 12, sendo considerada a largura de trabalho igual à do enleiramento e enfardamento, e fazendo as vezes da CcO está a Cre. O consumo de combustível real foi considerado como a soma do consumo da carregadora e do implemento estacionário.

4.4.2.2 Irrigação

O pivô funciona $20,5 \text{ h.dia}^{-1}$, a 50% da velocidade, que faz com que ele irrigue a área a cada 2 dias. O pivô só não é utilizado por volta de 3 dias antes da colheita até a adubação do ciclo seguinte.

4.5 Validação

Apesar da grande abrangência dos dados obtidos na bibliografia, o resultado do modelo está situado aproximadamente no ponto médio dentre os publicados, como mostra a Figura 15. Deve-se ressaltar as diferentes localidades dos sistemas comparados, já que Phipps et al. (1976) obtiveram seus dados no Reino Unido, Pimentel (1984) nos Estados Unidos, Campos et al. (1998) no Brasil e Hetz (1992) no Chile, desse modo o dado do modelo está mais próximo dos dados obtidos no Chile e no Brasil. Por isso, o modelo foi considerado validado.

Não foi realizada a validação dos dados de balanço energético do sistema de produção de silagem emurhecida fornecidos pelo modelo, devido à escassez de dados na bibliografia.

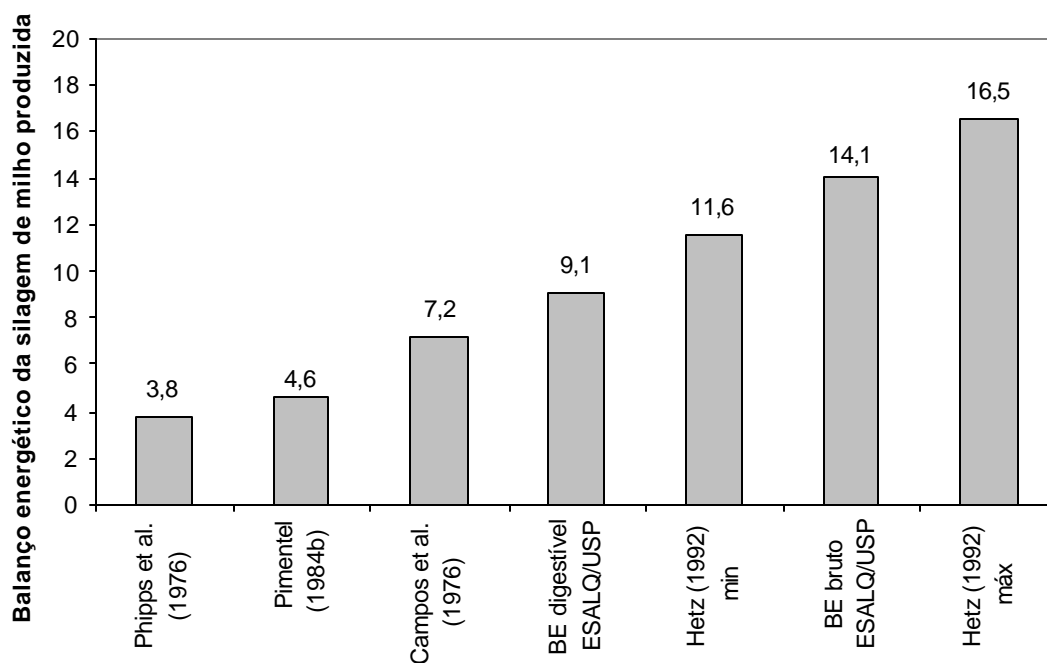


Figura 15 – Comparação do balanço energético para silagem de milho avaliada.

4.6 Análise de Cenários

Com os resultados obtidos a campo, Anexos G e I, e com os dados obtidos na bibliografia alimentou-se o modelo, procedendo-se a análise dos cenários referentes a silagem de milho e emurchedida.

4.6.1 Silagem de milho

As planilhas componentes do modelo, referentes à análise do sistema de produção de silagem de milho, podem ser observadas nos Anexos J a M. A produção de silagem de milho obteve um balanço energético bruto líquido de 14,08, produzindo 1508% da energia empregada. A energia de entrada (EE) foi de 18731,7 MJ.ha⁻¹ e a energia de saída bruta (ES_B) de 282503,1 MJ.ha⁻¹, como se observa na Figura 16. A

energia de saída de energia digestível (ES_D) foi de $189644,2 \text{ MJ.ha}^{-1}$, em função do teor de NDT igual a 67,13%.

O balanço energético bruto diário (BE_{DB}) foi de 0,087, mas poderia ter atingido 0,121, correspondente à 39,08% a mais, se o período entre as operações de escarificação e gradagem não tivesse sido de 45 dias, por problemas de fornecimento de fertilizante para adubação na semeadura, mas sim no dia seguinte, como costumeiramente se faz. Se assim fosse, aos invés dos 161 dias de ocupação de solo, teria sido de 116 dias. O balanço energético digestível diário (BE_{DD}) foi de 0,057, também em função do teor de NDT da cultura.

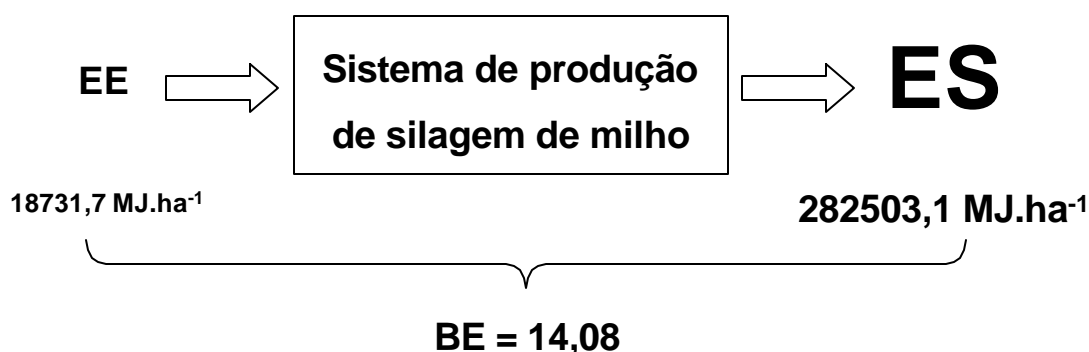


Figura 16 – Resultado do sistema de produção de silagem de milho.

A participação de cada operação agrícola na EE pode ser observada na Figura 17, que apresenta o gráfico gerado pelo modelo elaborado. Nela pode-se observar que as aplicações de fertilizante são responsáveis por 73,4% da EE, devido ao alto teor de energia contido nesse insumo, se tornando o fator mais importante a ser analisado para aumentar a sustentabilidade do sistema.

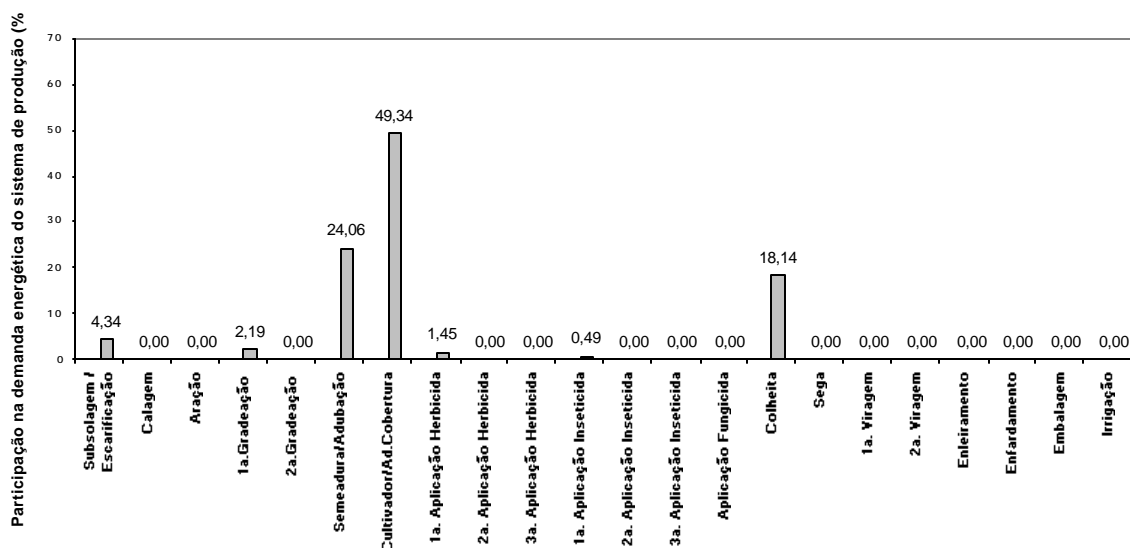


Figura 17 – Contribuição percentual das operações agrícolas na produção de silagem de milho.

4.6.2 Silagem emurchecida

As planilhas componentes do modelo, referentes à análise do sistema de produção de silagem de milho, podem ser observadas nos Anexos N a Q. De acordo com o modelo proposto, o sistema de produção de silagem emurchecida de Tifton 85 obteve um balanço energético líquido de $-0,98$, ou seja, consumiu o equivalente a 198% da energia de saída bruta (ES_B) fornecida pela cultura, para produzi-la. A energia de entrada (EE) foi de $95196,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ e a energia de saída bruta (ES_B) de $16132,3 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, como se observa na Figura 18. A energia de saída de energia digestível (ES_D) foi de $9870,2 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, em função do teor de NDT igual a 61,19%. O balanço energético diário bruto (BE_{DB}) foi de $-0,022$, e o balanço energético digestível diário (BE_{DD}) se manteve igual ao (BE_{DB}) devido a discrepância entre a EE e a ES_B e a ES_D .

Para avaliar a sustentabilidade desse sistema de produção, sugere-se analisar todos os ciclos de um ano, para que somando-se todas as situações existentes, possa se obter conclusões sobre sua sustentabilidade geral.

Um disquete com os arquivos do modelo com os dados da silagem de milho, da emurhecida de Tifton 85, além do modelo a ser preenchido, é encontrado no Anexo R.

4.6.3 Observações

Apesar do pior desempenho no processo de disponibilização de energia da silagem emurhecida de Tifton 85 comparada à silagem de milho, deve ser lembrado que a função da alimentação suplementar não é apenas fornecer energia, como também outros componentes da nutrição, como por exemplo a proteína. O Tifton 85 apresenta 15,14% de proteína bruta (Anexo H), enquanto que o milho apresenta apenas 5,12% (Anexo F). Para que esse fator seja levado em consideração, futuros trabalhos contemplando o balanço de energia na formulação de dietas e desempenho animal se fazem necessários.

Embora o balanço energético diário (BE_D) ter sido proposto para a comparação entre diferentes culturas para a produção de silagem, ele não contempla a capacidade suporte que tais culturas possam vir a propiciar dentro de um ano, por exemplo. Embora a silagem de milho tenha sido mais eficiente na disponibilização de energia, ela necessita de mais tempo para ser colhida, no cenário avaliado levou 161 dias. E caso seja mal manejada, pode ser a única cultura a ser implantada em um ano na mesma área. Já o Tifton 85, embora insustentável quanto à disponibilização de energia em seu ciclo de inverno, levou apenas 45 dias, ciclo esse que é reduzido na época das chuvas, onde o uso de irrigação – atividade de maior demanda de energia desse sistema de produção – é menor. Sendo assim, o Tifton 85 pode vir a ter uma capacidade suporte maior que a do milho ao longo de um ano. Em suma, um estudo contemplando a eficiência de uso de energia de sistemas de produção subsequentes em uma propriedade se faz necessário,

abrangendo assim a ocupação do solo durante todo o ano. Tal trabalho poderia vir a propor índices de energia líquida disponibilizada por área por período de tempo, como $\text{MJ. ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

4.7 Análise de Sensibilidade

Foram analisadas 26 variáveis referentes aos sistemas de produção de silagem e os resultados são apresentados na Tabela 4, que apresenta as variações dos balanços energéticos bruto e digestível, e também para os balanços energéticos bruto e digestível diários. Os maiores e menores valores aparecem em negrito.

Os itens massa e vida útil da máquina motriz; velocidade de deslocamento do conjunto motomecanizado; massa e vida útil do implemento ou máquina; largura de trabalho do implemento ou máquina; vazão de inseticida; e volume de produto na calda na aplicação de inseticida; apesar de terem sido submetidos à análise de sensibilidade, não tem seus resultados demonstrados pois foram insignificantes na alteração ao balanço energético.

Tabela 4. Resultado da análise de sensibilidade de alguns fatores dos sistemas de produção

Itens	BE _B	BE _D	BE _{DB}	BE _{DD}
	%			
Tempo de realização	-0,43	-0,44	0,00	-1,75
Potência do motor	-0,36	-0,33	0,00	-1,75
Consumo combustível	-0,43	-0,44	0,00	-1,75
Vazão de fertilizante na semeadura	-2,13	-2,19	-1,15	-3,51
Vazão de fertilizante em cobertura	-4,90	-5,04	-4,60	-5,26
Vazão do herbicida	-0,07	-0,11	0,00	0,00
Quantidade de produto na calda do herbicida	-0,07	-0,11	0,00	0,00
Produtividade	10,72	11,18	11,49	10,53
Teor de matéria seca	10,72	11,18	11,49	10,53
Teor de proteína	0,71	0,77	1,15	0,00
Teor de extrato etéreo	0,50	0,55	1,15	0,00
Teor de fibra bruta	2,70	2,85	3,45	1,75
Teor de extrativo não nitrogenado	6,82	9,77	6,90	7,02
Teor de NDT	0,00	10,14	0,00	10,53
Período de ocupação solo	–	–	-8,05	-8,77

Como pode ser observado, os únicos fatores que se elevados individualmente em 10% elevam ao balanço energético bruto, são os referentes aos resultados da produção, tanto quali quanto quantitativos, que são produtividade, teor de matéria seca, teor de proteína, teor de extrato etéreo, teor de fibra bruta, teor de extrativo não nitrogenado. Já o teor de NDT se refere ao balanço energético digestível.

Pelo fato do item ocupação de solo ser o denominador da razão do balanço energético diário (BE_{BD} e BE_{DD}), ele aparece como o de maior influência negativa. Isso se deve ao fato dele em nada alterar a produção de energia (ES_B e ES_D), e quando elevado, como na análise de sensibilidade, acaba por distribuir a mesma quantidade de energia produzida em um período maior de tempo. Os BE_{BD} e BE_{DD} relacionam a produção de energia com a captação de energia solar, e propicia comparações entre diferentes sistemas de produção de alimentação suplementar para bovinos.

Devido ao alto nível de energia embutida, as adubações (semeadura e cobertura) aparecem como as principais responsáveis pela diminuição dos balanços energéticos bruto e digestível. Tal fato ocorre de forma mais atenuada, com os defensivos pois esses são diluídos antes de serem aplicados, embora também apresentem altos níveis de energia embutida. A diminuição do uso de fertilizantes ou o uso alternativo de formas menos concentradas ou orgânicas, considerando-se estáveis os níveis quali e quantitativos da produção, eleva o balanço energético do sistema de produção.

O aumento no tempo de realização, o que implica na diminuição da CcO , diminui o balanço energético em 0,43%, tal como o consumo de combustível real e o estimado, via potência do motor do trator. Esses fatores, similarmente às adubações, devem ser analisados para se reduzir seus níveis de utilização.

Dada a magnitude da demanda de energia pelo sistema de irrigação do sistema de produção de silagem emurchecida de Tifton 85, não foi possível detectar quaisquer alterações no balanço energético, elevando-se os níveis do itens propostos em apenas 10%. Apenas os balanços energéticos bruto e digestível diários foram reduzidos em 8,05% e 8,77%, respectivamente, quando o período de ocupação do solo passou de 45 para 49,5 dias.

4.8 Alternativas aos Cenários

Para cada um dos cenários foram propostas alternativas quanto ao manejo, simulando, assim, o balanço energético dos sistemas de produção para cada uma das novas situações.

4.8.1 Silagem de milho

Cenário 1: foi considerado como a análise realizada no sistema de produção de silagem de milho, conforme descrito no item 4.5.1.

Cenário 2: reduziu-se em 10% a aplicação do fertilizante 20-00-20 na adubação de cobertura, considerando-se uma melhor qualidade de aplicação.

Cenário 3: uso de colhedora-picadora de 2 linhas, mantendo-se a mesma eficiência de campo (Efc) e aumento do consumo de combustível em 25%.

Cenário 4: uso de fertilizante com menor concentração de nitrogênio na adubação de cobertura (15-05-10 ao invés do 20-00-20).

Cenário 5: ocupação do solo de 120 dias,

Cenário 6: todos os eventos dos Cenários 2 ao 5 ocorrendo simultaneamente.

Os resultados encontrados para o balanço energético podem ser observados na Figura 20. Já na Tabela 5, observa-se as alterações percentuais dos novos cenários propostos. Para a estimativa desses dados, considerou-se que a produtividade, o índice de matéria seca e o teor de NDT foram mantidos iguais aos do Cenário 1.

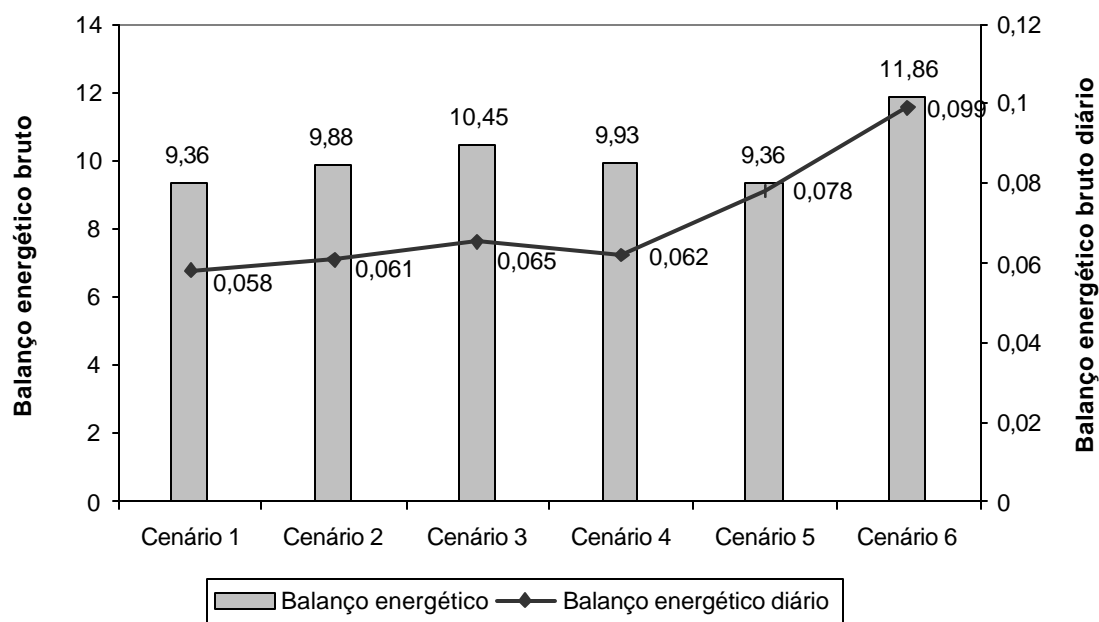


Figura 20 – Estimativas de balanço energético para novos cenários do sistema de produção de silagem de milho.

Tabela 5. Alterações no balanço energético dos novos cenários do Sistema 1.

	Alterações (%)	
	BE bruto	BE bruto diário
Cenário 2	5,56	5,17
Cenário 3	11,65	12,07
Cenário 4	6,09	6,90
Cenário 5	0,00	34,48
Cenário 6	26,71	70,69

Pode-se observar na Tabela 5 que as maiores alterações na eficiência energética desse sistema de produção se refere ao aumento do número de linhas, colhida duas ao invés de uma. Apesar da análise de sensibilidade ter apontado as operações de adubação como as operações mais dispendiosas de energia, essa melhora devido à simulação de outra colhedora se deve ao fato de que foi analisada estar muito aquém do ideal, pois apenas colhia uma linha, e perdia muito tempo em manobras já que o percurso era sempre realizado no mesmo sentido, uma vez que estava instalada de um lado do trator.

Caso fosse adotado o caminhamento de fechamento de quadro, a eficiência da operação certamente seria maior. Além disso perde-se muito tempo devido à espera de caminhões e carretas para se despejar o material a ser ensilado.

4.8.2 Silagem emurchecida

Cenário 1: foi considerado como a análise realizada no sistema de produção de silagem de milho, conforme descrito no item 4.5.2.

Cenário 2: queda na produção de 30%, mantendo-se as mesmas propriedades nutricionais, mas sem o uso da irrigação.

Cenário 3: redução de 45 para 41 dias de ciclo da cultura.

Cenário 4: Cenários 2 e 3 simultaneamente.

Os resultados encontrados para o balanço energético podem ser observados na Figura 21. Já na Tabela 6 são apresentadas as alterações percentuais dos novos cenários propostos. Para a estimativa desses dados, considerou-se que a produtividade, o índice de matéria seca e características bromatológicas iguais aos do Cenário 1.

A Tabela 6 mostra que no Cenário 3, apesar da redução do número de dias de ciclo da cultura, há uma piora no balanço energético diário. Isso se deve ao déficit de energia se manter o mesmo, e o período de ocorrência ser menor, logo, gasta-se a mesma energia em menos tempo, indicando-se a variação negativa no índice.

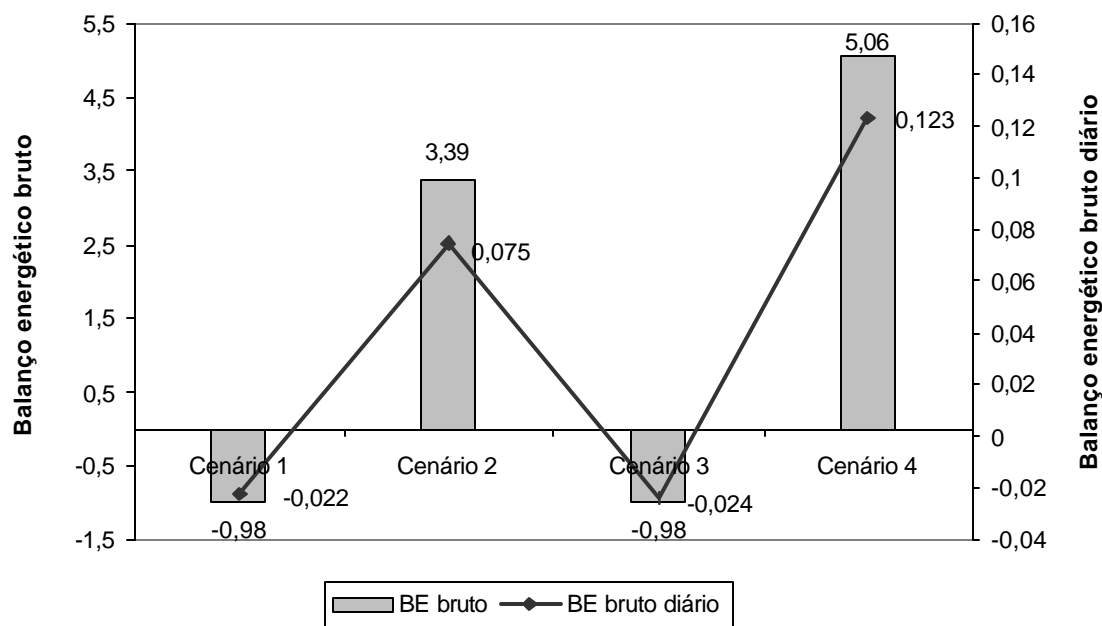


Figura 21 – Estimativas de balanço energético para novos cenários do sistema de produção de silagem emurchecida de Tifton 85.

Tabela 6. Alterações no balanço energético dos novos cenários do Sistema 2.

	Alterações (%)	
	BE bruto	BE bruto diário
Cenário 2	445,9	440,9
Cenário 3	0,0	-9,1
Cenário 4	616,3	659,1

5 CONCLUSÕES

- O sistema de produção de silagem de milho apresentou balanço energético positivo, podendo ser considerado sustentável quanto a geração de energia, ao contrário da silagem emurcheçada de Tifton 85.

- Na silagem de milho a maior demanda de energia se refere à aplicação de fertilizantes, devido à grande quantidade de energia embutido nesse insumo, principalmente os nitrogenados.

- Na silagem de milho os pontos de maior influência positiva no balanço energético bruto são aumento de produtividade, teor de matéria seca e de extrativo não nitrogenado. Para o balanço energético digestível, além desses fatores, há o teor de nutrientes digestíveis totais. Já para os balanços energéticos bruto e digestível diários, além da produtividade e do teor de matéria seca, o período de ocupação do solo é um dos principais fatores de influência.

- Para o sistema de produção de silagem emurcheçada de Tifton 85, a operação que mais demanda energia é a irrigação. Como esse sistema foi analisado no inverno, onde a produtividade é menor e a utilização do sistema de irrigação mais intensa, seria oportuna a análise de todos os ciclos em um ano, a fim de avaliar a sustentabilidade global anual do sistema.

- Para a produção de silagem emurcheçada, a análise de sensibilidade proposta não identificou alteração alguma no balanço energético, quando alterados os itens avaliados. Isso se deve a magnitude da participação de uma única operação agrícola na demanda total da energia de entrada.

ANEXOS

Anexo A – Índices energéticos de alguns fertilizantes.

Fertilizantes	MJ.kg⁻¹	Fonte
N	74,00	Pellizzi (1992)
Uréia	78,04	Ferraro Junior (1999)
Amônia anidra	68,03	Ferraro Junior (1999)
Nitrato de amônio	77,03	Ferraro Junior (1999)
Sulfato de amônia	21,98	Ferraro Junior (1999)
Nitrato de potássio	14,65	Ferraro Junior (1999)
Nitrato de cálcio	16,74	Ferraro Junior (1999)
Nitrato chileno	21,08	Hetz & Silva (1986)*
P ₂ O ₅	12,56	Ferraro Junior (1999)
Super Fosfato Simples	9,79	Ferraro Junior (1999)
Super Fosfato Triplo	22,11	Ferraro Junior (1999)
Termofosfato	3,77	Ferraro Junior (1999)
Fosfato de rocha	0,63	Ferraro Junior (1999)
DAP	44,09	Lockeretz (1980)*
K ₂ O	6,70	Ferraro Junior (1999)
KCl	7,19	Ferraro Junior (1999)
Sulfato de potássio	3,35	Ferraro Junior (1999)
Sulfato de potássio e magnésio	1,67	Ferraro Junior (1999)
Calcário	1,67	Ferraro Junior (1999)

* citado por Hetz (1994)

Anexo B – Índices energéticos dos fertilizantes formulados.

Formulações	MJ.kg⁻¹
00-18-06	2,66
00-20-10	3,18
00-24-12	3,82
00-30-15	4,77
04-20-20	6,81
04-24-12	6,78
04-30-10	7,40
04-30-16	7,80
05-20-10	6,88
05-25-25	8,52
08-28-16	10,51
08-30-20	11,03
15-05-10	12,40
18-06-09	14,68
18-06-12	14,88
20-00-10	15,47
20-00-20	16,14
20-07-20	17,02
30-00-20	23,54

Obs: Determinados através do índices de N, P₂O₅ e K₂O de Ferraro Junior (1999)

Anexo C – Índices energéticos de sementes aplicadas nos sistemas de produção agrícolas.

Insumos	MJ.kg⁻¹	Fonte
Sementes milho	15,45	Pimentel (1980)
Cereais e forragens	10,50	Pellizzi (1992)

Anexo D – Índices energéticos de alguns defensivos.

Defensivos	MJ.kg⁻¹	Fonte
Herbicida	254,57	Pimentel (1980)*
Inseticida	184,71	Pimentel (1980)*
Fungicida	97,13	Pimentel (1980)*
MCPA	0,13	Fluck & Baird (1982)
Diuron	274,62	Fluck & Baird (1982)
Atrazina	188,38	Fluck & Baird (1982)
Trifluralina	150,97	Fluck & Baird (1982)
Paraquat	459,60	Fluck & Baird (1982)
2,4 – D	87,04	Fluck & Baird (1982)
2,4,5 – T	135,06	Fluck & Baird (1982)
Dicamba	295,13	Fluck & Baird (1982)
Glifosate	454,20	Fluck & Baird (1982)
Diquat	400,18	Fluck & Baird (1982)
Captan	115,05	Fluck & Baird (1982)
Carbofuran	454,20	Fluck & Baird (1982)

* citado por Hetz (1992).

Anexo E – Parâmetros de eficiência de campo

Machine	Field efficiency	
	Range (%)	Typical (%)
TILLAGE & PLANTING		
Mold board plow	70-90	85
Heavy-duty disk	70-90	85
Tandem disk harrow	70-90	80
(Coulter) chisel plow	70-90	85
Field cultivator	70-90	85
Spring tooth harrow	70-90	85
Roller-packer	70-90	85
Mulcher-packer	70-90	80
Rotary hoe	70-85	80
Row crop cultivator	70-90	80
Rotary tiller	70-90	85
Row crop planter	50-75	65
Grain drill	55-80	70
HARVESTING		
Corn picker sheller	60-75	65
Combine	60-75	65
Combine (SP)*	65-80	70

Fonte: ASAE (1998). *(SP) = self-propelled machine

Anexo E – Parâmetros de eficiência de campo (continuação)

Machine	Field efficiency	
	Range (%)	Typical (%)
Mower	75-85	80
Mower (rotary)	75-90	80
Mower-conditioner	75-85	80
Mower-conditioner (rotary)	75-90	80
Windrower (SP)*	70-85	80
Side delivery rake	70-90	80
Rectangular baler	60-85	75
Large rectangular baler	70-90	80
Large round baler	55-75	65
Forage harvester	60-85	70
Forage harvester (SP)*	60-85	70
Sugar beet harvester	50-70	60
Potato harvester	55-70	60
Cotton picker (SP)*	60-75	70
MISCELLANEOUS		
Fertilizer spreader	60-80	70
Boom-type sprayer	50-80	65
Air-carrier sprayer	55-70	60
Bean puller-windrower	70-90	80
Beet topper / stalk chopper	70-90	80

Fonte: ASAE (1998). *(SP) = self-propelled machine.

Anexo F – Resultados da análise bromatológica do milho a ser ensilado.

Milho (planta)	%
Matéria Seca	33,31
Proteína Bruta	5,21
Extrato Etéreo	2,18
Matéria Mineral	3,87
Fibra Bruta	25,00
Fibra Detergente Ácido	26,60
Fibra Detergente Neutro	48,94
Celulose	23,15
Lignina	3,45
Extrativo Não Nitrogenado	63,7
Nitrogênio Total (NT)	0,83
Nitrogênio insolúvel em F.D.A. / N.T.	25,63
Carboidratos não fibrosos	39,80
N.D.T. (Weiss)	67,13

Obs.: Resultados analíticos expressos em 100% de matéria seca

Anexo G – Resultados das operações mecanizadas efetuadas para a produção de silagem de milho.

DADOS	OPERAÇÕES						
	<i>Escarificação</i>	<i>Gradagem</i>	<i>Semeadura</i>	<i>Herbicida</i>	<i>Ad. Cober.</i>	<i>Inseticida</i>	<i>Colheita</i>
Efc (%)	73,07	54,32	69,13	65,60	69,54	47,90	54,17
l(m)	1,88	2,72	3,06	10,74	2,95	14,13	0,81
v (m.s ⁻¹)	1,54	3,29	1,51	1,51	1,53	1,33	0,84
CcE (ha.h ⁻¹)	1,04	3,22	1,66	5,83	1,62	6,76	0,24
CcO (ha.h ⁻¹)	0,76	1,75	1,15	3,83	1,13	3,24	0,13
Diesel (L.h ⁻¹)	14,7	17,5	7,8	8,2	7,7	6,3	9,3
Tempo (h)	3,03	1,31	1,99	0,60	2,02	0,71	17,69
Calda (L.ha ⁻¹)	-	-	-	518,7	-	312,6	-
Adubo (kg.ha ⁻¹)	-	-	414,7	-	630,5	-	-
Semente (kg.ha ⁻¹)	-	-	28	-	-	-	-

Anexo H – Resultados da análise bromatológica do Tifton 85 a ser ensilado.

Tifton 85 (planta)	%
Matéria Seca	26,26
Proteína Bruta	15,14
Fibra Bruta	27,59
Extrato Etéreo	2,24
Matéria Mineral	8,45
Extrato não Nitrogenado	46,28
Fibra Detergente Ácido	30,08
Fibra Detergente Neutro	60,42
Celulose	27,31
Lignina	2,76
Nitrogênio Total (NT)	2,47
Nitrogênio insolúvel em F.D.A. / N.T.	7,30
Nitrogênio insolúvel em F.D.N. / N.T.	36,63
N.D.T. (Weiss)	61,19

Obs.: Resultados analíticos expressos em 100% de matéria seca

Anexo I – Resultados das operações mecanizadas efetuadas para a produção de silagem emurcheda.

DADOS	OPERAÇÕES					
	<i>Adubação</i>	<i>Sega</i>	<i>Revolvimento</i>	<i>Enleiramento</i>	<i>Enfardamento</i>	<i>Revestimento</i>
Efc (%)	81,2	78,1	100	79,3	76,1	75,0
l(m)	14,66	4,20	7,45	6,53	6,53	-
v (m.s ⁻¹)	2,43	1,78	1,97	2,36	1,43	-
CcE (ha.h ⁻¹)	12,82	2,69	5,28	5,54	3,36	6,92
CcO (ha.h ⁻¹)	10,41	2,10	5,28	4,40	2,52	5,19
Diesel (L.h ⁻¹)	10,1	19,9	8,4	9,6	18,9	15,7
Tempo (h)	0,50	2,48	0,98	1,18	2,06	1,0
Adubo (kg.ha ⁻¹)	487,9	-	-	-	-	-

Anexo J – Planilha de entrada de dados das máquinas utilizadas na produção de silagem de milho do modelo elaborado.

MÁQUINAS		Ocupação do solo (dias)		161		Área total (ha)		2,3		Produtividade (kg.ha ⁻¹)			
Cultura		Tempo	Ajudante	Potência	Combustível		Máquinas motoras			Implemento			
milho		h	homem.h	CV	obtenção de dados	diesel l.h ⁻¹	massa kg	vida útil h	velocidade m.s ⁻¹	massa kg	vida útil h	largura m	
Preparo de solo	Subsolagem / Escarificação	3,0	3,0	121	real	▼	14,7	4560	12000	1,54	580	2000	1,88
	Calagem	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	1500	0,00
	Aração	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	2000	0,00
	1a. Gradeação	1,3	1,3	120	real	▼	17,5	3960	12000	3,29	690	2000	2,72
	2a. Gradeação	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	2000	0,00
Aplicação insumos	Semeadura / Adubação	2,0	8,0	75	real	▼	7,8	3800	12000	1,51	2052	1500	3,06
	Cultivador / Ad. Cobertura	2,0	8,0	75	real	▼	7,7	3800	12000	1,53	404	2000	2,95
	1a. Aplicação Herbicida	0,6	1,2	75	real	▼	8,2	3800	12000	1,51	632	1500	10,74
	2a. Aplicação Herbicida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	1500	0,00
	3a. Aplicação Herbicida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	1500	0,00
	1a. Aplicação Inseticida	0,7	1,4	65	real	▼	6,3	3620	12000	1,33	632	1500	14,13
	2a. Aplicação Inseticida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	1500	0,00
	3a. Aplicação Inseticida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	1500	0,00
	Aplicação Fungicida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,00	0	1500	0,00
	Colheita	Colheita	17,7	17,7	75	real	▼	9,3	3745	12000	0,84	583	1500
Sega		0,0	0,0	0,0	real	▼	0,0	0,0	12000	0,0	0,0	1500	0,0
1a. Viragem		0,0	0,0	0,0	real	▼	0,0	0,0	12000	0,0	0,0	1500	0,0
2a. Viragem		0,0	0,0	0,0	real	▼	0,0	0,0	12000	0,0	0,0	1500	0,0
Enleiramento		0,0	0,0	0,0	real	▼	0,0	0,0	12000	0,0	0,0	1500	0,0
Enfardamento		0,0	0,0	0,0	real	▼	0,0	0,0	12000	0,0	0,0	1500	0,0
Embalagem	0,0	0,0	0,0	real	▼	0,0	0,0	12000	0,0	0,0	1500	0,0	

0	kg plástico / fardo
0	peso do fardo (kg)

IRRIGAÇÃO	Tempo de uso		Potência	Combustível	Massa	Vida útil	Área Irrigada pelo sistema (ha)
	dias	h.dia-1	CV		kg	h	
	0	0	0	eletricidade	0	0	0

Anos de ciclo da cultura		1
--------------------------	--	---

Anexo K – Planilha de entrada de dados dos insumos utilizados na produção de silagem de milho do modelo elaborado

Calagem	Calcário	0	kg.ha ⁻¹					
Semeadura / Adubação	Formulados	N	0	Nenhum	P	0	Nenhum	Semente
	Fórmulas	kg.ha ⁻¹	414,7	08-28-16	K	0	Nenhum	(kg.ha ⁻¹)
	Tratamento	Produto	Outros		l ou kg / saco	0,4	% i.a.	40
Cultivador / Ad. Cobertura	Formulados	N	0	Nenhum	P	0	Nenhum	
	Fórmulas	kg.ha ⁻¹	630,5	20-00-20	K	0	Nenhum	
1a. Aplicação Herbicida	Qtde na	25	Atrazina	% i.a.	20	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do	2000
	calda (l)	17,5	Atrazina	% i.a.	50	518,7	tanque (l)	
2a. Aplicação Herbicida	Qtde na	0	MCPA	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do	2000
	calda (l)	0	MCPA	% i.a.	0	0	tanque (l)	
3a. Aplicação Herbicida	Qtde na	0	MCPA	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do	2000
	calda (l)	0	MCPA	% i.a.	0	0	tanque (l)	
1a. Aplicação Inseticida	Qtde na	0,75	Outros	% i.a.	5	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do	2000
	calda (l)	1,5	Outros	% i.a.	5	312,6	tanque (l)	
2a. Aplicação Inseticida	Qtde na	0	DDT	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do	2000
	calda (l)	0	DDT	% i.a.	0	0	tanque (l)	
3a. Aplicação Inseticida	Qtde na	0	DDT	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do	2000
	calda (l)	0	DDT	% i.a.	0	0	tanque (l)	
Aplicação Fungicida	Qtde na	0	Ferbam	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do	2000
	calda (l)	0	Ferbam	% i.a.	0	0	tanque (l)	

Anexo L – Resultados fornecidos pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem de milho.

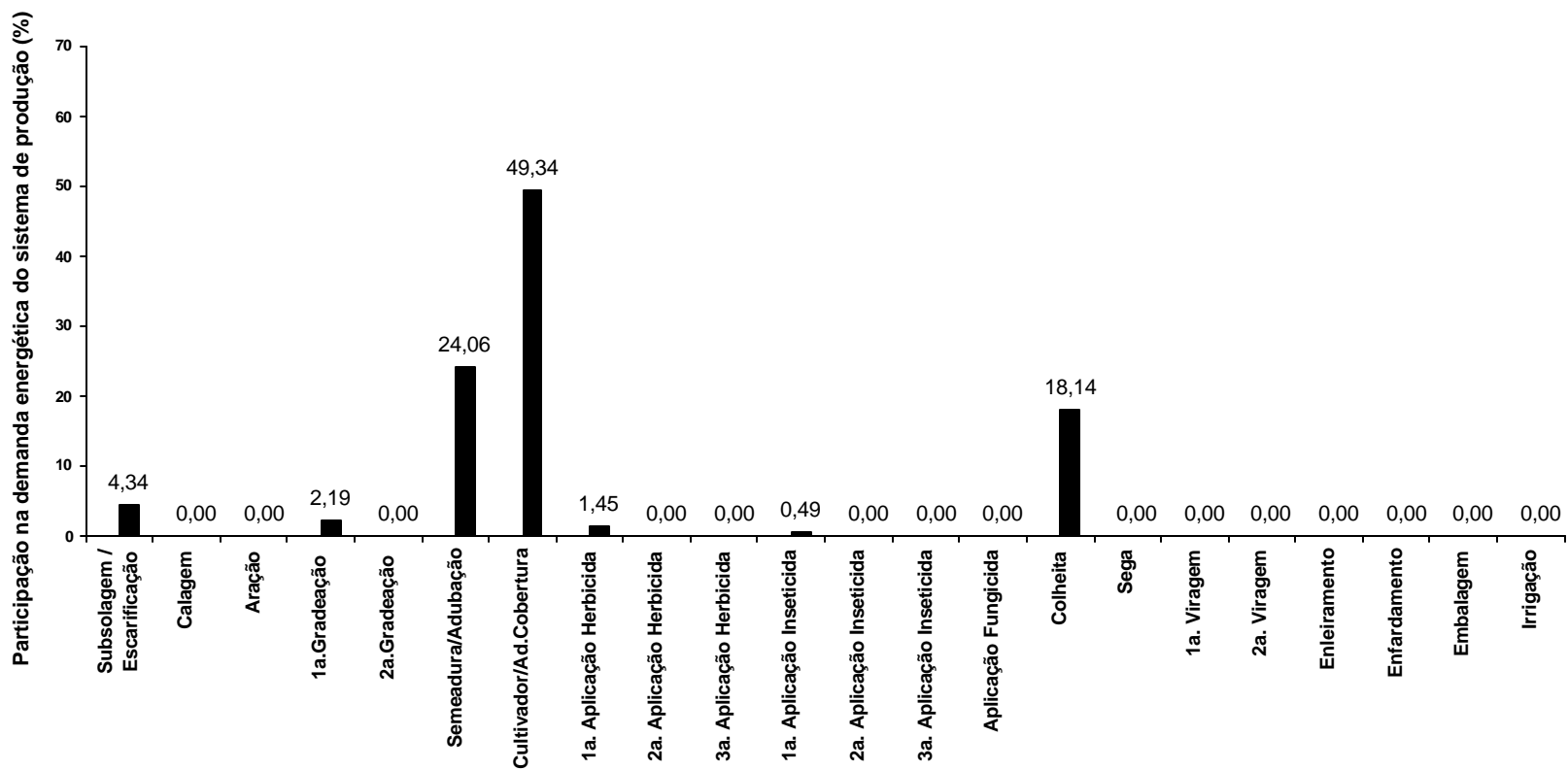
RESULTADOS	Input total kcal.ha⁻¹	% do total	Efc %
Subsolagem / Escarificação	194031,0	4,34	73
Calagem	0,0	0,00	#DIV/0!
Aração	0,0	0,00	#DIV/0!
1a. Gradeação	98014,5	2,19	54
2a. Gradeação	0,0	0,00	#DIV/0!
Semeadura/Adubação	1076736,9	24,06	69
Cultivador/Ad.Cobertura	2208188,8	49,34	70
1a. Aplicação Herbicida	64832,7	1,45	66
2a. Aplicação Herbicida	0,0	0,00	#DIV/0!
3a. Aplicação Herbicida	0,0	0,00	#DIV/0!
1a. Aplicação Inseticida	21713,3	0,49	48
2a. Aplicação Inseticida	0,0	0,00	#DIV/0!
3a. Aplicação Inseticida	0,0	0,00	#DIV/0!
Aplicação Fungicida	0,0	0,00	#DIV/0!
Colheita	811639,2	18,14	53
Sega	0,0	0,00	#DIV/0!
1a. Viragem	0,0	0,00	#DIV/0!
2a. Viragem	0,0	0,00	#DIV/0!
Enleiramento	0,0	0,00	#DIV/0!
Enfardamento	0,0	0,00	#DIV/0!
Embalagem	0,0	0,00	#DIV/0!
Irrigação	0,0	0,00	não aferida

Energia Entrada (Mcal.ha⁻¹)	4475
---	-------------

ENERGIA BRUTA	
Energia Saída (Mcal.ha⁻¹)	67490
Balanco energético	14,08
Balanco energético diário	0,087

ENERGIA DIGESTÍVEL	
Energia Saída (Mcal.ha⁻¹)	45306
Balanco energético	9,12
Balanco energético diário	0,057

Anexo M – Gráfico gerado pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem de milho.



Anexo N – Planilha de entrada de dados das máquinas utilizadas na produção de silagem emurchecida do modelo elaborado

MÁQUINAS		Ocupação do solo (dias)		45		Área total (ha)		5,2					
Cultura		Tempo	Ajudante	Potência	Combustível		Máquinas motoras			Implemento			
forragem		h	homem.h	CV	obtenção de dados	diesel l.h ⁻¹	massa kg	vida útil h	velocidade m.s ⁻¹	massa kg	vida útil h	largura m	
Preparo de solo	Subsolagem / Escarificação	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	2000	0,0
	Calagem	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	Aração	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	2000	0,0
	1a. Gradeação	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	2000	0,0
	2a. Gradeação	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	2000	0,0
Aplicação insumos	Semeadura / Adubação	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	Cultivador / Ad. Cobertura	0,5	1,0	90	real	▼	10,1	4150	12000	2,4	1320	2000	14,7
	1a. Aplicação Herbicida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	2a. Aplicação Herbicida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	3a. Aplicação Herbicida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	1a. Aplicação Inseticida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	2a. Aplicação Inseticida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	3a. Aplicação Inseticida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	Aplicação Fungicida	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	Colheita	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
Colheita	Sega	2,5	2,5	153	real	▼	19,9	5071	12000	1,8	0	1500	4,2
	1a. Viragem	1,0	1,0	75	real	▼	8,4	3780	12000	2,0	910	1500	7,5
	2a. Viragem	0,0	0,0	0	real	▼	0,0	0	12000	0,0	0	1500	0,0
	Enleiramento	1,2	1,2	75	real	▼	9,6	3780	12000	2,4	670	1500	6,5
	Enfardamento	2,1	2,1	140	real	▼	18,9	5470	12000	1,4	6800	1500	6,5
Embalagem	1,0	1,0	75	real	▼	26,3	7130	12000	2,9	6500	1500	6,5	
		1,7	kg plástico / fardo										
		400	peso do fardo (kg)										

IRRIGAÇÃO	Tempo de uso		Potência	Combustível	Massa	Vida útil	Área Irrigada
	dias	h.dia-1	CV				
	21	20,5	250	eletricidade	10000	60000	102

Produtividade (kg.ha ⁻¹)
Matéria Seca (%)
Proteína (%)
Extrato Etéreo (%)
Fibra Bruta (%)
Extrato não nitrogenado (%)
NDT (%)

▼ Anos de ciclo da cultura

Anexo O – Planilha de entrada de dados dos insumos utilizados na produção de silagem emurchecida do modelo elaborado.

Calagem	Calcário	0	kg.ha ⁻¹					
Semeadura / Adubação	Formulados	N	0	Nenhum	P	0	Nenhum	Semente
	Fórmulas	kg.ha ⁻¹	0,0	08-28-16	K	0	Nenhum	(kg.ha ⁻¹)
	Tratamento Produto	DDT			l ou kg / saco	0	% i.a.	0
Cultivador / Ad. Cobertura	Formulados	N	0	Nenhum	P	0	Nenhum	
	Fórmulas	kg.ha ⁻¹	487,9	30-00-20	K	0	Nenhum	
1a. Aplicação Herbicida	Qtde na calda (l)	0	Atrazina	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do tanque (l)	2000
		0	Atrazina	% i.a.	0	0		
2a. Aplicação Herbicida	Qtde na calda (l)	0	MCPA	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do tanque (l)	2000
		0	MCPA	% i.a.	0	0		
3a. Aplicação Herbicida	Qtde na calda (l)	0	MCPA	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do tanque (l)	2000
		0	MCPA	% i.a.	0	0		
1a. Aplicação Inseticida	Qtde na calda (l)	0	Outros	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do tanque (l)	2000
		0	Outros	% i.a.	0	0		
2a. Aplicação Inseticida	Qtde na calda (l)	0	DDT	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do tanque (l)	2000
		0	DDT	% i.a.	0	0		
3a. Aplicação Inseticida	Qtde na calda (l)	0	DDT	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do tanque (l)	2000
		0	DDT	% i.a.	0	0		
Aplicação Fungicida	Qtde na calda (l)	0	Ferbam	% i.a.	0	Vazão (l.ha ⁻¹)	Capacidade do tanque (l)	2000
		0	Ferbam	% i.a.	0	0		

Anexo P – Resultados fornecidos pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem emurchecida.

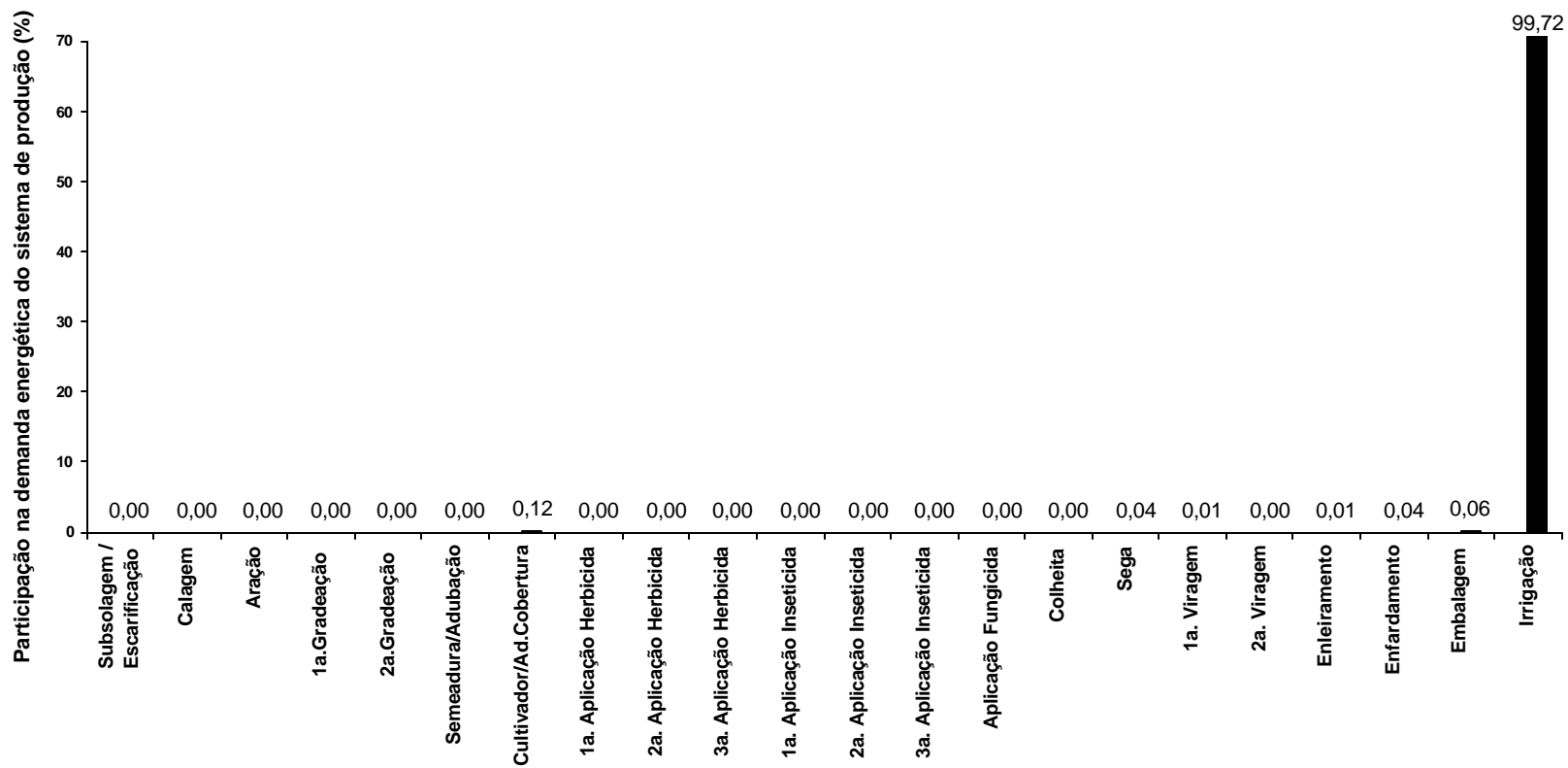
RESULTADOS	Input total kcal.ha⁻¹	% do total	Efc %
Subsolagem / Escarificação	0,0	0,00	#DIV/0!
Calagem	0,0	0,00	#DIV/0!
Aração	0,0	0,00	#DIV/0!
1a. Gradeação	0,0	0,00	#DIV/0!
2a. Gradeação	0,0	0,00	#DIV/0!
Semeadura/Adubação	0,0	0,00	#DIV/0!
Cultivador/Ad.Cobertura	274244,8	0,12	81
1a. Aplicação Herbicida	0,0	0,00	#DIV/0!
2a. Aplicação Herbicida	0,0	0,00	#DIV/0!
3a. Aplicação Herbicida	0,0	0,00	#DIV/0!
1a. Aplicação Inseticida	0,0	0,00	#DIV/0!
2a. Aplicação Inseticida	0,0	0,00	#DIV/0!
3a. Aplicação Inseticida	0,0	0,00	#DIV/0!
Aplicação Fungicida	0,0	0,00	#DIV/0!
Colheita	0,0	0,00	#DIV/0!
Sega	91399,6	0,04	78
1a. Viragem	17230,8	0,01	100
2a. Viragem	0,0	0,00	#DIV/0!
Enleiramento	22785,2	0,01	79
Enfardamento	96958,7	0,04	75
Embalagem	133612,7	0,06	75
Irrigação	226795696,3	99,72	não aferida

Energia Entrada (Mcal.ha⁻¹)	227432
---	---------------

ENERGIA BRUTA	
Energia Saída (Mcal.ha⁻¹)	3854
Balanco energético	-0,98
Balanco energético diário	-0,022

ENERGIA DIGESTÍVEL	
Energia Saída (Mcal.ha⁻¹)	2358
Balanco energético	-0,99
Balanco energético diário	-0,022

Anexo Q – Gráfico gerado pelo modelo elaborado na análise do sistema de produção de silagem emurchecida.



Anexo R – Arquivos do modelo com dados da silagem de milho, emurhecida de Tifton 85 e a ser preenchido

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.M. **Avaliação da energia investida na cultura de milho e das perdas pós-produção.** Botucatu: UNESP, 1985. 16p.
- ALVARENGA, S. C.; OLIVEIRA, E. B. O uso de simulação na análise de sistemas de produção. **Revista Ceres**, v. 34, n. 194, p. 378-399, 1987.
- AMBROSANO, G.M.B. Modelagem, simulação e suas aplicações na pesquisa agropecuária. **Zootecnia**, v.28, n. único, p.9-13, 1990.
- ANDRADE, J.B.; HENRIQUE, W.; BRAUN, G.; POSSENTI, R.A. Produção de silagem e reciclagem de nutrientes em milho. 1- Produção de matéria seca e composição bromatológica. **Boletim da Indústria Animal**, v.55, n.1, p.51-55, 1998
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards.** St. Joseph, 1998, p.360-367: Agricultural Management Data ASAE D497.4.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 14.ed. Washington, 1984. 1141p.
- BARRET, J.R.; NEARING, M.A. Humanization of decision support using information from simulation. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. **Agricultural systems modeling and simulation.** New York: Marcel Dekker, 1998. p. 1-17.

- BARROS, A.L.M. **Desenvolvimento e energia:** notas provisórias da apostila da disciplina LES 666 - Desenvolvimento Econômico e Social. Piracicaba: ESALQ, LES, 1996. 18 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA <http://www.mme.gov.br/sen/ben/BenTab/index.htm>. (03 abr. 2002).
- BURROWS, W.C.; SIEMENS, J.C. Determination of optimum machinery for corn-soybean farms. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n.12, p.1130-1135, 1974.
- CAMPOS, A.T. de; FERREIRA, W.A.; YAMAGUCHI, L.C.T.; RESENDE, H.; ALMEIDA, F.M. de. Balanço econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite. **Revista Engenharia Rural**, v.9, n.1, p. 1-20, jul., 1998.
- CASTANHO FILHO, E.P.; CHABARIBERY, D. Perfil energético da agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, v.30, t.1/2, p.63-116, 1983.
- CAVALCANTI, C. Condicionantes biofísicos da economia e suas implicações quanto à noção do desenvolvimento sustentável In: ROMEIRO, A.R.; REYDON, B.P.; LEONARDI, M.L.A. (Org.). **Economia do meio ambiente:** teoria, políticas e a gestão de espaços regionais. Campinas: UNICAMP/I.E., 1996, p.61-82.
- CODAGNONE, H. C. V.; CARDOSO, R. M.; CASTRO, A. C. G.; SILVA, M. A. Silagem de milho e feno de aveia (*Avena bizantina*, L.) na alimentação de vacas em lactação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. v. 17, n. 6, p 487-497, 1998.

- COELHO, J L D Ensaio & certificação das maquinas para a sementeira. In: MIALHE, L G. **Maquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba : FEALQ, 1996. p.551-570.
- COMITRE, V.A. A questão energética e o padrão tecnológico da agricultura brasileira. **Informações Econômicas**, v.25, n.12, p.29-35, dez., 1995.
- CRAMPTON, E.W.; HARRIS, L.E. **Applied animal nutrition**. 2. ed. San Francisco: Ed. Freeman, 1956. 753 p.
- DENT, J. B.; BLACKIE, M. J. **Systems simulation in agriculture**. London: Applied Science, 1979.
- DOURADO-NETO, D.; TERUEL, D. A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R.; FRIZZONE, J. A.; BACCHI, O. O. S. Principles of crop modeling and simulation: 1. Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, v. 55, n.especial, p. 46-50, ago, 1998.
- FAO <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>. (13 maio 2001).
- FERRARO JÚNIOR, L.A. Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade.. Piracicaba, 1999. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FERREIRA, J. J. Aspectos importantes para melhor qualidade da silagem de milho e maior eficiência na sua utilização. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Milho para silagem: tecnologias, sistemas e custo de produção**. Sete Lagoas, 1991. p. 59-68. (EMBRAPA. CNPMS. Circular Técnica, 14).

- FERREIRA, C.R.R.P.T.; BORTOLETO, E.E.; VEGRO, C.L.R.; FRANCISCO, V.L.F.S. Pecuária bovina no Estado de São Paulo em análise. **Preços Agrícolas**, v.4, n.154, p.7-12, ago, 1999.
- FLUCK, R.C. ; BAIRD, C.D. **Agricultural energetics**. Gainesville: University of Florida, Agricultural Engineering Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, 1982. 197p.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Anualpec 2001**: anuário da pecuária brasileira. São Paulo, 2000. 359 p.
- FONSECA, A. H. **Características químicas associadas a degradabilidade da silagem de milho**. Lavras: UFLA, 2000. 93 p.
- FREITAS, E. A. G. Silagem de milho: condicionantes do valor nutritivo. **Agropecuária Catarinense**, v.3 , n.2 , p. 9-12, jun, 1990.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy and economic myth. **Southern Economic Journal**, v.41, n. 3, p.21-37, jan., 1975
- GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 1998. 234p.
- HALL, C.A.S.; CLEVELAND, C.J.; KAUFMANN, R. **Energy and resource quality**. Colorado: Univversiy Press, 1992., 577 p.
- HARRIS, L. E.; KEARLS, L. C.; FONNESBECK, P.V. Use of regression equations in predicting availability of energy and protein. **Journal of Animal Science**, v. 35, n.3, p. 658-680. 1972.

- HEICHEL, G.H. Agricultural production and energy resources. **American Scientist**, v.64, p. 64-72, 1976.
- HETZ, J.H. Energy utilization in Chilean agriculture. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, v. 23, n. 2, p. 52-56, 1992
- HETZ, E.J.; VILLEGAS, H.B.; RIQUELME, J.S.; CELIS, J.H. Utilización de energía en la producción de raps, bajo cuatro sistemas de labranza, en la Provincia de Ñuble. **Agro Sur**, v.22, n.1, p.1-6, 1994.
- HILL, S.B.; RAMSAY, J.A. Limitations of the energy approach in defining priorities in agriculture. <http://www.dieoff.com> (12 abr. 2001).
- HUANG, B.K. **Computer simulation analysis of biological and agricultural systems**. Boca Raton: CRC Press. 1994. 862 p.
- JANSSEN, H.P.; GIARDINI, W.V. **Silagem pré-secada**. 2.ed. Castro : Cooperativa Central de Laticínios do Paraná, 1995. 76p. (Guia Técnico, 1).
- JANUZZI, G.M. **Introdução ao estudo do planejamento de sistemas energéticos**. Campinas: UNICAMP, NEPAM, 1994. 50p. (Textos NEPAM: Apoio à Coletividade, 1)
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. Energy and labour. In: LOOMYS, R.S.; CONNOR D.J. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. p.400-427.
- MELLO, R. Análise energética de agroecossistema: o caso de Santa Catarina. 1986. Florianópolis, 1986. 139p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

MILAN, M. Improving operational management of harvest, transport and mechanization for sugar-cane in Brazil. Silsoe, 1992. 226p. Ph.D (Thesis) – Silsoe College, Crainfield Institute of Technology.

MOLINA JUNIOR, W.F. Enfardamento de resíduo de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): avaliação dos desempenhos operacional e econômico. Piracicaba, 1991. 101p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MONTEIRO, A. L. G. Silagem pré-secada. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., Piracicaba , 1999. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.97-122.

NAYLOR, T. H. **Computer simulation experiments with models of economic systems**. New York: John Wiley, 1971. 502 p.

NUSSIO, L.G. Cultura de milho para produção de silagem de alto valor nutritivo alimentício. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., Piracicaba , 1991. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1991. p.59-168.

NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P. Silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., Piracicaba, 1999. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.27-46.

ODUM, E.P. **Ecologia**. São Paulo: EDUSP, 1969. 201p.

ODUM, H.T. Energy analysis of the enviromental role in agriculture. In: STANHILL, G. (Ed.) **Energy and agriculture**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.v-vi (Advanceds Series in Agricultural Sciences, 14)

- OZKAN, H. E.; EDWARDS, W. M. A farmer-oriented machinery comparison model. **Transactions of the ASAE**, v. 29, n. 3, p. 672-677, 1986.
- PANESAR, B.S. Integrating spatial and temporal models: na energy example. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 93-111.
- PEET, J. **Energy and the economics of sustainability**. Washington, D.C.: Island Press, 1992. 309 p.
- PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.52, n.2, p.111-119, 1992
- PEREIRA, A. R. Simulação do crescimento e da produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 200-209.
- PEREIRA, A.R. Balanço de carbono: uso de modelos e simulação. **O Agrônomo**, v.41, n.3, p.187-198, 1989.
- PHIPPS, R. H.; PAIN, B. F.; MULVANY, P. M. A comparison of the energy output/input relationship for forage maize and grass leys on the dairy farm. **Agriculture and Environment**, v. 3, n. 1, p. 15-20, 1976.
- PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture** Boca Raton: CRC Press. 1980. 475p.
- PIMENTEL, D.; RODRIGUES, G.; WANE; ABRAMS, R.; GOLDBERG, K.; STAECKER, H.; MA, E.; BRUECKNER, L.; TROVATO, L.; CHOW, C.;

- GOVINDARAJULU, U.; BOERKE, S. Renewable energy: economic and environmental issues. **BioScience**. v. 44, n. 8, p. 57-79, Sept., 1984.
- PIMENTEL, D. Energy flow in the food system. In: PIMENTEL, D.; HALL, C. W. (Ed.). – **Food and energy resources**. Orlando: Academic Press, p. 34-53, 1984. 417p.
- PIMENTEL, J.J.O.; SILVA, J.F.C.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R., SANTOS, P.S. Efeito da suplementação protéica no valor nutritivo de silagens de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.5, p.1042-1049, set./out., 1998.
- PORTUGAL, A. D. Simulação de sistemas agropecuários. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 4, p. 335-342, abr, 1983.
- RODRIGUES, E.C. **Crise energética**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1975. 188p.
- ROSTON, A. J.; ANDRADE, P. Valor calórico dos nutrientes digestíveis totais (NDT). **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**. v. 21, n. 6, p. 1114-1118, 1992.
- ROTZ, C. A.; BLACK, J. R.; MERTENS, D. R.; BUCKMASTER, D. R. DAFOSYM: a model of the dairy forage system. **Journal of Production Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 83-91, 1989.
- RUTTAN, V. W. Agricultural research policy issues. **Horticultural Science**, v. 18, p.809, 1983.
- SALVADOR, P.R. Silagem: Passo a passo para a obtenção de bons resultados. **Revista dos Criadores**, v.68, n.814, p.20-21, mar., 1998.

- SANTOS, H.P. Efeito da rotação de culturas no rendimento, na eficiência energética e econômica do trigo, em plantio direto. Piracicaba, 1992. 136 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SERRA, G.E.; HEEZEN, A.M.; MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, 1979. 86p.
- SILVA, J.G.; SERRA, G.E.; MOREIRA, J.R.; GONÇALVES, J.C. Balanço energético cultural da produção de álcool etílico de cana-de-açúcar, mandioca e sorgo sacarino – Fase agrícola e industrial. **Brasil Açucareiro**, n.6. p.454-465, dez. 1976.
- SILVA, V.; REIS FILHO, J.C.G; CAMARGO, J.R.V. Balanço energético das culturas de feijão e milho segundo o uso de tração animal e motomecanizada, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, n.4. p.23-35, abr.1987.
- SILVA, L. F. P.; MACHADO, P. F. Qualidade da silagem de milho produzido no Brasil – Parte I. **Notasalq**. v. 5, n. 10, p. 6-7, abr. 1997.
- SILVA, L. F. P. Avaliação de características agronômicas e nutricionais de híbridos de milho para silagens. Piracicaba, 1997. 98p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SILVEIRA, A. C.; FURLAN, L. R.; ARRIGONI, M. B.; COSTA, C. Produção e valor nutritivo da silagem de milho das variedades granífera e forrageira: revisão. **Zootecnia**, v. 33, n. 4, p. 143-150, out./dez. 1995.

- SINGH, S.; SINGH, G. Energy input vs crop yield relationship for four major crops of northern India. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, v.23, n.2, p. 57-62, 1992.
- SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, v.19, n.1, p.80-89, set., 1999.
- SOUZA, E.G.; MILANEZ, L.F. Conservação de energia no uso de tratores na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19. Piracicaba, 1990. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996,. p.712-726.
- STANHILL, G. Preface. In: STANHILL, G. (Ed.) **Energy and agriculture**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.v-vi (Advanceds Series in Agricultural Sciences, 14)
- STOUT, B.A.; MYERS, C.A. Energy for worldwide agricultura. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, v.10. n.3, p.11-18, 1979.
- TACHIBANA, A. Um modelo para avaliar sistemas mecanizados para aplicação de defensivos em culturas perenes. Piracicaba, 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- TAINTER, J.A.; **Getting down to earth:** practical applications of ecological economics. Washington, D.C.: Island Press, 1996. p. 239-267: Complexity, problem solving,and sustainable societies

- ULBANERE, R.C. Análise dos balanços energéticos e econômicos relativa à produção de grãos de milho no Estado de São Paulo.. Botucatu, 1988. 127 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- ULBANERE, R.C.; FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para à produção de milho no Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.4, n.1, p.35-42, 1989.
- VALENTE, J. O. Introdução In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Sete lagoas, MG). **Milho para silagem**: tecnologias, sistemas e custo de produção. Sete Lagoas, 1991. p. 5-7. (EMBRAPA. CNPMS. Circular Técnica, 14).
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.
- VEIGA, C.M. Modelo empírico para a seleção de máquinas agrícolas na cultura da soja considerando a pontualidade na semeadura. Piracicaba, 2000. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VILELA, D. Aditivos para silagem de plantas de clima tropical. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35. Botucatu, 1998. **Anais**. Botucatu: SBZ, 1998, p. 73-111.