

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**BALANÇO ENERGÉTICO RELATIVO À PRODUÇÃO DE FENO DE
“COAST-CROSS” E ALFAFA EM SISTEMA INTENSIVO DE
PRODUÇÃO DE LEITE**

ALESSANDRO TORRES CAMPOS

Engenheiro Agrícola

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Junho - 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**BALANÇO ENERGÉTICO RELATIVO À PRODUÇÃO DE FENO DE
“COAST-CROSS” E ALFAFA EM SISTEMA INTENSIVO DE
PRODUÇÃO DE LEITE**

ALESSANDRO TORRES CAMPOS

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Corrêa Saglietti

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Junho - 2001

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO
DIRETORIA DE SERVIÇO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C198b Campos, Alessandro Torres, 1970-
Balanço energético relativo à produção de feno
de "coast-cross" e alfafa em sistema intensivo de
produção de leite / Alessandro Torres Campos. --
Botucatu, 2001
xxiii, 236 f. : il. color. (algumas p&b)

Tese (doutorado) -- Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2001
Orientador: José Roberto Corrêa Saglietti
Bibliografia: f. [201]-228

1. Feno 2. Gramínea 3. Alfafa 4. Agricultura
e energia 5. Agricultura - Consumo de energia
6. Conservação de energia 7. Construções rurais
8. Forragem I. Saglietti, José Roberto Corrêa
II. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências
Agrônomicas III. Título

Palavras-chave: *Medicago sativa*; *Cynodon dactylon*; Forragem;
Fenação; Energia na agricultura; Balanço de
energia; Eficiência energética; Instalações
rurais.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "BALANÇO ENERGÉTICO RELATIVO À PRODUÇÃO DE FENO DE
"COAST-CROSS" E ALFAFA EM SISTEMA INTENSIVO DE
PRODUÇÃO DE LEITE"**

AUTOR: ALESSANDRO TORRES CAMPOS

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ ROBERTO CORRÊA SAGLIETTI

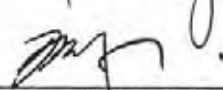
Aprovado pela Comissão Examinadora:



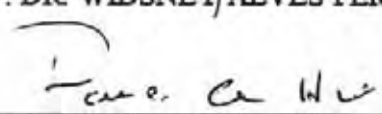
PROF. DR. JOSÉ ROBERTO CORRÊA SAGLIETTI



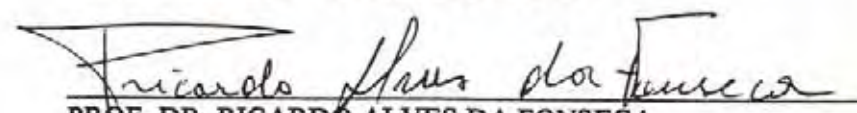
PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI



PROF. DR. WIDSNEY ALVES FERREIRA



PROF. DR. PAULO CÉSAR HARDOIM



PROF. DR. RICARDO ALVES DA FONSECA

Data da Realização: 27 de junho de 2001.

A meus pais, João e Terezinha, que fizeram de tudo,
e colocaram suas vidas em segundo plano,
para que os filhos pudessem estudar,

A meus irmãos, Elizabeth, Elaine, Adilson e,
principalmente ao Aloísio,
que sempre me apoiaram e incentivaram de todas as formas
para que pudesse sempre progredir nos estudos,

Ao Dr. José Roberto Corrêa Saglietti,
que além de dedicado e competente orientador,
tem sido um grande educador,

À minha esposa Andréia e à minha filha Vanessa,
que sempre me presentearam com amor e carinho

Dedico humildemente este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Orientador, Dr. José Roberto Corrêa Saglietti, pela oportunidade oferecida, pela consideração e paciência, estímulo, ensinamentos e orientação na realização do doutoramento e concretização deste trabalho;

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), pelo intermédio do Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade concedida e pela receptividade de seus Professores e Funcionários;

À EMBRAPA - Gado de Leite, de Juiz de Fora, pela concessão dos dados utilizados no presente trabalho, principalmente na pessoa do Engenheiro Agrônomo Humberto Resende;

Ao Aloísio, meu irmão, pelo constante estímulo e apoio, desde o início da minha carreira;

Aos Professores componentes da Comissão Examinadora, que apresentaram valiosas sugestões, visando enriquecer o trabalho;

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Física e Biofísica do IBB/UNESP, especialmente Murilo, Rogério, João, Sílvia, e Prof. Dr. José Ricardo, pelo incentivo, apoio e préstimos durante todo o período de curso;

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos, que viabilizou a realização do Doutorado;

Ao Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni, pelo apoio, ajuda e amizade;

E, finalmente, citando as palavras de Costa Beber, a todos aqueles “engajados no ideal de fomentar uma **agricultura mais socialmente produtiva, economicamente sustentável e ecologicamente prudente**”.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	XII
LISTA DE FIGURAS	XVII
LISTA DE SÍMBOLOS	XXII
1. RESUMO	001
2. SUMMARY	003
3. INTRODUÇÃO	005
4. REVISÃO DE LITERATURA	009
4.1. A produção de leite no Brasil	009
4.2. Eficiência na produção	011
4.3. Feno/fenação	014
4.3.1. Desidratação (secagem) da forrageira a ser fenada	020

Página

4.3.2. Armazenamento do feno	023
4.3.3. Espécies para fenação	025
4.4. Energia/balances energéticos	033
4.4.1. A energia	033
4.4.2. Crises energéticas	040
4.4.3. Consumo de energia	046
4.4.3.1. Participação do setor agropecuário no consumo de energia	046
4.4.3.1.1. Consumo de energia na produção de animais	051
4.4.4. Classificação das formas de entrada de energia visando ao balanço energético	056
4.4.5. Energia consumida pelo trabalho humano	058
4.4.5.1. Importância e impacto social	058
4.4.5.2. Utilização do trabalho humano na composição de balanços energéticos	060
4.4.6. Energia consumida relativa a fertilizantes, defensivos e inseticidas	064
.....	
4.4.7. Energia empregada em edificações	065
4.4.8. Delimitação do sistema	070
4.4.9. Balances de energia	073
5. MATERIAL E MÉTODOS	089
5.1. Limites estabelecidos para o sistema estudado	091
5.1.1. A área global do sistema intensivo de produção de leite	091

	Página
5.1.2. Delimitação do sistema em estudo, dentro do SIPL- EMBRAPA.....	092
5.2. A análise energética	093
5.2.1. Energias direta e indireta	094
5.3. Produção do feno	097
5.3.1. “Coast-Cross”	098
5.3.1.1. Áreas utilizadas para o plantio da cultura	098
5.3.1.2. Procedimento de controle de invasoras	099
5.3.1.3. Operação de correção do solo	099
5.3.1.4. Operação de preparo do solo	100
5.3.1.5. Operação de adubação e plantio	101
5.3.1.6. Estabelecimento, condução e manejo do “coast-cross”	102
5.3.1.7. Cortes e produção do feno do “coast-cross”	103
5.3.2. Alfafa	107
5.3.2.1. Áreas utilizadas para o plantio da cultura	107
5.3.2.2. Operação de correção do solo e distribuição de matéria orgânica	108
5.3.2.3. Operação de plantio e adubação	109
5.3.2.4. Operação de controle de invasoras e adubação de manutenção	111
5.3.2.5. Irrigação	111
5.3.2.6. Cortes e produção do feno da alfafa	113
5.4. Coeficientes energéticos/conversão energética	113

	Página
5.4.1. Trabalho humano	113
5.4.2. Construções e instalações	117
5.4.3. Insumos	125
5.4.3.1. Material de propagação	126
5.4.3.2. Fertilizantes e corretivos	129
5.4.3.3. Defensivos	131
5.4.4. Máquinas e equipamentos	132
5.4.4.1. Observações com relação a algumas máquinas	133
5.4.4.2. Irrigação	134
5.4.5. Combustíveis e Lubrificantes	135
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	136
6.1. Composição energética do galpão de armazenamento de feno	137
6.2. “Coast-Cross”	141
6.2.1. Caracterização da produção, produtividade e qualidade do produto obtido (“coast-cross”)	141
6.2.2. Consumo de energia – implantação e estabelecimento da cultura	143
6.2.2.1. Máquinas e implementos agrícolas	144
6.2.2.2. Consumo de energia na forma de combustíveis e lubrificantes	145
.....	
6.2.2.3. Insumos e mão-de-obra	150
6.2.3. Consumo de energia na manutenção anual da cultura do “coast-cross”	154

6.2.4. Consumo de energia na colheita e fenação do “coast-cross”	157
	Página
6.2.5. Energia indireta	160
6.2.6. Síntese e consolidação do balanço energético para a produção do feno de “coast-cross”	164
6.2.6.1. Eficiência energética	168
6.3. Alfafa	169
6.3.1. Caracterização da produção, produtividade e qualidade do produto obtido (alfafa)	169
6.3.2. Consumo de energia – implantação e estabelecimento da cultura da alfafa	170
...	
6.3.2.1. Máquinas e implementos agrícolas	170
6.3.2.2. Consumo de energia na forma de combustíveis e lubrificantes	171
.....	
6.3.2.3. Insumos e mão de obra	175
6.3.3. Consumo de energia na manutenção anual da cultura da alfafa	179
6.3.4. Consumo de energia na colheita e fenação da alfafa	181
6.3.5. Energia indireta	184
6.3.6. Síntese e consolidação do balanço energético para a produção do feno de alfafa	187
6.3.6.1. Eficiência energética	191
6.4. Considerações gerais	192

7. CONCLUSÕES	200
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	201
APÊNDICE 1	229
	Página
APÊNDICE 2	234

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
01 Níveis médios de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), nutrientes digestíveis totais (NDT), Cálcio (Ca) e Fósforo (P) no feno de algumas forrageiras.....	018
02 Interpretação da análise da amostra de fenos, segundo sugestão da EMBRAPA Gado de Leite.....	026
03 Classificação de fenos proposta pela EMBRAPA Gado de Leite.....	026
04 Consumo de lenha, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo, querosene, eletricidade e carvão vegetal, em toneladas equivalentes de petróleo, no período de 1981 a 1996, no setor agropecuário brasileiro	047
05 Balanços energéticos na produção de leite e suínos, estimados para o Rio Grande	

do Sul	053
Quadro	Página
06 Consumo de energia para produção animal (leite de bovino, leite de ovelha, gado de corte), na agricultura italiana	055
07 Alguns insumos energéticos utilizados na produção de milho, nos E.U.A., no período de 1945 a 1970	059
08 Conteúdos energéticos de uma residência típica, construída com diferentes materiais de construção (tipo 1 e tipo 2), estudado pelo CETEC.....	067
09 Consumo de energia de dois modelos para um hectare de cana-de-açúcar, primeiro corte.....	075
10 Comparação entre os resultados de consumo específico de energia obtidos em três locais diferentes para vários produtos agropecuários	
11 Composição energética do galpão de armazenamento de fardos de feno do SIPL ...	123
12 Determinação do coeficiente energético em MJ.kg ⁻¹ dos herbicidas utilizados para “coast-cross” e alfafa, de acordo com seu teor de ingrediente ativo e dose empregada por hectare cultivado	132
13 Consumo energético na construção do Galpão de Feno	138
14 Resultados médios da análise da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) do feno de “coast-cross” produzido no SIPL, expressos em matéria seca	142
15 Peso, vida útil e demanda específica de energia estimados para as máquinas e	

	implementos utilizados na implantação da cultura do “coast-cross”	144
Quadro		Página
16	Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de preparo e correção de acidez do solo para a implantação da cultura do “coast-cross” no SIPL-EMBRAPA - Gado de Leite	146
17	Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações envolvidas no plantio da cultura do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	148
18	Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de tratos culturais durante a implantação do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	150
19	Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, na implantação da cultura do “coast-cross”	151
20	Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, para a manutenção de um hectare da cultura do “coast-cross” em produção de feno	155
21	Consumos anuais de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de colheita, revolvimento e fenação do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	158
22	Dispêndios de energia nas operações de colheita, fenação e armazenamento da	

	produção de um hectare de “coast-cross”	160
23	Composição da energia indireta aplicada em equipamentos e estruturas	161
	
Quadro		Página
24	Balanço energético consolidado para a produção de feno a partir da cultura do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	165
25	Resultados médios da análise da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) do feno de alfafa produzido no SIPL, expressos em matéria seca	169
26	Peso, vida útil e demanda específica de energia estimados para as máquinas e implementos utilizados para a cultura da alfafa e que não foram utilizados para o “coast-cross”	171
27	Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de preparo e correção de acidez do solo para a implantação da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	172
	
28	Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações envolvidas no plantio e adubação da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	175
29	Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, na implantação da cultura da alfafa	176
30	Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes	

para máquinas agrícolas tratorizadas, na manutenção anual da cultura da alfafa 180

.....

- 31 Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, para a manutenção de um hectare da cultura da alfafa 180

Quadro	Página
32 Consumos anuais médios de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de colheita, revolvimento e enfardamento da alfafa no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	182
33 Dispêndios de energia nas operações de colheita, fenação e armazenamento da produção de um hectare da cultura da alfafa	183
34 Composição da energia indireta aplicada em equipamentos e estruturas para alfafa..	185
35 Balanço energético consolidado para a produção de feno a partir da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	188
1.1 Entradas (“inputs”) de energia e retorno por hectare para vários sistemas de produção animal nos Estados Unidos	230
1.2 Análise de solo para o CNPGL/EMBRAPA	231
1.3 Contabilização energética para produção, processamento e distribuição de sementes de alfafa	231
1.4 Resultados de análise química do feno de “coast-cross”, em doze amostragens realizadas em dias de fenação	233

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01 Variação da produção de forragens durante os meses do ano	014
02 Transformação da energia na agricultura	035
03 Participação de Lenha, Óleo Diesel, Eletricidade e Outras no consumo geral de energia no setor agropecuário, no Brasil	048
04 Diagrama detalhado dos fluxos energéticos em um sistema agrícola	072
05 Delimitação do sistema em estudo no presente trabalho, dentro do SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	092
06 Cultura do “coast-cross” – SIPL (EMBRAPA – Gado de Leite)	098
07 Equipamento utilizado para aplicação de herbicida – pulverizador de barra	100
08 a) Operação de aração do terreno para o plantio do capim “coast-cross”; b)	

operação de gradagem, para o mesmo fim	101
Figura	Página
09 a) Segadora de dois discos utilizada para o corte da forrageira; b) Segadora promovendo corte de alfafa	104
10 a) ancinho rotativo; b) ancinho promovendo a operação de revolvimento de leiras de “coast-cross”	105
11 a) Forrageira enleirada no campo, para secagem e posterior enfardamento e recolhimento; b) detalhe das leiras de “coast-cross” no campo, secando	105
12 Enfardadora recolhendo material na leira para enfardar	105
13 Fardos de feno prontos, depositados no campo para posterior recolhimento	106
14 (a) Fardos de “coast-cross”, já prontos, no campo; (b) fardos de feno de coast-cross armazenados no galpão do SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	106
15 Campo de Produção – cultura da alfafa, Várzea da Jaguará – SIPL-EMBRAPA/CNPGL	107
16 Semeadora adubadora utilizada para o plantio da alfafa	110
17 Irrigação da alfafa no período de implantação	112
18 Campo de alfafa irrigado	112
19 Fluxos de energia relativos ao trabalho humano, suas famílias e contexto social	115
20 Planta Baixa do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, (Incluindo Depósito para Concentrados) EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala)	119
21 Corte Longitudinal BB do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL,	

EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala)	119
--	-----

Figura	Página
22 Corte Transversal DD do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala)	120
23 Elevação “B” do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala)	120
24 Elevação “D” do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala)	120
25 Participação percentual das diversas partes construtivas na composição energética do Galpão de Feno do SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	140
26 Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, no preparo e correção de acidez do solo para a cultura do “coast-cross”, no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	147
27 Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, para o plantio da cultura do “coast-cross”, no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	149
28 Participação percentual de N (“N”), P ₂ O ₅ (“P”) e K ₂ O (“K”) no consumo energético durante a implantação da cultura do “coast-cross” usado para fenação por hectare ...	152
29 Participação dos diferentes insumos e mão-de-obra no consumo de energia para a	

implantação da cultura do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	153
30 Participação percentual de N (“N”), P ₂ O ₅ (“P”) e K ₂ O (“K”) no consumo energético relativo à adubação de cobertura para manutenção anual de um hectare da cultura do “coast-cross” usado para fenação	156
.....	
Figura	Página
31 Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, nos processos de corte, revolvimento, enfardamento e transporte do material até o local de armazenamento	159
32 Participação percentual das diversas máquinas, equipamentos e estruturas na composição da energia indireta para a produção anual de feno relativa a um hectare de “coast-cross”	162
33 Participação percentual dos diversos insumos (“inputs”) na formação do balanço energético para a produção anual de feno de “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	166
34 Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, no preparo e correção de do solo para a cultura da alfafa, no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	174
35 Participação dos diferentes insumos e mão-de-obra no consumo de energia para a implantação da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite	177
36 Participação percentual de N (“N”), P ₂ O ₅ (“P”) e K ₂ O (“K”), no consumo energético relativo a fertilizantes, (químicos e orgânicos) durante a implantação da	

cultura da alfafa	178
37 Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, nos processos de corte, revolvimento, enfardamento e transporte do material até o local de armazenamento	183
Figura	Página
38 Participação percentual das diversas máquinas, equipamentos e estruturas na composição da energia indireta para a produção anual de feno relativa a um hectare de alfafa	186
39 Participação percentual dos diversos insumos (“inputs”) na formação do balanço energético para a produção anual de feno de alfafa no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite	189
40 Distribuição percentual da energia empregada em N (“N”), P ₂ O ₅ (“P”) e K ₂ O (“K”) nos fertilizantes utilizados, de origem orgânica ou derivada de petróleo	190
2.1 Respirômetro Max Planck	235
2.2 Lay-out da residência analisada pelo CETEC, destacando o material utilizado na “residência tipo 1” e na “residência tipo 2”	236

LISTA DE SÍMBOLOS

a = Quantidade de N contida em formulações de fertilizantes (kg em 100 kg de produto);

b = Quantidade de P_2O_5 contida em formulações de fertilizantes (kg em 100 kg de produto);

c = Quantidade de K_2O contida em formulações de fertilizantes (kg em 100 kg de produto);

d = distância percorrida no transporte de calcário (km);

C_a = Nível de Cálcio (%);

C_f = Valor calorífico do produto final;

C_p = Valor calorífico das perdas;

C_s = Valor calorífico dos sub-produtos;

DE = Degradabilidade Específica;

E_o = Custo de energia para obter produto bruto;

E_t = Custo de energia para transformação;

GER = Requerimento de Energia Bruta (Gross Energy Requirement);

FDN = Fibra em detergente neutro;

MS = Matéria seca;

n = Número de combustíveis fósseis utilizados;

NDT = Nutrientes digestíveis totais;

NER = Requerimento de Energia Líquida (Net Energy Requirement);

P = Nível de Fósforo (%);

PB = Proteína bruta;

PER = Requerimento de Energia para Processamento (Process Energy Requirement);

pH = Potencial hidrogeniônico;

p_i = Preço nominal do combustível tipo i (reais por kcal);

Qg = Radiação Global;

SIPL = Sistema Intensivo de Produção de Leite;

TE_F = Despesa total, em reais, em combustíveis fósseis;

tep = Tonelada equivalente de petróleo;

VN = Valor nutritivo;

V% = Saturação de bases, %;

x_f = percentual de trabalhadoras adultas;

x_i = Quantidade de combustível, tipo i , comprado e usado nas fazendas (kcal);

x_m = percentual de trabalhadores adultos.

1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi proceder ao levantamento e caracterização do consumo de energia nas atividades relativas à implantação, condução, processos de fenação e armazenamento, assim como ao balanço energético global de duas forrageiras diferentes, sendo uma gramínea, o “coast-cross”, e a outra uma leguminosa, a alfafa, inseridas em um Sistema Intensivo de Produção de Leite, localizado na região de Coronel Pacheco, MG. Para o desenvolvimento do estudo, foram utilizados dados coletados pela Embrapa Gado de Leite, em uma média de sete anos, considerando a produção de um hectare para cada cultura, relacionando o consumo dos diversos insumos envolvidos nos processos produtivos e o emprego de máquinas, equipamentos e instalações necessários à condução tecnificada da atividade. Para o levantamento dos diversos fatores componentes da matriz, foram utilizados coeficientes energéticos apresentados por autores especializados. Para ambas culturas utilizadas para estudo, “coast-cross” e alfafa, a energia direta, relativa aos insumos, teve maior participação que a indireta, sendo os percentuais encontrados de 94,64 e 5,31, respectivamente, para o “coast-cross” e 93,05 e 6,95, respectivamente, para a alfafa. O principal consumidor de energia indireta, para ambas forrageiras, foi o trator, que aciona todos

implementos, seguido pelo equipamento de irrigação. O galpão de feno utilizado em conjunto pelas culturas, apesar do elevado consumo energético despendido em sua construção, possui uma elevada vida útil, com o armazenamento considerado em 24 horas por dia, o que faz com que sua participação ponderada pela Demanda Específica de Energia seja reduzida drasticamente. O processo de fenação do “coast-cross” apresentou maior eficiência energética que o da alfafa, com valores de 4,28 para o primeiro e 3,19 para a segunda. A maioria da energia direta utilizada foi aquela derivada de petróleo, na forma de combustível (óleo diesel), para ambas culturas, sendo que, para o “coast-cross”, houve, ainda, grande consumo de outro derivado de petróleo, o fertilizante, principalmente na forma de nitrogênio (28,89% do consumo total). Na cultura da alfafa foi utilizado adubo orgânico, de cama de frango, o que promoveu uma redução relativa no consumo de energia advinda de fertilizante derivado do petróleo. O fato que mais contribuiu para o maior consumo energético da alfafa, e, conseqüentemente, menor eficiência energética, foi a necessidade de maior número de cortes anuais, assim como maior utilização de implementos para movimentação do solo em profundidade. Contudo, os resultados de eficiência energética das culturas, demonstram que ambas são sustentáveis e eficientes, na conversão de energia.

Palavras chave: *Medicago sativa*, L., *cynodon dactylon*, forragem, fenação, energia na agricultura, energia, balanço de energia, eficiência energética, instalações rurais.

2. SUMMARY

ENERGY INPUTS AND OUTPUTS RELATING TO THE COAST-CROSS AND ALFALFA HAY PRODUCTION IN A INTENSIVE SYSTEM OF MILK PRODUCTION. Botucatu, 2001. 236p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ALESSANDRO TORRES CAMPOS

Adviser: JOSÉ ROBERTO CORRÊA SAGLIETTI

The aim of this work was to carry out a survey and characterization of the energy consumption in the activities related to introduce, development, hay processing and storage, as well as global energy inputs of two different forage, one of them is grass, the coast-cross, and the other is leguminous, alfalfa, inserted in an Intensive System of Milk production, located in the Coronel Pacheco MG-Brasil region. In order to develop the study it was used data collected by Embrapa Gado de Leite, an average of seven years, considering the production of 1 ha of each culture, linking the consumption of various inputs involved in the productive process and the use of machines, equipments and building that are necessary to

conduct the activity in a technique way. To carry on the survey and the various components factors of the matrix, it was used energetic coefficient introduced by specialized researchers. For both cultures used in the study, coast-cross and alfalfa, the direct energy, related to inputs had bigger participation, being the percentages found 94.64 and 5.31 respectively, to the coast-cross, and 93.05 and 6.95, respectively, to the alfalfa. The main consumer of indirect energy, for both forage, was the tractor, which turns on all the implements, followed by an irrigation system. The warehouse hay used together by the cultures, despite the high energetic consumption used in its construction, the warehouse hay has a long useful life, so what concerns to the storage, considered within 24 h per day, what makes its participation slightly ponderous by the specific demand of energy, and this process reduces its participation in a drastic way. The hay process coast-cross presented energetic efficiency as much bigger as the alfalfa, values such as 4.28 to the first one and 3.19 to the second one. Most of the energy used was that one derived from fossil resources, diesel, for both cultures, being that, to the coast-cross, there was, still, a big consumption of other kind of fossil, the fertilizer, mainly in the form of nitrogen (28.89% of total consumption). So what concerns to the alfalfa, it was used organic fertilizer, poultry litter, what led to a relating reduction of energy consumption coming from fertilizer derived from fossil resources. The fact that most contribute for a bigger energetic consumption of alfalfa, and, consequently, little energetic efficiency, was the necessity of bigger annual cuts, as well as a bigger use of machinery in order to remove the soil in depth. However, the results of energetic efficiency on cultures, show that both are efficient and supportable, in the conversion of energy.

Keywords: *Medicago sativa*, L., *cynodon dactylon*, forage, hay production, energy in agriculture, energy, energy inputs and outputs, energy efficiency, rural buildings.

3. INTRODUÇÃO

No Brasil, como em outros países, a pecuária bovina tem como fator limitante da produção, o efeito sazonal das pastagens, provocado pela variação climática. Em uma época do ano, a pastagem é abundante e favorável ao crescimento dos animais e à produção de leite, já em outras, como na estiagem, há falta de forrageiras (Hardoim, 1998), sendo necessário voltar a atenção para seu aproveitamento nos períodos em que há excesso desse material (Ferrari Júnior et al., 1993). Se estocado, na forma de feno ou silagem, o excedente pode ser utilizado durante o período de escassez, sendo os processos facilitados por máquinas modernas que propiciam a confecção de feno em grandes quantidades (Andriguetto et al., 1988).

A alfafa (*Medicago sativa*, L.) é uma forrageira largamente difundida, principalmente no hemisfério norte, e, por ser um alimento de alto valor nutritivo, é amplamente utilizada na alimentação de animais com elevado requerimento nutricional (Carvalho & Vilela, 1994). Podendo ser cultivada praticamente em qualquer lugar, desde que

o terreno não seja alagadiço e o lençol freático não seja superficial, e, sendo os demais pré-requisitos passíveis de serem corrigidos (Gómez, 1998), esta leguminosa se destaca como componente alimentício de menor preço entre os disponíveis na Argentina (Comerón, 1999).

Outro volumoso, considerado de alto valor nutritivo, o “coast-cross” (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) é um dos mais utilizados em Cuba e no sudeste dos Estados Unidos, nas formas de pastejo e feno. Herrera (1983) informa que o “coast-cross” é uma gramínea que se adaptou às condições de clima tropical e sub-tropical, apresentando como características forrageiras desejáveis, na produção de feno, elevada quantidade de matéria seca por área e alto valor nutritivo. No Brasil, este capim tem sido utilizado em sistemas de produção de leite, a pasto, bem como na forma de feno, como parte da dieta em sistemas de produção de leite em confinamento (Vilela & Alvim, 1996).

Embora a fenação se constitua num processo importante para o desenvolvimento da pecuária nacional, as forrageiras existentes, de uma forma geral, não atendem completamente as necessidades e o equilíbrio alimentar do rebanho brasileiro, sendo importante uma suplementação com alternativas de maior valor nutritivo. A falta de tradição concorre para a resistência do pecuarista em adotar o feno como reserva forrageira de alta qualidade, situação que, entretanto, tende a mudar, à medida em que aumenta o grau de aperfeiçoamento técnico dos agricultores. Nesse âmbito, a fenação ocupa papel importante no manejo das pastagens, permitindo o aproveitamento dos excedentes de forragem ocorridos em períodos de crescimento acelerado de forrageiras, visto que alterações da carga animal são geralmente difíceis de serem realizadas (Evangelista & Rocha, 1995).

A energia desempenha papel vital nos sistemas de produção agrícola pois seu preço altera todas as outras formas de custos da cadeia produtiva (Fluck, 1979).

Energia e produção de alimentos estão de tal forma inter-relacionadas, que qualquer impacto nos custos do petróleo transmitem-se e ampliam-se ao longo da cadeia alimentar, desde a compra da semente, pelo produtor, até os preços de mercado atacadista e varejista, às portas do consumidor. Com tão ampla influência no sistema produtivo agrícola, torna-se importante a determinação criteriosa de metas e prioridades, dos pontos em que a pesquisa agropecuária pode e deve dar a sua contribuição (Rivaldo, 1988).

Dos debates estabelecidos nos últimos anos sobre a questão energética no país, pouca importância se tem dado ao balanço energético dos sistemas produtivos. Considerações maiores têm sido feitas na busca por novas fontes, a partir de culturas com alto potencial de produção calórica. O conhecimento da relação produção/consumo de energia, tanto quanto a análise econômica, é instrumental básico para elaboração de políticas que definam a quantidade de calorias e proteínas no consumo interno, exportação, ou na transformação em combustíveis, permitindo prever o nível de dependência do país nessa área (Carmo et al., 1988; Carmo & Comitre, 1991).

O balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada, além da quantidade necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto. Nesse processo quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. A determinação de balanços de energia e de eficiência energética são importantes instrumentos no monitoramento da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis (Hetz apud Siqueira et al., 1999; Bueno et al., 2000).

Vários pesquisadores têm despendido esforços no sentido de quantificar a energia embutida e obtida em várias culturas, procurando determinar os itens de maior consumo. Pimentel et al. (1982) depreenderam que a relação kcal produzida/kcal consumida na produção de milho nos Estados Unidos decresceu de 3,7 em 1945 para 2,8 em 1970. Apesar do rendimento médio do milho ter aumentado aproximadamente 2,4 vezes, a média dos insumos energéticos utilizados aumentou de 0,9 para 2,9 milhões de kcal (3,1 vezes). Pimentel (1980) sugere que os dados fornecidos por vários autores são muito valiosos aos agricultores para que eles possam racionalizar o uso de energia e outros recursos necessários para uma bem sucedida produção agropecuária. A avaliação da energia produzida nos processos agrícolas, seja para cobrir os requisitos nutricionais da população, seja como combustível, para substituir os derivados de petróleo, fornece subsídios que permitem verificar se o setor agrícola está, ou não, cumprindo esses objetivos estratégicos, ou de que forma poderia ser conduzido a fazê-lo (Castanho Filho & Chabaribery, 1983). A identificação de técnicas, métodos ou processos de produção mais poupadores de energia e mais adaptados para os diversos contextos, depende de novas pesquisas (Beber, 1989). A importância da análise do balanço energético é fornecer os parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas (Comitre, 1993).

O presente trabalho teve como objetivo a determinação dos balanços energéticos relativos à produção de feno a partir dos capins “coast-cross” e alfafa, em um Sistema Intensivo de Produção de Leite.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. A Produção de Leite no Brasil

A cadeia produtiva do leite no Brasil, desde o início da década de 90, está em plena revolução num contexto de grandes transformações em termos de agronegócios. Essa mudança estrutural já ocorreu ou vem ocorrendo em graus variados nos principais países produtores e exportadores de leite e derivados, mas não de forma tão rápida e atropelada como vem ocorrendo no Brasil. A questão da competitividade passou a ser o tema central das discussões sobre estratégias empresariais e políticas governamentais, o que compõe um quadro muito diferente do que marcou o setor entre 1945 e 1990, quando o controle estatal de preços ditou a falta de investimentos na produção, a dependência de importações e a predominância de um rebanho não especializado. As mudanças na cadeia láctea acontecem dentro do processo de reorganização da economia mundial, caracterizada pela redução das barreiras alfandegárias ao comércio e formação de blocos econômicos. A instituição do

Mercosul fez do Brasil o maior consumidor e importador de lácteos do acordo. Este volume se constitui um entrave para o desenvolvimento do setor (Bortoleto & Chabaribery, 1999).

Bezerra (1999) afiança que, ao contrário do que se costuma afirmar, a principal causa da situação em que se encontra o produtor rural não foi tanto a insuficiência de investimentos mas sim a falta de conhecimentos adequados para que ele pudesse tornar-se mais independente dos recursos externos e mais eficiente na utilização dos recursos existentes na sua comunidade e sobretudo na sua propriedade.

Para Martins (1999), no setor de produção de leite nacional, a abertura econômica tem levado a duas situações: uma parcela de produtores tem conseguido manter-se competitiva e está investindo no aumento de produção e produtividade, a fim de reduzir os custos unitários, e proporcionar ganhos em escala; outra parcela tem convivido com graves dificuldades de absorver a nova realidade de preços internacionais.

A produção de forrageiras constitui uma das principais etapas na exploração racional de um sistema de produção de leite (Cruz Filho et al., 1997). Os autores consideram que não adianta manter em uma propriedade ótimo rebanho leiteiro, se o produtor não tiver disponibilidade de forragens em quantidade e qualidade para transformar a atividade em algo rentável. Completam ainda que, a existência de quantidades suficientes de forragens possibilita ao animal externar tanto o seu potencial máximo de produção, influenciando diretamente a produção de leite, como seu potencial reprodutivo. De acordo com Costa & Resende (1999), a produção do feno pode constituir uma estratégia adicional para assegurar uma oferta estável de forragem para os animais.

Nos últimos quarenta anos a tendência da grande maioria dos produtores é a manutenção de seus animais em algum tipo de confinamento, tais como

estabulação livre ou outro tipo de estruturas sombreadas (Head, 1996). Nesses sistemas os animais permanecem sobre piso de concreto durante toda sua vida produtiva, tornando ainda mais flagrante a necessidade de fornecimento de alimento a cocho, em quantidade e qualidade suficientes para manter níveis satisfatórios de produtividade.

O conceito de pecuária leiteira especializada, baseada no emprego de rebanhos de alto potencial genético implica na adoção de tecnologias de produção de forragens capazes de sustentar níveis elevados de produtividade. Nestes sistemas intensivos o manejo nutricional cresce de importância, principalmente quando se consideram que as despesas com alimentação do rebanho oneram sensivelmente os custos de produção do leite. Entretanto, esse custo poderá ser reduzido se os sistemas produzirem alimentos volumosos de alto valor nutritivo. Em tal contexto deve-se buscar melhorias na eficiência de produção de forragens conservadas (silagem, silagem pré-secada e feno) de forma a manter estável a oferta de alimentação ao longo do ano (Costa & Carvalho, 1996).

4.2. Eficiência na Produção

Um ruminante requer grandes quantidades de alimento de qualidade por causa de sua ineficiente conversão de forragem em carne ou leite. É compensador ter em mente que alta disponibilidade de forragem permite alto desempenho por animal, mas limita a produção por unidade de área, pelo não uso de parte da forragem produzida, a qual acaba sendo perdida (Maraschin, 1996).

Vilela et al., apud Matos (1999), alegam que a utilização adequada de pastagens por rebanhos leiteiros pode reduzir os custos de produção diminuindo-se os dispêndios com alimentos concentrados, com combustíveis e com mão-de-obra, além dos investimentos com instalações, especialmente aquelas destinadas ao abrigo de animais e maquinária. De acordo com estes autores, apesar da receita proveniente do leite produzido a pasto ser menor do que a do sistema em confinamento, a margem líquida tem sido superior.

Antagonicamente, Matos (1999) afirma que *“dentro do ambiente econômico de busca de eficiência para competir no mercado, o produtor de leite deverá substituir a equação “produção máxima = lucro máximo” por outra expressa da forma “nível de produção ótimo = lucro máximo”*. Pode-se também buscar lucros máximos em sistemas de confinamento com nível de produção ótimo, principalmente em regiões próximas a centros consumidores ou de grande estacionalidade na produção de alimentos nos períodos de entressafra.

Muitas pastagens encontram-se em áreas montanhosas sendo que, principalmente nas épocas mais quentes do ano, os animais gastam mais energia na busca de alimento no pasto do que aquela contida na forragem consumida. No inverno, com as baixas taxas de crescimento dessas forrageiras, a situação se repete, pela baixa disponibilidade de pasto (Matos, 1999).

Andrade (1985) informa ainda que a eficiência tanto animal como do uso das forragens varia de acordo com o tipo de utilização destas, sendo maior quando esta for cortada para ser fornecida como verde picado ou como forragem desidratada, pois, no caso do pastejo, há perda de forragem pelo pisoteio, pelo fato de os animais sujarem-na com fezes e urina e ainda por selecionarem as mais tenras para consumo. O mesmo completa ainda que, no

caso dos trópicos e subtropicais, o resto que foi rejeitado pode chegar até a 40 a 50% da produção de forragem de cada ano.

Em contrapartida fatores tais como adversidade climática e localização (proximidade de grandes centros, com elevado valor da terra) tornam obrigatório a utilização de sistemas intensivos de produção de leite, utilizando confinamento. Novaes (1986) expõe que a exploração de carne e leite, em regime de confinamento, é prática comum e necessária em muitos países (Israel, E.U.A., Japão, etc.), representando parcela significativa na produção animal. Área limitada e altos custos das terras próximas às áreas metropolitanas, progresso genético dos rebanhos, potencial limitado e estacionalidade das pastagens para sustentar altas produções, pressões econômicas e sociais para aumento de produtividade do solo, culturas e animais, principalmente, em condições adversas de clima, foram e ainda são algumas das razões para o uso de confinamento nestes países. Apesar da tendência de crescimento do número de animais criados em Sistemas Intensivos, pode-se dizer que no Brasil essa forma exploratória ainda tem pouco significado em relação à produção total, a qual é dependente do desenvolvimento de pastagens na época da estação chuvosa.

4.3. Feno/Fenação

Além do consumo no campo, Pupo (1977) considera que é importante conservar o excesso de forragem verde produzida nas águas, para ser fornecida na seca, onde

há grande escassez de forragens, através da utilização de silagens ou de fenos. Jardim (1976) completa que este procedimento promove um suprimento mais regular de forragem durante todo o ano, possibilitando que o gado deixe de se alimentar da forragem madura que se transforma em palha das pastagens e ingerindo um alimento muito mais palatável e nutritivo, como o feno ou a silagem, o que permite economia de concentrados. Para ilustrar esta afirmação, a Figura 1 mostra a situação da produção de forragens nos diferentes meses do ano, comparadas à necessidade do animal.

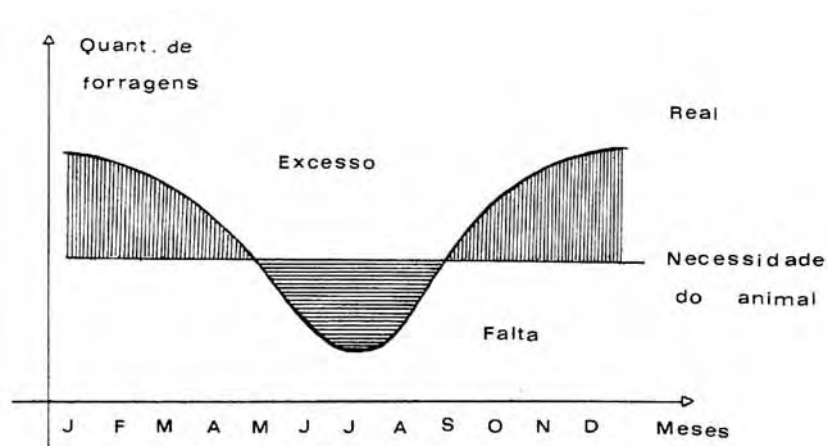


Figura 1. Variação da produção de forragens durante os meses do ano (Fonte: Pupo, 1977).

No Brasil, o processo de fenação ainda é pouco utilizado e muitas vezes mal aplicado em seus princípios, fornecendo um alimento de baixo valor nutritivo e, por isso mesmo, desacreditado. A fenação no país teve bom impulso com a criação de eqüinos e passou a ser considerada uma forma de agricultura única. Hoje, dezenas de propriedades direcionam sua atividade exclusivamente para produção e comercialização do feno, após deixarem de lado a criação animal (Boin, 1996; Haddad & Castro, 2000). Um bom exemplo são os produtores do Norte Paranaense, na região de Bandeirantes, onde centenas de pequenos

agricultores se dedicam ao plantio, quase exclusivo, de alfafa, há muitos anos, para produzir feno que é vendido a criadores de cavalos. Não obstante aquela região ter uma das melhores terras do país, e nem por isso a produção do feno de alfafa vem sendo substituída pela soja ou outra cultura de maior importância econômica (Produção, 1987). Nenhuma cultura na região produz de oito a dez safras por ano, lembram os autores, e completam ainda que ter uma entrada constante de dinheiro é muito interessante para o produtor rural, seja qual for seu porte.

Na fenação o processo de conservação consiste na desidratação da forragem verde com 65 a 85% de umidade para 10 a 20%, para que o produto possa ser armazenado por longo tempo, sem perigo de fermentação, emboloramento ou mesmo combustão espontânea (Andriguetto et al., 1988, Costa & Resende, 1999; Evangelista & Rocha, 1995). A desidratação é mais acentuada logo após o corte, diminuindo à medida que atinge valores abaixo de 65% de umidade, até atingir o ponto ideal. A rapidez com que o feno é obtido, concorre para menores perdas de princípios nutritivos nesta fase (Evangelista & Rocha, 1995). A planta é cortada e desidratada pelo calor do sol, pelo vento, ou outro processo de secagem, podendo desta forma ser armazenada como feno, sem a ocorrência de grandes perdas. Sendo o feno produto de uma forrageira parcialmente desidratada, deve conter quase a mesma composição inicial em princípios nutritivos, considerando estes no mesmo teor de matéria seca (Andriguetto et al., 1988). Para bem suplementar a pastagem, a forragem dessecada precisa ser palatável e nutritiva, qualidades estas que distinguem bem o feno da palha (Jardim, 1976).

A taxa de secagem é favorecida pela presença de maior proporção de folhas e de caules finos. As folhas perdem água mais rapidamente que o caule ou partes

grossas da planta, atingindo o ponto de feno primeiro. A partir deste ponto, é recomendável que a forragem seja mantida enleirada, para se obter uma secagem uniforme. A desidratação da forragem se processa até que a umidade do feno entre em equilíbrio com a umidade relativa do ar (Sampaio et al., 1997).

Dentre as principais vantagens da utilização do feno pode-se citar a facilidade de armazenagem e a possibilidade de aproveitamento de pastagens e outras culturas, inclusive sobras pós-colheita de trigo, arroz, soja, etc., aumento de capacidade de suporte da propriedade, e poder ser fornecido com outros alimentos (Gómez, 1998, EMATER, s.d.). Complementando, Batistton (1988) afirma ser a prática da fenação uma técnica fácil, que pode ser praticada pelo pequeno criador, sendo de fácil armazenamento e de fácil distribuição; quando mecanizado utiliza tratores convencionais de pequena e média potência (Honda & Honda, 1990).

Considerando que o feno é um alimento que deve ter boa qualidade, principalmente quando fornecido para animais jovens e vacas em produção, é importante que apresente algumas características, que servem para avaliar a qualidade do produto (Andriquetto et al., 1988):

- Relação folha/caule - O feno de boa qualidade, deve apresentar maior quantidade de folhas em relação ao caule, pois a folha e o caule não apresentam a mesma composição química. As folhas são a parte mais rica em nutrientes, conseqüentemente a parte mais nobre do vegetal. Quanto maior a proporção da folha com relação ao caule, melhor será a qualidade do feno. A alfafa, por exemplo, contém nas folhas 24% de proteína, 16,4% de fibra e 10,7% de cinzas, enquanto que o caule apresenta os valores de 10,7%, 44,4% e 6,3%,

respectivamente, para os mesmos nutrientes. Além das folhas possuírem maior porcentagem de proteína, esta é mais digestível do que aquela do caule;

- Os caules, quando são finos e macios, indicam um feno de boa qualidade;
- Cor verde – A cor verde indica menos perdas, principalmente de caroteno;
- Estágio vegetativo – O feno deve ter sido elaborado de uma forrageira em estágio vegetativo ideal, quando a mesma está com os teores mais elevados de nutrientes nobres;
- Não deve ter substâncias estranhas como ervas daninhas, plantas tóxicas, terra ou outros componentes, a não ser a forrageira ou forrageiras ceifadas;
- Não deve ter bolores;
- O cheiro deve ser agradável;
- Deve ter boa aceitação pelos animais;
- Para produzir feno de boa qualidade deve-se observar ainda os requisitos:
 - Espécie forrageira fenada
 - Estádio vegetativo da forrageira na hora do corte;
 - Clima e solo;
 - Tecnologia empregada;
 - Cuidados observados durante a secagem (não deixar aquecer demasiadamente, não tomar chuva, evitando o desprendimento de folhas);
 - Cuidados no armazenamento.

Ferrari Júnior et al. (1993) consideram que as forrageiras sub-tropicais e tropicais podem produzir fenos de qualidade média a boa (8 a 10% de PB e 55 a 60% de

digestibilidade) em condições climáticas adequadas e bom manejo do processo de fenação. Entretanto, alegam os autores, que a maioria dos fenos produzidos no Brasil Central apresentam qualidade inferior (6 a 7% de PB e 45 a 50% de digestibilidade), devido a pouca difusão das técnicas mais adequadas para sua produção (Boin, 1985; Ferrari Júnior et al., 1993; Gomide, 1980).

A composição química do feno depende do solo, nível de adubação, clima, época de corte da forrageira (Matos et al., 1997). Quando bem conduzidas as culturas, seus fenos podem apresentar a seguinte composição química (Quadro 1):

Quadro 1. Níveis médios de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), nutrientes digestíveis totais (NDT), Cálcio (Ca) e Fósforo (P) no feno de algumas forrageiras

Fenos	Porcentagem na Matéria Seca (MS)					
	MS	PB	FDN	NDT	Ca	P
“Coast-Cross”	91	15	62	54	0,47	0,17
Guandu	85	15	-	56	0,47	0,27
Elefante	89	9	-	45	0,51	0,32
Alfafa	90	20	42	60	1,10	0,27

Fonte: Matos et al. (1997).

Dentre os fatores que influem na qualidade e valor nutritivo dos fenos, pode-se citar: espécie forrageira, idade da planta, rapidez na desidratação, processo adotado na fenação, umidade na ocasião do armazenamento, forma de armazenamento, fertilidade do solo para produção da forrageira e condições climáticas na ocasião da fenação (Evangelista & Rocha, 1995; Gómez, 1998; Morrison, 1966; Sampaio et al., 1997).

Jardim (1976) considera que a fase de maturação da planta no momento do corte tem grande influência sobre o feno quanto ao rendimento por unidade de área, valor nutritivo, palatabilidade, digestibilidade, proporção de folhas, coloração e teores de

proteína, fibra e elementos minerais. Para o autor a planta mais nova dá feno mais rico em proteína e minerais, porém mais pobre em fibra, sendo mais palatável e digestível, e, o rendimento é tanto menor e a qualidade melhor, quanto mais nova é a planta.

Para se produzir feno, basicamente, três atividades devem ser programadas (Sampaio et al., 1997):

- Produção de forragem;
- Fenação propriamente dita, pelos processos mecanizado e manual (artesanal), em ambos casos envolvendo três etapas:
 - Corte da planta forrageira;
 - Secagem ou desidratação das plantas cortadas;
 - Enfardamento do feno;
- Armazenamento do feno.

Durante o processo de fenação, algumas perdas podem ocorrer, tais como perda de folhas e outras partes mais delicadas pelo desprendimento; perda pela queima ou pela fermentação e perdas de nutrientes solúveis pela lixiviação, no caso de chuvas (Morrison, 1966).

O campo de feno, local onde se mantém a forrageira destinada, principalmente, à elaboração do feno, deve ser um terreno de boa topografia (terreno com relevo plano ou ligeiramente inclinado), fácil acesso, bem drenado, livre de pedras e tocos que possam impossibilitar a fenação mecânica. No caso de produção manual ou artesanal de feno, as operações de viragem e recolhimento são facilitadas quando se usa terrenos inclinados (Costa & Carvalho, 1996 e Evangelista & Rocha, 1995).

Um rigoroso controle das plantas invasoras que poderiam prejudicar o estabelecimento das forrageiras e contaminar o feno com material indesejável, deve ser exercido, mediante o uso de herbicidas, roçada ou arranquio, até a completa cobertura do solo (Costa & Carvalho, 1996).

4.3.1. Desidratação (Secagem) da Forragem a Ser Fenada

O teor de umidade ao final da desidratação é responsável pelo êxito ou fracasso da fenação e, em alguns casos, quando em excesso, ocorre também grande elevação da temperatura, que pode chegar até à combustão (Evangelista & Rocha, 1995).

Segundo Morrison (1966), o feno com elevado teor de umidade, ao ser conservado, é sujeito à fermentação pronunciada ou ao aquecimento, sendo que seu valor é diminuído devido ao mofo e às perdas de nutrientes que se verificam nesses casos. Como exemplo, Evangelista & Rocha (1995) citam que o aquecimento pode reduzir a digestibilidade da proteína, diminuir de 5 a 15% o valor energético e, em casos extremos, o feno apresenta coloração marrom e perda de até 70% do teor protéico.

Para diminuir o tempo de desidratação a campo e, conseqüentemente, as perdas nesta fase da fenação, Hlodversson & Kaspersson (1986) sugerem que pode-se recolher e enfardar o feno com umidade de 20 a 30 por cento. Porém, os autores alertam que esta prática pode elevar as perdas durante o armazenamento devido, principalmente, a ação de microorganismos, em especial fungos. Evangelista & Rocha (1995) complementam que o feno que não desidratou o suficiente, tem o risco de intoxicar os animais que o consomem, devido à

ingestão de fungos patogênicos, tais como *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, actinomicetos e termoactinomicetos que causam transtornos digestivos e aborto nos animais.

Cóser et al. (1997) informam que a produção do feno pode ser conduzida a campo, sendo esta operação condicionada à ocorrência de condições climáticas favoráveis a esta prática. Em geral as perdas são elevadas e o produto é de pior qualidade, principalmente devido à ocorrência de chuvas e à queda de folhas (a porção mais nutritiva da planta) que se acentua nos estádios avançados da secagem. O uso de galpões para completar a secagem da forragem emurhecida diminui os riscos de perdas por mudanças climáticas, e resulta em feno de melhor qualidade. Estrados ou cavaletes são indicados para depositar a forrageira, facilitando a circulação de ar. Para prevenir o aquecimento e o crescimento de mofos, deve-se efetuar o revolvimento da forragem periodicamente, a intervalos maiores à medida que se aproxima o ponto de feno. O uso de secadores tipo barcaça (ou secadores de camada fixa), com ventilação forçada, utilizando ar à temperatura ambiente ou aquecido, constitui alternativa para regiões ou para períodos do ano, quando chuvas intensas e prolongadas dificultam ou impedem a secagem a campo. Neste caso, o investimento em instalações e mão de obra e energia podem ser compensados pela excelente qualidade do feno obtido, pela redução das perdas e pelo bom valor de mercado do feno.

Existem ainda, segundo informa Tonus (1999), secadores de alta tecnologia, indicados para grandes produtores ou cooperativas.

Patil et al., (1993) estudaram métodos de aceleração das taxas de secagem de alfafa, através de tratamentos mecânicos. Concluíram que as folhas secam duas

vezes mais rápido do que a forragem com os caules esmagados e quatro vezes mais rápido do que aquelas forragens normais, sem esmagamento do caule.

Patil & Sokhansanj apud Sokhansanj & Raghavan (1996), em estudo de secagem de alfafa em altas temperaturas (40°C ou mais), no que concerne a perdas nutricionais e propriedades físicas, como cor, densidade volumétrica e de partículas, concluíram ser o intervalo de 150 a 200°C ótimo para secagem rápida, com mínimo de perdas na qualidade física da alfafa.

A curva de secagem das plantas forrageiras apresenta um formato tipicamente exponencial, de tal maneira que cada unidade adicional de perda de água requer maior tempo. Embora o padrão de perda de água, em condições ambientais constantes seja uniforme, o período de secagem pode ser convenientemente dividido em duas ou três fases, as quais diferem na duração, na taxa de perda de água e na resistência à desidratação. A etapa inicial da secagem é rápida, ocorrendo quando os estômatos estão abertos. Desta forma, a resistência à perda de água é mínima, sendo máximo o déficit de pressão de vapor entre a planta e o ambiente. Embora os estômatos se fechem, em aproximadamente uma hora após o corte, ou quando as plantas possuem de 65 a 70% de teor de umidade, de 20 a 30% do total de água é perdido nesta primeira fase de secagem. Numa segunda fase de secagem, após o fechamento dos estômatos, a resistência cuticular e a da camada limítrofe do tecido vegetal com o ambiente tornam-se as principais barreiras à perda de água. Assim, após o fechamento dos estômatos, 70 a 80% da água deverá ser perdida via cutícula, cuja função é prevenir a perda de compostos da planta por lixiviação, de proteção contra abrasão, e dos efeitos da geada e da radiação. A perda de água na segunda fase pode ainda ser rápida, se esforços forem feitos para reduzir a compactação da leira com viragens e revolvimento. Na fase final da

secagem, por causa da plasmólise, a membrana celular perde sua permeabilidade seletiva, ocorrendo rápida desidratação. Esta fase final da secagem se inicia quando o conteúdo de umidade da planta atinge cerca de 45%, sendo menos influenciada pelo manejo e mais sensível às condições climáticas do que as anteriores (Reis, 1996).

4.3.2. Armazenamento do Feno

O feno pode ser armazenado solto (em galpões ou paióis) ou em medas (Gómez, 1998). O armazenamento do feno em medas, consiste em uma técnica antiga, onde se armazenava o feno amontoado, no próprio campo, depois de preparado para não se aquecer ou mofar (Morrison, 1966). Segundo o último autor, o feno, na meda, conserva bem a cor e o caroteno, mas exige muito trabalho para amontoá-lo, sobretudo quando há grande quantidade pra armazenar; completa ainda que, nos locais de clima úmido, há o risco de se perder muito feno pelo efeito das chuvas.

Na forma de fardos, o armazenamento pode ser feito em galpões especiais ou a campo, cobertos com lona, sapé, etc... Segundo Evangelista & Rocha (1995), o material enfardado ocupa menor espaço, tem melhor conservação, facilita o transporte e possibilita o controle da disponibilidade de feno. Contudo, Haddad & Castro (2000) suscitam que os fardos pequenos e médios devem ser armazenados “como remédios”, ou seja, protegidos da luz solar direta, em local seco e muito bem ventilado. Os melhores galpões seriam aqueles construídos com pé-direito alto, com paredes contendo cinturões de tijolos furados e apresentando clarabóias basculantes. De modo geral, 1m³ abriga até 120 kg de feno de *Cynodon* (fardo padrão de 14 kg), sobre estrado de madeira. Estes autores não recomendam

a armazenagem a campo, coberto com lona ou similar, a não ser que o período considerado seja pequeno (máximo de 3 semanas).

Jardim (1976) alerta que, quando armazenado com excesso de umidade, o feno entra em fermentação, produz calor e pode chegar à combustão espontânea, o que requer atenção, pelo menos, durante os dois primeiros meses.

4.3.3. Espécies para Fenação

Utilizar as recentes técnicas disponíveis para a produção de feno é condição imprescindível para se conseguir um produto de boa qualidade, mas não é garantia de um ótimo alimento. A escolha do tipo de vegetal a ser utilizado também é fundamental e tem influência direta no resultado final. As espécies escolhidas devem apresentar algumas características que as habilitem: potencial produtivo, facilidade para o corte e rápida desidratação (Tedesco, 1997).

O valor nutritivo das forrageiras varia com a espécie botânica, a idade da planta, a forma em que é ministrada. Em geral, as leguminosas são mais ricas em proteína e cálcio que as gramíneas; daí o valor dos fenos de leguminosas. À medida em que a planta se desenvolve, ocorre a queda de seu valor nutritivo, representada pela diminuição dos teores de proteína e fósforo, assim como de sua digestibilidade e consumo. Nesse particular, ainda se registra a superioridade das leguminosas pela queda menos acentuada de seu valor nutritivo com o avanço em idade (Gomide, 1980).

A qualidade do feno pode ser apreciada visualmente, examinando-se o estágio de maturação, a quantidade de folhas, a presença de material estranho (ervas, terra, etc) e suas condições gerais em termos de cor, odor e presença de mofo. Entretanto, Sampaio et al. (1997) indicam que a avaliação química deve ser efetuada, na medida do possível, buscando os valores sugeridos no Quadro 2, para leguminosas ou gramíneas.

O teor de proteína bruta (PB) é uma boa medida, visando ao balanceamento da dieta, indicando a qualidade do feno; o teor de matéria seca é útil para prever ou corrigir problemas de armazenamento; o teor de fibra em detergente neutro (FDN) dá indicação do consumo de feno (Costa & Carvalho, 1996; Sampaio et al., 1997).

Quadro 2. Interpretação da análise da amostra de fenos, segundo sugestão da EMBRAPA Gado de Leite (Sampaio et al., 1997)

Componentes	Intervalos Esperados (Em % na Matéria Seca)	
	Gramínea	Leguminosa
Umidade (%)	20 - 15	18 - 15
Proteína bruta	8 - 16	15 - 24
Fibra em detergente neutro	78 - 66	54 - 38
Fibra em detergente ácido	43 - 30	44 - 28
Cinzas	9 - 6,1	10,2 - 8,9
Cálcio	0,26 - 0,4	1,25 - 2,3
Fósforo	0,18 - 0,27	0,20 - 0,35
Magnésio	0,13 - 1,21	0,30 - 0,50
Potássio	1,3 - 1,2	1,7 - 2,25
Lignina	7 - 4	-
NDT (Nutrientes Digestíveis Totais) estimado %	43 - 61	54 - 76

A título de referencial, a EMBRAPA Gado de Leite adota a classificação de feno em três tipos (A, B, C) em função do conteúdo de PB e FDN (Quadro 3).

Quadro 3. Classificação de fenos proposta pela EMBRAPA Gado de Leite (Sampaio et al., 1997)

Forageira	Tipo	Teor de Umidade	PB (%MS)	FDN (%MS)
Gramínea	A	15 – 10	> 13	< 65
	B	18 – 15	9 – 13	65 – 69
	C	18 – 15	< 9	> 69
Leguminosa	A	18 – 15	> 20	< 41
	B	18 – 15	16 – 20	41 – 46
	C	18 – 15	< 16	> 46

Costa & Carvalho (1996) ressaltam que o feno, seja de gramínea ou de leguminosa, é um alimento volumoso de alto valor nutritivo, quando elaborado de forma adequada, sendo que a opção pela sua produção e uso deve ser decidida após definidas algumas questões básicas: necessidade de feno em termos de quantidade e qualidade, produção e manejo da forrageira a ser fenada e o sistema de fenação a ser adotado, levando-se em consideração a disponibilidade de máquinas, equipamentos e de mão-de-obra.

A alfafa é uma das forrageiras mais difundidas em países de clima temperado e vem sendo introduzida com sucesso em ambientes tropicais (Alvim, 1999). Chamada por alguns autores de “rainha das forrageiras” (Tedesco, 1997; Produção, 1987), ela possui alto valor nutritivo, sendo utilizada para alimentação de animais de alto requerimento nutricional e que apresentem alto potencial de produção de leite. Esta leguminosa produz elevados rendimentos de forragem de alta qualidade sob cortes. Até mesmo se utilizada sob pastejo, como alimento exclusivo de vacas leiteiras, pode permitir produções de leite da ordem de 20 kg.vaca⁻¹dia⁻¹; ou mais (Cóser et al. 1997). Em pesquisas conduzidas na Região Sudeste obtiveram-se produções médias de 54 kg de leite.ha⁻¹dia⁻¹ utilizando-se vacas puras holandesas recebendo, como única fonte de alimento, pastagens de alfafa em cultivo exclusivo (Alvim, 1999).

A alfafa pode ser utilizada sob várias formas, como: sob pastejo, verde picado fornecido no cocho, silagem e feno, conseguindo-se excelentes resultados em termos de produção de leite ou carne (Botrel & Alvim, 1994). No entanto, tanto para a venda como para consumo na própria fazenda, a fenação de alfafa é muito importante para conservar seu valor nutritivo, com máximo aproveitamento da cultura nas épocas em que seu desenvolvimento não é tão vigoroso (Tonus, 1999). Para a autora o preço obtido pelo produto vendido também é atraente. No Paraná, os produtores vendem o quilo do feno a R\$ 0,30, e chega a ser repassado ao consumidor a R\$ 0,40 a R\$ 0,45 por kg. Completa ainda que o custo adicional gerado por transporte, carga, ICMS, entre outros, na compra do alimento é outro incentivo à produção na propriedade, principalmente porque a alfafa, por seu volume, tem transporte mais caro que o milho ou soja.

As maiores produtividades da alfafa são obtidas em solos férteis, profundos, pH em torno de 6,5, que tenham boa drenagem e em regiões onde as temperaturas máxima e mínima sejam 35 e 10°C, respectivamente, durante longos períodos (Cihacek, 1994; Cóser et al., 1997 e Cruz Filho et al., 1997). Em geral, com temperaturas favoráveis, os limites de produção desta forragem são estabelecidos pela disponibilidade de água (Hijano, 1994). De acordo com este autor, a alfafa pode ser cultivada em climas úmidos, com precipitação suficiente para manter um crescimento contínuo; em climas semi-áridos, onde as precipitações permitem a sobrevivência do cultivo mas restringem sua produção à estação de crescimento e em climas áridos, onde a água é fornecida por irrigação. Deve-se dar preferência àquelas áreas cujas declividades variem de 3 a 10%, visando mecanização da cultura. Na sua implantação, bem como durante sua utilização, deve ser eliminada ou bastante reduzida a presença de plantas invasoras no alfafal. De acordo com Cruz Filho et al., (1997), no Brasil, praticamente

só a cultivar Crioula encontra-se disponível no mercado; no entanto Alvim (1999) informa que, recentemente, a cultivar Flórida 707 tem mostrado boa adaptação às condições tropicais. Segundo o mesmo, alfafa destaca-se não só pela produtividade, mas, principalmente, pela alta qualidade e palatabilidade, porém, apesar de seu alto potencial para a produção de leite, o sucesso na sua utilização depende de uma série de fatores, que envolvem desde a escolha de uma cultivar adaptada às condições de solo e clima da região até a adoção de práticas de manejo que garantam seu estabelecimento e persistência.

Com o constante aumento do item proteína nos custos totais de produção de leite, Bolland (1994) sugere que a alfafa torna-se cada vez mais importante para se obter um suprimento adequado e econômico de nutrientes para as vacas leiteiras.

Apesar de todas características favoráveis apresentadas pela alfafa como forrageira, a área cultivada no país pode ser considerada muito pequena. Tonus (1999) relata que, enquanto os Estados Unidos e Argentina possuem áreas ocupadas com a cultura de 9,58 e 8 milhões de hectares, respectivamente, no Brasil a área ocupada com alfafa é de apenas 4 mil hectares.

Paim (1994) relata que são várias as dificuldades para a expansão da alfafa no Brasil, desde o desconhecimento da cultura, passando pelos aspectos de fertilidade do solo, manejo, irrigação em áreas secas, produção de sementes, até a necessidade de seleção de material mais adaptado e em equilíbrio com as principais doenças e pragas, que acompanham a alfafa em todo mundo. O autor afirma que exceção feita à Região Sul, as leguminosas forrageiras são pouco usadas em função da filosofia de buscar material para a condição ambiente.

De maneira geral, as leguminosas são mais nutritivas do que as gramíneas, e mesmo as gramíneas de clima temperado, apresentam maior qualidade, comparadas com as de clima tropical (Reis, 1996). Entretanto Evangelista & Lima (2000) informam que, atualmente, tem aumentado o plantio de forrageiras que têm as hastes finas e alta relação folha:caule, visando à produção de feno. Entre as espécies mais utilizadas, destacam-se a estrela africana, o “coast-cross” e, recentemente, várias cultivares do tifton, espécies estas pertencentes ao gênero *Cynodon*. Complementando, Haddad & Castro (2000) informam que praticamente todas as forragens do gênero *Cynodon* se adaptam ao processo de fenação. Para eles, algumas como o próprio “coast-cross”, o florakirk, tifton 78 (bermuda grasses), são consagradas, justamente por apresentarem talos bastante finos, reduzindo o diferencial de desidratação, entre folhas e caules, o que proporciona um feno de qualidade em tempo curto de secagem. Outras espécies como a florona, florico, porto rico, tifton 68 e demais “estrelas” possuem talos mais grossos comparativamente às bermudas, porém, não chegando a inviabilizar a produção de feno. O tifton 85 ocupa posição intermediária aos dois grupos citados.

Em outros países, o “coast-cross” é reconhecido pela sua importância forrageira no arraçoamento de vacas de alta produção de leite, sendo, por isso, muito usado em regiões tropicais, onde se pretende obter leite a pasto. Contudo, no Brasil, apesar dessa forrageira estar sendo usada em alguns sistemas de produção de leite, são escassas as informações sobre ela (Vilela & Alvim, 1996).

O “coast-cross” (*Cynodon dactylon*) é uma forrageira tropical, que quando bem manejada, constitui uma alternativa viável para alimentar o rebanho dos Sistemas Intensivos de produção de leite (Alvim et al., 1996). É uma gramínea que apresenta boas

características para pastejo, com elevada produção de matéria seca, alto valor nutritivo e boa capacidade de suporte, o que significa mais leite e mais animais por área. Por esta razão, é recomendada para alimentar vacas em lactação, até mesmo aquelas que apresentem potencial para produção de leite entre 4500 a 7500 kg.lactação⁻¹ (Vilela, 1999).

O capim “coast-cross” apresenta facilidade e tolerância a cortes frequentes e produz completa cobertura do solo, que são, segundo Costa & Resende (1999), características desejáveis nas gramíneas para feno.

Reis (1996) considera que plantas de crescimento prostrado, como os capins do gênero *Cynodon*, que apresentam alta relação folha/haste, são recomendados para a produção de feno, por causa de seu alto VN (valor nutritivo) e facilidade de secar. Ao avaliar o capim “coast-cross” para fenação, Ferrari Júnior et al. (1993) observaram valores de 53, 42, 41 e 37% de folhas nas plantas colhidas, respectivamente aos 42, 56, 70 e 84 dias de rebrota.

De acordo com Haddad & Castro (2000), além da relação folha/haste, há no gênero *Cynodon* uma queda lenta do valor nutritivo em função da maturidade. Alguns produtores consideram fundamental haver algum corte durante os meses do inverno, quando os preços estão mais elevados. Informações práticas dão conta que o tifton 85, embora resistente a baixas temperaturas, apresenta estacionalidade de produção bem marcante, praticamente cessando a produção quando os dias diminuem a luminosidade. Para os autores tal efeito é menos evidente no “coast-cross”, florakirk e tifton 78, justificando sua plena adoção na região Sudeste.

O plantio do “coast-cross”, feito por mudas que se desidratam com muita facilidade, deve ser realizado no verão em dias chuvosos, em sulcos com espaçamento de 0,50 m. Havendo possibilidade de irrigação, o plantio pode ser feito em período seco. Por

ocasião do plantio, fazer adubação química de acordo com a análise de solo adicionando fonte de fósforo no sulco de plantio (Vilela, 1999).

Resende & Alvim (1996) recomendam que para o plantio do “coast-cross”, deve-se dar preferência aos solos férteis, de topografia ligeiramente inclinada, ou plana, drenados e livres de encharcamentos contínuos. Os autores informam que este capim vem se destacando como gramínea de excelente desenvolvimento na Zona da Mata Mineira, evidenciando sua adaptação ao clima e principalmente aos solos férteis localizados na topossequência leito maior.

Haddad & Castro (2000) recomendam para *Cynodon* um mínimo de 60% de saturação de bases (V%), e pH em torno de 5,5 a 6,0 (CaCl₂). Afirmam os autores que embora não seja requerido em larga escala, parece haver extração de 80-100 kg de P₂O₅/ha.ano em áreas das mais diferentes espécies de *Cynodon*.

Segundo relato de Mickenhagem (1996), os melhores fenos de gramíneas do gênero *Cynodon* são obtidos das cultivares que têm mais folhas do que colmos, como Tifton-85, Florakirk, “coast-cross” e Florona. Entretanto, o autor alerta que, qualquer que seja a cultivar a ser empregada, o corte deve ser realizado quando a planta alcançar alto teor de nutrientes, associado a elevada produtividade por hectare e baixo teor de fibra bruta, que ocorre geralmente quando a gramínea atinge a altura de 0,50 m, o que corresponde a 21 a 28 dias de rebrota, no verão, e 42 a 56 dias de rebrota no inverno. O autor informa ainda que se o corte for efetuado quando a altura da planta for maior, o feno será fibroso, podendo ainda ocorrer acamamento no campo, o que dificulta seu corte. Essa frequência de cortes é dependente da região e da fertilização que a forrageira recebe.

4.4. Energia/Balances Energéticos

4.4.1. A Energia

Segundo a concepção de Guerrero (1987), energia é, antes de tudo, um conceito científico, presente nos alicerces da física, química e biologia. Para o autor, sua universalidade faz, no entanto, que o conceito de energia permeabilize grande parte das atividades nas quais os seres humanos estão envolvidos, tais como calefação, transporte, indústria, construções e, principalmente no escopo do presente trabalho, na agricultura, entre outras. A idéia de energia está relacionada com o conceito físico de trabalho. Nesse sentido, entende-se por energia a capacidade de produzir trabalho. O trabalho é entendido como a força aplicada a um objeto, refletida na distância percorrida por ele em decorrência da força imprimida. Dessas considerações, tem-se que todo elemento capaz de produzir trabalho é potencialmente energético. O mesmo autor considera que a energia armazenada no núcleo do átomo, nas moléculas dos hidrocarbonetos, nos reservatórios de água, na celulose da madeira e nos carboidratos nas plantas, antes de ser ativada é tida como energia potencial.

A vida na Terra é regida pela energia. Os autótrofos a capturam da radiação solar e os heterótrofos dos autótrofos. Como um heterótrofo com habilidade para usar extrasomáticamente (fora do corpo) a energia, o ser humano utilizou muito mais energia que qualquer outro heterótrofo, durante sua evolução. O controle de fogo e a exploração de combustíveis fósseis tornou possível para os humanos lançar mão, em pouco tempo, de vastas quantias de energia (Price, 1995).

A energia, classicamente definida como a capacidade de realizar trabalho, possui imenso significado em nossa vida econômica, desde as formas primárias até

as secundárias, como a mecânica, química, potencial, solar e até nuclear, são usadas para transformar matérias primas em produção com valores agregados (Panesar & Fluck, 1993).

Por energia primária entende-se aquelas fontes providas pela natureza na sua forma direta, como o petróleo, gás natural, carvão mineral, energia hidráulica, lenha, etc. A maior parcela da energia primária é consumida (transformada) nos Centros de Transformação (refinarias de petróleo, plantas de gás natural, coqueiras, usinas hidrelétricas, etc.), onde é convertida em fontes de energia secundária (óleo diesel, gasolina, coque de carvão mineral, eletricidade, etc.), com as respectivas perdas na transformação. A outra parcela de energia primária é consumida diretamente nos diversos setores da economia, sendo este consumo designado por consumo final (exemplos podem ser consumo de lenha para cocção de alimentos, consumo de carvão vapor em fornos e caldeiras na indústria, etc.). Com a energia secundária, também acontece o mesmo, sendo que a maior parcela vai diretamente para o consumo final nos setores da economia e parte vai para os Centros de Transformação, onde é convertida em novas formas de energia secundária (exemplos: óleo combustível em eletricidade, nafta em gás canalizado, etc.) (Brasil, 1997).

Guerrero (1987) suscita que a lei da entropia permite classificar as diversas fontes de energia de acordo com sua capacidade de utilização. As fontes potencialmente mais utilizáveis, que poderiam ser chamadas de alta qualidade, seriam as mais concentradas. Nelas o teor energético é mais alto e as perdas no processo de utilização são relativamente menores. Nessa categoria está incluída a energia fóssil, originada na energia difusa do sol, pela fotossíntese, mas concentrada no sub-solo através do tempo. A energia solar direta, mesmo que abundante, é considerada de baixa qualidade pela sua natureza difusa. No processo de fotossíntese, por exemplo, as plantas aproveitam apenas 1 ou 2 por cento da

energia que incide sobre elas, para formar as reservas energéticas de biomassa (Odum, 1988). Através da fotossíntese e de uma cadeia de reações químicas, o carbono proveniente do anidrido carbônico atmosférico e os nutrientes vindos do solo são transformados pela planta, que sintetiza os compostos orgânicos que irão formar seus tecidos. Parte da energia é utilizada na respiração e o restante é armazenado em forma de energia química potencial nos tecidos, passível de vir a ser utilizada na forma de alimento ou de combustível. É interessante notar que a cada passo da transformação perde-se grande parte da energia em forma de calor (Figura 2) (Junqueira et al., 1982). A energia absorvida e utilizada pelas plantas para construir uma reserva de energia é chamada de negentropia (Hall, 1984).

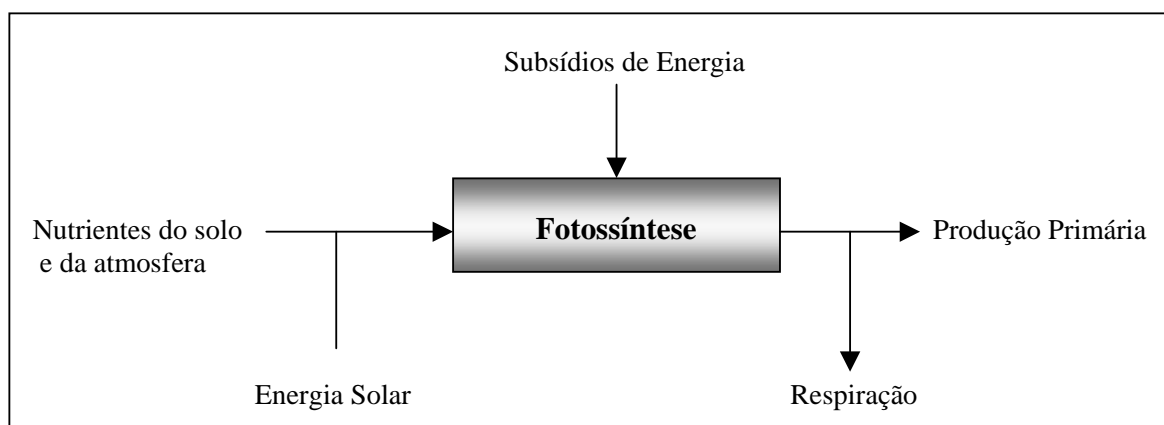


Figura 2. Transformação da energia na agricultura.
Fonte: Adaptado de Junqueira et al. (1982).

A agricultura é caracterizada pela produção e pelo consumo de energia. A produção energética refere-se aos bens produzidos, tais como os alimentos para homens e animais (arroz, milho, carne, pastagem, etc.), as fibras para transformação industrial (algodão, linho), os combustíveis (lenha, álcool) e os resíduos orgânicos (palhas, folhas,

estrumes). O consumo energético da agricultura é representado pelas energias encontradas livremente na natureza (energia solar, ar, água, nutrientes orgânicos e minerais do solo) e pelas energias adicionadas pelo homem (forças humana e animal, fertilizantes, óleo diesel) (Beber, 1989). Segundo Vidal (1988), dois mil anos antes de Cristo, 30% da energia que movia a humanidade eram extraídos da madeira e dos rejeitos orgânicos; o restante continuava sendo a muscular. Já no século XVI, época do descobrimento do Brasil, a madeira (70%) e os rejeitos orgânicos (20%) correspondiam pela quase totalidade da energia utilizada pelo homem.

Complementando, Beber (1989) expõe que nos primórdios da agricultura, as energias adicionadas pelo homem na atividade produtiva eram sobretudo de origem biológica (mão-de-obra). Com o desenvolvimento gradativo dos métodos e técnicas de produção, outras fontes energéticas passaram a contribuir na atividade produtiva e no beneficiamento da produção (tração animal, energias eólica e hidráulica, lenha). Mais intensamente no século XX, novos tipos de recursos foram incorporados ao processo produtivo (sementes melhoradas, fertilizantes e defensivos químicos, máquinas, combustíveis fósseis, eletricidade), de modo a viabilizar a expansão da área cultivada e o aumento da produtividade, bem como para o beneficiamento, transporte e conservação da produção. Nesta fase de desenvolvimento tecnológico, a agricultura tem-se caracterizado pelo elevado consumo de derivados do petróleo e de recursos não-renováveis. Esta evolução da agricultura, baseada em energias fósseis, vem acontecendo não só nos países industrializados (onde se processou com maior rapidez), mas também em países do terceiro mundo, nos setores mais avançados da economia. Nesse contexto, a produção primária vem se tornando cada vez mais vulnerável à esfera econômica global, dado ao previsível esgotamento de certos recursos

energéticos convencionais nas próximas décadas, com elevados aumentos nos preços de derivados de petróleo, e mais dependente das indústrias produtoras de insumos e processadoras da produção.

O domínio dos recursos energéticos não renováveis a preços acessíveis promoveu sua generalização nas mais diversas atividades humanas (Pereira Filho, 1991). Para Branco (1991), “a revolução industrial transformou a espécie humana – o ‘*Homo sapiens*’ – em uma nova espécie, o ‘*homem energético*’”.

Segundo breve relato histórico de Oliveira (1987), o homem primitivo consumia apenas a energia contida na sua alimentação (estima-se que nesta época, o consumo energético de cada pessoa era de 2 Mcal.dia⁻¹). O homem caçador (100.000 a.C.) consumia alguma energia adicional na cocção (nessa época o consumo energético já somava 5 Mcal.dia⁻¹). O homem agrícola (5.000 a.C.) utilizava também a energia animal em alguns trabalhos do campo (por essa época, o consumo energético per capita subira para cerca de 16 Mcal.dia⁻¹). O homem medieval europeu adicionou os moinhos de vento e os moinhos d’água ao seu consumo energético (o consumo humano de energia atingiu nessa época cerca de 26 Mcal.dia⁻¹). O homem industrial (Inglaterra do século XIX) introduziu a máquina a vapor (e o consumo per capita de todas formas de energia já utilizadas somavam 77 Mcal.dia⁻¹) e, finalmente, o homem tecnológico (Estados Unidos do século XX) a eletricidade e os motores de combustão interna (chegando o consumo individual a cerca de 230 Mcal.dia⁻¹). O autor suscita que o crescimento acelerado do consumo de energia, depois da revolução industrial, nos países do hemisfério Norte impõe duas questões importantes. A primeira refere-se à enorme disparidade entre o consumo energético dos países industriais e o dos países do Terceiro Mundo. A segunda está ligada ao esgotamento dos combustíveis fósseis. As duas

questões estão intimamente relacionadas na medida em que, em consequência do crescimento acelerado do consumo de energia, os países industriais vêm esgotar-se seus recursos energéticos, o que os leva a pressionar os recursos existentes no Terceiro Mundo.

Davis apud Guerrero (1987) lembra a lei formulada por Joule, conhecida como a primeira lei da termodinâmica: “A energia não se cria nem se destrói, mas se transforma de uma forma para outra”. Enquanto a primeira lei da termodinâmica manifesta a capacidade de transformação de energia negando sua destrutibilidade, a lei da entropia indica que a energia tende a degradar-se nos processos de utilização, transformando-se de formas úteis em formas não úteis, tendendo sempre ao equilíbrio energético global. Para Odum (1988), a lei da entropia resume-se no fato de que nenhum processo que implique uma transformação de energia ocorrerá espontaneamente, a menos que haja uma degradação da energia de uma forma concentrada para uma forma dispersa. A lei da entropia, com seu sentido sombrio, está na base de toda política conservacionista de energia ao mesmo tempo que estimula a criação de hábitos de moderação e poupança energética. Neste sentido, vários autores manifestam de forma enfática que a lei da entropia definirá os paradigmas sócio-econômicos do futuro e norteará o comportamento dos indivíduos com relação à natureza (Guerrero, 1987). Na conclusão de seu trabalho, Beber (1989), apresenta a assertiva de que se é necessário incrementar a produção e a produtividade agrícola, de modo a aumentar a oferta de produtos primários para o mercado interno e para a exportação, a questão da relação produção/consumo de energia não pode ficar fora do planejamento, caso contrário, os sistemas de produção difundidos no meio rural cada vez mais estarão se adequando à lei da entropia.

Odum (1988) salienta que os materiais não energéticos circulam no interior de um sistema e/ou são trocados com sistemas adjacentes porém a energia não.

Nitrogênio, carbono, água e outros materiais de que os organismos são constituídos, podem circular muitas vezes, isto é, qualquer átomo de matéria pode ser usado e reusado novamente. Por outro lado, a energia usada uma vez por determinado sistema ou população, quando convertida em calor é logo perdida pelo ecossistema. O alimento, por exemplo, que um animal ingeriu, não está mais disponível depois que ele o respirou, devendo o mesmo buscar por outro.

A modernização da agricultura está vinculada a diversos fatores, dentre eles a intensificação de produtos obtidos com alto conteúdo energético (Mello, 1986). Desta maneira, o aumento da produtividade importa no incremento de dispêndio de energia. Estudos feitos com a cultura do trigo revelaram que a utilização de insumos que demandam altas quantidades de energia renderam mais do que os obtidos a partir de baixas quantidades de energia (Berardi apud Santos et al., 1994).

Para Cortez (1992), energia é questão de gerência. O autor informa que na agricultura, assim como na indústria, cada vez mais enfrentam-se problemas de equacionamento de questões ambientais, suprimento energético e autonomia, isso tudo dentro de um planejamento econômico e social coerente. Tanto em nível macro como microeconômico as decisões no nível de planejamento energético passam a ter importância decisiva na atividade econômica como um todo.

Finalizando seu trabalho, Mello (1986), apresenta, para trabalhos futuros, a sugestão de se desenvolver estudos com aprofundamento teórico sobre agricultura e energia, situando historicamente como esta relação se dá, e seus principais determinantes econômicos e políticos.

4.4.2. Crises Energéticas

No século XX, o petróleo passou a alimentar o sistema industrial em desenvolvimento e, através do automóvel, penetrou profundamente na estrutura econômica. A descoberta de grandes jazidas petrolíferas de baixo custo no Oriente Médio possibilitou abastecer o mercado crescente com preços irrisórios, o que muito contribuiu para o longo período de prosperidade econômica subsequente à Segunda Guerra Mundial. Do início do século até a crise de 1973, o consumo de petróleo cresceu a uma taxa média anual de 7%. O carvão foi sendo relegado pelo novo combustível em quase todos os usos. Em 1968, os hidrocarbonetos (petróleo e gás natural) já representavam mais de 61,1% do consumo energético mundial (Oliveira, 1987).

Enquanto os países hoje industrializados operavam a grande transformação de suas economias, caracterizadas pela passagem ao uso intensivo do carvão e do aço, com a expansão de diferentes segmentos industriais e de transporte, o Brasil debatia-se com problemas de ordem interna e só chegava a participar desse processo de industrialização de forma marginal e tardia. Foi apenas a partir da década de 50, quando um novo estilo de industrialização se impunha no mundo graças à abundância de petróleo barato e às novas tecnologias de transporte e telecomunicações, que o Brasil se engajou firmemente nesse processo de crescimento econômico: em 20 anos, 1955 a 1974, seu Produto Interno Bruto (PIB) cresceu 300%. No mesmo período, seu consumo de petróleo passou de 190.000 para 826.000 barris.dia⁻¹, sendo que sua produção interna cobria 15% desse total (Benincasa, 1992).

As crises energéticas, baseadas em escassez de petróleo e derivados, afetam diretamente a atividade agrícola e suscitam cientistas a estudarem o emprego e os fluxos de energia nos sistemas produtivos.

No quadro contemporâneo de escassez de recursos, o alerta geral sobre a eventual falta de combustíveis fósseis foi transmitido pelos países árabes e persas, em outubro de 1973, gerando a sextuplicação dos preços do petróleo, o que repercutiu entre os povos, como uma verdadeira catástrofe, pois, de um modo geral, a agricultura dos países do terceiro mundo dependem desses insumos (Ferreira & Ulbanere, 1989). Neste cenário as perdas de grãos de cereais e sua deterioração passaram a ser estudadas com maior vigor, com o objetivo de otimizar o emprego da energia despendida na produção desses alimentos (Ulbanere & Ferreira, 1990).

Nos anos 90 esperava-se que o custo do petróleo tivesse sido estabilizado. Comitre (1995) afirmava que “contrariamente às previsões de escassez do produto, seu preço no mercado internacional esteve em baixa, sobretudo nos anos 80-90, quando houve início da exploração de novos campos, como os do Mar no Norte”. No entanto, percebe-se, atualmente, a franca ascensão do seu preço, o que nos remete à problemática das crises já enfrentadas anteriormente.

Pereira Filho (1991) adverte que a agricultura moderna, baseada nos agroecossistemas especializados, apesar de apresentar alta produção no espaço (produtividade física), carrega consigo uma série de desvantagens que podem comprometer a sustentabilidade de sua capacidade produtiva no decorrer do tempo. O mesmo elucida que esses sistemas possuem estrutura extremamente simplificada e exportam totalmente sua produção, tornando-se pouco estáveis e altamente exigentes dos meios de produção industrial, dependentes direta

ou indiretamente do petróleo, recurso natural não renovável de exaustão previsível. Essa particularidade os torna altamente dependentes da indústria e das variações do preço do petróleo no mercado internacional.

Silva & Graziano (1977) alarmavam que, em 1975, o Brasil consumiu 384.643 toneladas de Nitrogênio, o nutriente mais caro por unidade e o mais voraz consumidor de energia durante o processo de fabricação.

Costantini (1982) expõe que o maior problema emergente, naquele último ano, decorrente da crise energética, foi a necessidade de um aumento da produtividade conciliada com uma redução no consumo de combustíveis fósseis e seus derivados. Segundo este, a disponibilidade de energia a baixo custo, permitiu, de fato, difundir o emprego de várias técnicas novas (maquinarias, fertilizantes, pesticidas, etc.) que possibilitaram alcançar os níveis atuais de rendimentos. Mas, todo aumento de produtividade, veio acompanhado de um aumento exponencial de consumo de energia, tanto direta como indireta.

O aproveitamento energético dos sistemas produtivos, na presente estrutura de economia mundial, que experimentou dois choques de energia, um no período de 1972 a 1974 e outro no período de 1978 a 1981, tem muito mais relevância e aplicação que duas décadas atrás, segundo relato de Schwartz, (1987). Para Panesar & Fluck (1993), tanto os países desenvolvidos quanto os em desenvolvimento, têm grande dependência em energia que a possibilidade de escassez pode causar pânico nas mentes do público geral. Os autores complementam que, hoje, a energia é um dos fatores mais importantes nas atividades econômicas de produção, mas, a produtividade energética, propriamente, não tem atraído a merecida atenção de análises em relação à sua importância na economia.

Como exemplo da influência direta da crise energética no setor agropecuário brasileiro, pode citar-se a resolução do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), que, a partir de janeiro de 1980, baixou resolução proibindo o uso de derivados do petróleo para secagem de grãos, madeira e fumo (Silva et al., 1991). Este fato estimulou vários pesquisadores a desenvolverem tecnologias alternativas, com utilização de biomassa (principalmente madeira de reflorestamento e resíduos agrícolas) para fornecimento de energia calorífica para secadores.

As dificuldades econômicas peculiares dos países em desenvolvimento se tornam um agravante no que tange a consumo de energia de origem fóssil. De acordo com Ulbanere & Ferreira (1991), as constantes elevações nos preços dos derivados do petróleo, verificadas geralmente na implantação de planos objetivando a estabilização econômica causam desproporções significativas nas formações dos preços dos insumos necessários para a produção, especialmente aqueles do setor rural, que basicamente dependem de energia fóssil. Segundo os mesmos, os desajustes mais significativos foram observados a partir da crise de 1973 – os insumos energéticos, que até então apresentavam participação pouco significativa na formação dos preços, de uma safra para a outra, mostraram uma elevação, em preço e participação percentual, superiores aos demais componentes, inviabilizando inúmeras atividades agropecuárias.

Com o aumento da produtividade, em escala mundial, a agricultura passou a ter uma importância relativa menor no desenvolvimento econômico, segundo reflexão de Krom & Paccola (1995). Eles ponderam que a agricultura mantém um papel estratégico, principalmente nas primeiras fases do processo de desenvolvimento, e que, durante os primeiros estágios depende, criticamente, de alcançar uma rápida mudança

tecnológica que leve ao aumento da produtividade, pois, se isso não for atendido adequadamente, torna-se um sério ponto de estrangulamento do processo de crescimento econômico.

Mesquita et al. (1982) advertem que os esforços de pesquisa têm sido mais orientados para a busca de combustíveis alternativos do que para os estudos sobre reformulações dos sistemas tradicionais de produção, uso racional dos combustíveis e utilização correta dos equipamentos disponíveis.

Ulbanere (1988) relata que, com a crescente crise de combustíveis (petróleo) além do balanço contábil passou a ter importância também o balanço energético. Esse balanço é apresentado de tal forma a identificar todas as possíveis entradas e saídas de energia num processo de produção ou do país todo, possibilitando identificar se o país ou o setor específico apresentou saldo energético favorável.

Ao contrário do que se pensa, é preciso investir muita energia antes que se obtenha novas quantidades apreciáveis dela. Goldemberg (1979) exemplifica que, perfurar um poço de petróleo não consome muita energia, mas, é preciso levar em conta que usualmente é necessário perfurar dezenas (ou mesmo centenas) de poços antes de atingir petróleo abundante, e o custo desta operação (em termos de energia) é muito elevado e deve ser levado em conta.

Instituições como a IFIAS (International Federation of Institutes For Advanced Studies) preconizam padronizações para clarificar esta problemática da utilização de energia para produção de “nova” energia. A relação entre Requerimento de Energia para Processamento (PER), Requerimento de Energia Líquida (NER) e o Requerimento de Energia Bruta (GER) tem uma relação definida pela Equação 1 (IFAS apud Deleage et al., 1979):

$$\frac{\text{NER}}{\text{PER}} = \frac{E_o + E_t + C_p}{C_f} + C_s = \text{GER} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

E_o = Custo de energia para obter produto bruto (por exemplo óleo cru);

E_t = Custo de energia para transformação (por exemplo refino);

C_p = Valor calorífico das perdas (por exemplo gás queimado);

C_f = Valor calorífico do produto final (exemplo petróleo);

C_s = Valor calorífico dos sub-produtos (por exemplo alcatrão);

Ironicamente, uma crise pode ter seu lado positivo. Cleveland (1995) afirma que os resultados obtidos em seu trabalho mostram uma clara resposta dos fazendeiros a aumentos de preços, resultando em mudanças técnicas e administrativas que promovem aumento da eficiência energética. Trabalhando com dados da agricultura americana de 1910 a 1990, o autor percebeu um aumento global significativo no uso de energia de 1910 até 1970, e uma troca da gasolina por combustível diesel e eletricidade. O uso de todos combustíveis caiu nos anos oitenta. Medidas de eficiência energética na produção mostram um declínio substancial até os anos setenta, com uma substituição de potência animal por mecânica, devido ao baixo preço dos combustíveis fósseis em relação aos outros “inputs”. A eficiência energética na produção subiu nos anos oitenta devido a uma diminuição na taxa de uso de energia, redução no número de hectares colhidos e número de latifúndios (grandes fazendas).

4.4.3. Consumo de Energia

4.4.3.1. Participação do Setor Agropecuário no Consumo de Energia

Com o desenvolvimento da técnica no setor rural, houve no Brasil, um grande aumento de consumo de energia. O Ministério de Minas e Energia, para a quantificação da produção, consumo e exportação de energia, utiliza como unidade a tonelada equivalente de petróleo (tep), alegando que esta unidade está relacionada com um energético importante, expressa uma realidade física do que significa, além de ser coerente com o Sistema Internacional de Unidades.

Em termos de toneladas equivalentes de petróleo, o Brasil teve um aumento de $6.136 \cdot 10^3$ em 1981 para $9.951 \cdot 10^3$ em 1999, no consumo total de energia, proveniente das diversas fontes, somente se considerando o Setor Agropecuário, como se observa no Quadro 4.

Quadro 4. Consumo de lenha, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo, querosene, eletricidade e carvão vegetal, em toneladas equivalentes de petróleo, no período de 1981 a 1999, no setor agropecuário brasileiro

Ano	Fontes de Energia Empregada (10^3 tep)							Total
	Lenha	Óleo Diesel	Gás Liquef. de Petróleo	Quero-sene	Eletricidade	Carvão Vegetal	Outros	
1981	3202	2100	0000	0002	0723	0010	0099	6136
1982	3160	2199	0000	0001	0800	0009	0066	6235
1983	3111	2382	0000	0000	0934	0009	0025	6461
1984	2765	2506	0000	0001	1112	0009	0025	6418
1985	2601	2928	0000	0001	1298	0009	0023	6860
1986	2479	2900	0000	0001	1451	0008	0025	6864
1987	2571	3149	0000	0001	1704	0013	0034	7472
1988	2463	3298	0001	0000	1805	0011	0035	7613
1989	2326	3478	0001	0000	1844	0013	0028	7690
1990	2142	3146	0001	0000	1933	0011	0026	7259
1991	2081	3287	0001	0000	2123	0013	0021	7526
1992	1897	3372	0001	0001	2186	0009	0031	7497
1993	1851	3726	0001	0001	2321	0008	0034	7442
1994	1824	3909	0001	0000	2433	0006	0061	8334
1995	1861	4164	0001	0000	2660	0007	0092	8785

1996	1846	4363	0001	0000	2821	0008	0080	9135
1997	1828	4538	0004	0000	3132	0006	0078	9586
1998	1755	4402	0008	0000	3365	0006	0044	9580
1999	1702	4557	0013	0000	3590	0005	0084	9951

Fonte: Adaptado de Brasil (1997) e Brasil (2000).

Devido à modernização dos equipamentos agrícolas e da melhoria das condições de vida no meio rural (fogões à gás, luz elétrica, chuveiros elétricos, etc.), houve uma grande redução no consumo de lenha (47 %) paralela a um grande aumento no consumo de eletricidade (497 %). Claro que, este aumento exacerbado de consumo de eletricidade também foi impulsionado pelos planos de eletrificação rural, que expandiram sobremaneira a capacidade elétrica instalada no meio rural.

O querosene, que era tradicionalmente utilizado para iluminação no meio rural, teve reduzido seu consumo, de 2.000 toneladas equivalentes de petróleo, em 1981, para praticamente uma quantidade nula, a partir de 1988 (Quadro 4).

A Figura 3 mostra claramente que houve um grande aumento, em termos percentuais, de consumo de óleo diesel, no setor agropecuário, com pequeno declínio nos anos de 1998 e 1999, possivelmente devido aos significativos aumentos de preços no período. A eletricidade apresentou comportamento semelhante. Enquanto o primeiro aumentou de 34,2 % para 45,8 % do consumo total de energia, no período de 1981 a 1999, a segunda aumentou de 11,8 % para 36,1 %, no mesmo período.

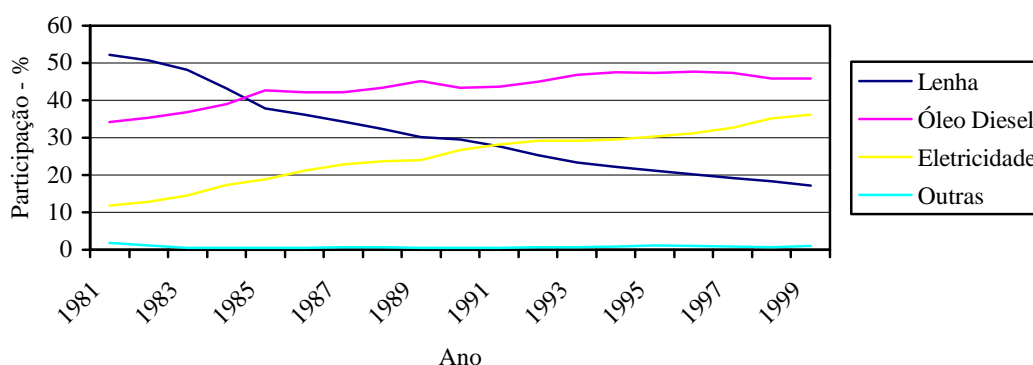


Figura 3. Participação de Lenha, Óleo Diesel, Eletricidade e Outras no consumo geral de energia no setor agropecuário, no Brasil (Dados de Brasil, 1997 e Brasil, 2000).

Outra informação interessante, que se depreende do gráfico (Figura 3), é que, a categoria “outras” fontes, onde se enquadra a biomassa, apresentou historicamente uma pequena participação no consumo total de energia no setor agropecuário brasileiro, revelando a sub-utilização dos combustíveis de biomassa no meio rural. Entre estes combustíveis se enquadram os resíduos, tais como sabugo de milho, palha de arroz, palhada de cana e dejetos animais, que podem produzir o metano, através de biodigestores.

Análises energéticas na produção agrícola mostram que os recursos de energia fóssil são os que despendem maior quantidade de energia. Heichel (1980) expõe, que o maquinário, consumo direto de combustível e fertilizantes nitrogenados compõem a maior entrada de energia nos processos produtivos agrícolas.

De acordo com Pimentel (1984), em nações industrializadas, tais como os Estados Unidos, a energia de origem fóssil se torna um recurso vital para a produção, assim como o são os recursos terra e água. Ele relata que os usos dominantes da energia nos Estados Unidos se referem a combustíveis, para movimentar maquinaria agrícola e a matéria prima

para produzir fertilizantes e pesticidas. Os pesticidas são obtidos a partir do petróleo enquanto os fertilizantes de nitrogênio são produzidos a partir de gás natural.

Hunt (1986) afirma que mais da metade da potência requerida nas propriedades agrícolas é consumida pelas operações de preparo do solo.

De acordo com Smith & Fornstron (1980) as medições do consumo de energia em vários implementos fornecem bases para sua seleção e dos sistemas de cultivo. O plantio direto ou alguma combinação de cultivo mínimo e controle químico de plantas daninhas oferecem potencial economia de energia no campo para o caso do cultivo do trigo.

O consumo de energia para preparar um leito de semeadura adequado varia em função do tipo de implemento e do número de operações segundo Robertson & Mokma (1978). Salientam os autores que uma maior economia de energia pode ser obtida pela eliminação de determinadas operações de preparo. Já Mesquita et al. (1982) consideram que a energia consumida em um sistema de produção agrícola depende de tantos fatores variáveis, que tornam complexa sua determinação ou estimativa. Para eles, o combustível apresenta acentuada variação de consumo, em uma mesma operação, pois depende dos fatores clima, topografia, tipo de solo, tamanho e forma da área de trabalho, tipo de trator e implemento, marcha de trabalho, habilidade do operador e outros, o que torna difícil uma determinação absoluta do consumo de energia e da capacidade efetiva de trabalho dos equipamentos em cada operação e, conseqüentemente, em cada sistema. Contudo, eles completam que, com a crise energética, estas estimativas passam a ser indispensáveis no planejamento e execução das etapas componentes do sistema de produção de uma cultura.

A viabilidade e o custo dos combustíveis são problemas mundiais na agricultura mecanizada, conforme Burt et al, (1994), que citam muitos esforços feitos para

desenvolver sistemas de cultivo que minimizem o uso de combustíveis na produção das culturas.

Máquinas maiores não representam, necessariamente, maior consumo de energia por área, segundo Bridges & Smith (1979), que não consideram correto reduzir o tamanho de implementos para melhorar a economia de combustível, pois o importante é o consumo de energia requerido por área, e muitas vezes um implemento menor consome mais energia.

Mesquita et al. (1983) verificaram que no sistema de preparo convencional para a cultura da soja são consumidos $38,8 \text{ l.ha}^{-1}$ de óleo diesel, enquanto o preparo reduzido consumiu $18,7 \text{ l.ha}^{-1}$. Calculando a conversão energética (valor energético/energia empregada) da cultura da soja os autores verificaram que no preparo reduzido este índice foi de 6,5 e no convencional foi de 5,4.

4.4.3.1.1. Consumo de Energia na Produção de Animais

Pimentel (1984) informou que, em torno de 90% de toda produção anual de grãos dos Estados Unidos era utilizada para alimentação animal, com o objetivo de obtenção de carne, leite e ovos, que são as preferências dos consumidores americanos.

Em uma análise, denominada pelo autor de eco-energética, no noroeste de Portugal, Fragata (1982), constatou nos fluxos de energia, que entre os valores energéticos

dos bens produzidos e consumidos no interior do sistema, $312,44 \text{ kcal.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ eram relativas aos alimentos forrageiros para bovinos, correspondente a 69,5% do seu valor total.

De acordo com Oltenacu & Allen (1980), na contabilização da energia requerida nos processos de produção de leite, não se deve levar em consideração somente aquela energia diretamente relacionada às instalações de leite, mas também toda a energia envolvida no processo de criação dos animais. Pastagens, silagens e fenação são processos que demandam elevadas quantidades de energia para produção.

Dovring (1985) faz uma crítica a autores que realizaram estudos de uso de energia na produção de bovinos. Ele informa que em alguns trabalhos não é feita uma contabilização completa da energia inserida na produção. Em alguns casos, considerou-se somente a energia embutida na alimentação de gado de corte, o que se caracteriza um erro crasso.

Na área de produção de forrageiras para gado de leite, Campos et al. (2000) avaliaram o balanço energético na produção de silagem de milho, em cultivos de verão e inverno, com irrigação, encontrando uma eficiência energética de 680%.

No Reino Unido, Phipps et al. (1976) fizeram uma comparação entre as entradas e saídas de energia na produção de forragem de milho e de outras gramíneas, em experimento de três anos, desenvolvido em condições semelhantes. Eles obtiveram razões de 4,8 e de 2,7 (saída/entrada de energia) para forragem de milho e das outras gramíneas, respectivamente. O trabalho também possibilitou aos autores concluir que o consumo de energia pode ser vultosamente reduzido através da substituição de fertilizantes inorgânicos (derivados de petróleo) por fertilizantes orgânicos (esterco das próprias vacas do sistema).

Uhlin (1999) considera que a produtividade na agricultura sueca está aumentando muito, o que está altamente relacionada com uma redução de uso da terra. De 1956 a 1993 o autor participa que o uso efetivo de pastagens reduziu de $1,15 \times 10^6$ ha. Sob uma análise econômica, Uhlin considera que a estes hectares que se tornaram livres deveria ser atribuído um valor de “energia de oportunidade”. Logicamente, este raciocínio só teria valor em análises globais, como foi feito com este estudo da Suécia.

Através de dados obtidos nas regiões de Ibirubá e Santa Maria, Quesada et al. (1987) estimaram os balanços energéticos para o Rio Grande do Sul, na produção de leite e de suínos (Quadro 5). Analisando os resultados apresentados no Quadro 5, torna-se alarmante a conclusão de que a relação saída/entrada (“output”/“input”) de energia é de 0,16 e 0,06; para as produções de leite e suínos, respectivamente; significando que, nestes dois sistemas, considerando-se os resultados obtidos, depreende-se que consome-se mais energia do que se produz. Os mesmos autores encontraram valores de 3,66; 5,78; 0,01; 11,37; 6,86; 2,02 e 1,89 de relação saída/entrada de energia (balanço de energia), para os produtos arroz, cana-de-açúcar, fumo, mandioca, milho, soja mecanizada e trigo, respectivamente, onde se percebe elevadas eficiências energéticas na produção de mandioca, milho e cana-de-açúcar.

Quadro 5. Balanços energéticos na produção de leite e suínos, estimados para o Rio Grande do Sul

“Input”	Bovinos de leite			Suinocultura		
	kcal.vaca ⁻¹ ano ⁻¹	%	Proteína (kg)	kcal.100 kg ⁻¹ produto	%	Proteína (kg)
Trabalho – homem	279 h	-	-	401 h	-	-
Pastagem	2.925.295	32,9	414,1	258.180	7,6	3,6
Mandioca	725.924	8,1	9,0	83.280	2,4	1,0
Silagem de milho	1.338.086	15,0	44,8	-	-	-

Cana-de-açúcar	1.335.340	15,0	4,7	41.030	1,4	0,2
Milho (grãos)	317.750	3,6	7,3	186.000	5,4	4,3
Ração balanceada	829.600	9,3	34,1	819.400	24,3	33,7
Feno de alfafa	571.968	6,4	23,7	-	-	-
Farelo de trigo	139.932	1,6	5,8	38.870	1,2	1,6
Nitrogênio	24.000	0,3	-	-	-	-
Fósforo	15.000	0,2	-	-	-	-
Potássio	4.800	0,0	-	-	-	-
Calcário	8.505	0,1	-	-	-	-
Óleo diesel	273.936	3,1	-	424.600	12,5	-
Eletricidade	231.903	2,6	-	469.532	13,8	-
Gás natural	-	-	-	235.200	7,0	-
Instalações	158.698	1,8	-	829.530	24,4	-
Total	8.900.737	100	543,5	3.3853622	100	44,4
“Output”						
Produção		2.190 l.vaca ⁻¹ ano ⁻¹			100 kg	
		1.434 Mcal.vaca ⁻¹ ano ⁻¹			211.400 kcal.100 kg ⁻¹	
Proteína		92 kg.vaca ⁻¹ ano ⁻¹			15,5 kg.100kg ⁻¹	
kcal “Output”/h trabalho		5.141			527	
Proteína “Output”/Proteína “Input”		0,17			0,35	

Fonte: Adaptado de Quesada et al. (1987).

Autores como Schroll (1994) entendem que a criação de animais deveria ser drasticamente reduzida, visando diminuir a competição com a alimentação humana. Pimentel (1984) considera que a proteína animal é significativamente mais dispendiosa energeticamente que a vegetal, uma vez que é necessário cultivar forrageiras e grãos, para então serem consumidos pelos animais para produzirem o desejado alimento animal, e, no fornecimento do alimento ao animal, é embutido um custo energético. Se levarmos esta premissa ao extremo, não se criaria mais animais e a população perderia acesso a uma importantíssima fonte de proteína, indispensável ao bom desenvolvimento do ser humano. Promovendo-se uma comparação entre as categorias pecuárias, Pimentel (1984) informa que a criação de frangos é duas vezes e meia mais eficiente que gado de corte (Quadro 1.1), visando a produção de carne, entretanto, os frangos se alimentam basicamente de grãos, enquanto os bovinos também se alimentam de forragens.

Pellizzi (1992) apresenta dados de consumo de energia relativos à criação de algumas categorias animais (Quadro 6). Como se observa no Quadro 6, na pecuária leiteira italiana, uma média 55% da energia consumida no processo é destinada a produção de alimentos concentrados enquanto a produção de forragem consome, em média, 17,5%.

Uma das fontes mais interessantes para o país, é a economia de energia, e para tornar mais eficiente o uso de energia é preciso conhecer as especificidades dos processos que as utilizam. Nesses processos existem pontos de estrangulamento que podem ser identificados dentro de uma perspectiva energética. Torna-se imperativo determinar de que forma a energia entra no sistema e o que ocorre com ela nos diversos estágios do processo. Nesse sentido, o estudo da eficiência energética é fundamental para se detectar mudanças no consumo, sem o qual não pode haver planejamento estratégico (Goldemberg apud Comitê, 1993). Sob esta ótica, torna-se evidente a importância de estudos detalhados dos fluxos de distribuição de energia em uma atividade agropecuária complexa como a produção de leite em sistemas intensivos, onde se envolve o cultivo de forrageiras, produção de grãos, utilização de maquinário, instalações e equipamentos sofisticados, aliados à criação de animais de alto potencial genético e sensíveis às condições adversas daquelas de sua região de originalidade, tais como clima e alimentação. Dentro deste contexto, a atividade de produção, enfiamento e armazenamento de feno para animais mantidos em sistema de confinamento total, representa um campo interessante de estudo, visando detectar seus pontos de maior consumo energético.

Quadro 6. Consumo de energia para produção animal (leite de bovino, leite de ovelha, gado de corte), na agricultura italiana (Pellizzi, 1992)

Consumo	Unidade de Medida	Espécies		
		Leite Bovino	Leite de Ovelhas	Gado de Corte

Energia Direta	%	7-15	6-10	30-40
Energia Indireta	%	85-93	90-94	60-70
Maquinário	%	1,4-3	0,5-2	6-8
Lubrificantes	%	0,3-0,5	0,3-0,4	1-3
Alimento Concentrado	%	50-60	12-18	50-60
Forragem	%	15-20	60-75	
Cama	%	0,7-1	-	-
Construções	%	5-11	1-2	3-5
Consumo Total	GJ.t ⁻¹ *	10-12	20-25	60-70
Consumo Específico	MJ.kg ⁻¹ *	7-13	20-25	6-7
Trabalho Humano	h.t ⁻¹ *	5-20	25-30	12-18

* por unidade de peso de leite ou carne.

4.4.4. Classificação das Formas de Entrada de Energia Visando ao Balanço Energético

Em trabalho de balanço de energia envolvendo sistemas de produção de agricultura alternativa, Carmo et al. (1988) optaram por dividir, ou classificar a energia nas categorias “Biológica”, “Fóssil” e “Industrial”. Na categoria Biológica os autores consideraram a energia humana, animal, resíduos de animais e da agroindústria, além de sementes e mudas, alimentos para animais, adubação verde e cobertura morta; na categoria “Fóssil” foram agrupados os produtos e subprodutos do petróleo, tidos como fontes de energia primária, incluindo, quando era o caso, adubos químicos e agrotóxicos, que foram usados por alguns agricultores, em pequena quantidade; e, finalmente, na categoria “Industrial” foram incluídas as máquinas e equipamentos agrícolas à tração mecânica e animal e a energia elétrica. A mesma metodologia foi seguida por Carmo & Comitre (1991).

Comitre (1993), em avaliação energética e estudo de aspectos econômicos da soja, propôs uma divisão semelhante, tendo, porém, duas grandes matrizes de energia: Direta e Indireta. Na energia direta ela considerou as sub-divisões: Biológica (mão-de-obra, sementes, lenha, bagaço de cana); Elétrica; e Fóssil (óleo diesel, lubrificante, graxa, solvente, óleo BPF). Na Energia Indireta ela enquadrou a Industrial (composta por máquinas, calcário, adubo formulado, inseticida e herbicida).

Para Junqueira et al. (1982), a energia consumida na agricultura pode apresentar a seguinte classificação:

- a) Energia que não é utilizada diretamente pelo processo produtivo. É aquela utilizada pelo homem do campo para o seu bem-estar (iluminação, funcionamento de aparelhos eletrodomésticos, etc.) e nos trabalhos após a colheita (operações de benefício, transporte, etc.);
- b) Energia utilizada diretamente pelo processo produtivo, mas, que não é convertida em energia do produto final. É aquela utilizada em operações agrícolas que tornam possível o processo produtivo ou que o torna mais eficiente, mas, que não vêm a fazer parte do produto final, como a energia fornecida pela mão-de-obra, pelos animais de trabalho e pelas máquinas em operações de aração, gradagem, plantio, adubação, aplicação de defensivos, podas, capinas e colheita; e
- c) Energia convertida em produto final. É aquela que será gasta na manutenção e no crescimento de animais e plantas ou que será armazenada na forma de alimento ou de material combustível. Incluem-se aqui a energia solar utilizada na fotossíntese, e a contida nos nutrientes do solo e nos fertilizantes (ou nos alimentos, no caso de animais).

A forma de classificação da energia mais utilizada tem sido a divisão em energia direta e energia indireta, como se observa nos trabalhos de Campos et al. (2000), Cleveland (1995), Deleage et al. (1979), Pellizzi (1992), Ulbanere & Ferreira (1989), Zucchetto & Jansson (1979), entre outros. Neste caso, na categoria energia direta se enquadrariam os combustíveis fósseis, eletricidade e gás, diretamente consumidos no sistema agrícola (Bonny, 1993).

Quando se trabalha com dados estatísticos ou estimativas, muitas vezes não se dispõe de dados de consumo de combustíveis fósseis, neste caso, para uma estimativa, Cleveland (1995) sugere a utilização da seguinte Equação:

$$TE_F = \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad \text{Eq. 2}$$

onde:

TE_F = Despesa total, em reais, em combustíveis fósseis;

p_i = Preço nominal do combustível tipo i (reais por kcal);

x_i = Quantidade de combustível, tipo i , comprado e usado nas fazendas (kcal);

n = Número de combustíveis fósseis utilizados.

Na categoria energia indireta se enquadra as manufaturas de entrada (“input”) usadas no sistema agrícola, tais como maquinária (Cleveland, 1995).

4.4.5. Energia Consumida pelo Trabalho Humano

4.4.5.1. Importância e Impacto Social

Considerado por muitos pesquisadores especializados brasileiros e de todas partes do mundo como clássico, o trabalho de Pimentel et al. (1973), além de vários aspectos importantes da utilização da energia no desenvolvimento da agricultura, traz à tona, também, a questão da utilização do trabalho humano. Caracterizando energeticamente a agricultura, de 1945 a 1970, os autores apresentam vários dados interessantes relativos à evolução da agricultura naquele período, alguns dos quais podem ser observados no Quadro 7.

A utilização de mão-de-obra na cultura do milho nos Estados Unidos, reduziu de 57 para 22 horas para cada hectare cultivado, em um período de 25 anos. Enquanto o emprego de energia na forma de trabalho humano decresceu 40% no período estudado, na forma de trabalho mecanizado aumentou em 234%. Todavia, o fato de que, complementarmente aos dados apresentados, ter-se aumentado também a quantidade de outros insumos, e a observação da queda da eficiência energética neste período (Quadro 7), instigou vários pesquisadores pelo mundo a desenvolverem estudos de balanços energéticos, visando avaliar a eficiência com que a energia estaria sendo empregada no meio rural, em vários sistemas.

Quadro 7. Alguns insumos energéticos utilizados na produção de milho, nos E.U.A., no período de 1945 a 1970

Insumos	1945	1950	1954	1959	1964	1970
Mão-de-obra (h.ha ⁻¹ colhido nos E.U.A.)	57	44	42	35	27	22
Mão-de-obra (kcal × 10 ³ .ha ⁻¹)	30,9	24,2	23,0	18,8	14,8	12,1
Máquinas agrícolas (kcal × 10 ³ .ha ⁻¹)	444	617	741	864	1.037	1.037
Retorno (kcal/kcal de insumo)	3,70	3,18	2,67	2,88	3,06	2,82

Fonte: Adaptado de Pimentel et al. (1973).

Uma consideração inicial é se seria lógico buscar uma conversão do trabalho humano para unidades de energia. Vários pesquisadores consideram ser muito teórico atribuir valores de energia ao trabalho (e ao ser humano), não justificando atentar a isto nas análises. De fato, esta medida de energia tem sido rejeitada por vários analistas da área de energia, incluindo a IFIAS (International Federation of Institutes for Advanced Study, apud Fluck, 1981). Entretanto, medidas da energia proveniente da mão-de-obra tem sido vastamente utilizada devido ao valor de energia intrínseco que o trabalho muscular possui e também devido ao conteúdo energético do alimento consumido pelo trabalhador. Mais importante, a mão-de-obra, em muitos casos, é substituível, até certo ponto, por outras fontes de entrada (“inputs”) de energia (haja visto os dados apresentados no Quadro 7) no sistema produtivo (Fluck, 1981).

4.4.5.2. Utilização do Trabalho Humano na Composição de Balanços Energéticos

O consumo de energia pelo trabalho humano é uma parte interessante e controversa no contexto dos balanços energéticos da produção agrícola, uma vez que os autores na área, muitas vezes, possuem idéias e argumentos diferenciados. Fluck (1981) já ressaltava que numerosos métodos e muita confusão existe com relação à avaliação da energia contida no trabalho.

A dificuldade de avaliar o trabalho humano começa já na escolha da delimitação do sistema. De fato, diferentes limites do sistema podem promover diferentes definições de trabalho humano. O trabalho é tradicionalmente considerado um “input” para os

produtos cultivados; por outro lado, em nível de fazenda, os requerimentos dos trabalhadores representam custo energético (Giampietro & Pimentel, 1990).

Em uma região vitícola de Torres, em Portugal, Carvalho et al. (1974) realizaram medidas diretas de consumo energético, durante trabalhos realizados na produção de uvas, através de um equipamento denominado respirômetro Max Planck. Este aparelho é destinado a recolher e medir pequenas quantidades de ar expirado; pesa cerca de 3 kg e é normalmente colocado nas costas do trabalhador (Figura 2.1.). Buscando executar o trabalho em condições normais, o operador respira através de uma válvula de expiração. O ar passa por um gasômetro, que desvia uma amostra de 0,3 a 0,6%, do ar, para um saco de borracha, onde é alojado para em seguida ser analisado, trabalhando em períodos de 4 a 15 minutos. A amostra de ar é submetida a um analisador de gás (Gallenkamp-Lloyd), determinando-se a quantidade de oxigênio consumido por minuto. A energia despendida é determinada através do coeficiente térmico do oxigênio (em J.minuto^{-1}) (Carvalho et al., 1974). Dentre vários resultados obtidos pelos autores, pode-se citar, como exemplo, que um homem de 39 anos, com 75,5 kg de peso, consome de 3,68 a 9,20 J.minuto^{-1} , em trabalho de conduzir trator. Pode-se perceber, pelo trabalho, que os resultados são variáveis, com idade, peso, fatores climáticos, e, principalmente, características da operação realizada. Para os estudos mais específicos, estes dados podem ser considerados de maior precisão, quando se busca quantificar somente a energia fornecida pelo trabalhador na execução de uma determinada tarefa. Por outro lado, Fluck (1981), citando vários autores, ressalta que o método mais vastamente utilizado para contabilizar o conteúdo de energia empregado no trabalho era através da medida do conteúdo energético da comida ingerida pelo trabalhador. Um dia de trabalho, é normalmente estimado, segundo Fluck (1976), como consumidor de 2.000 a 3.500 kcal. Mas, o autor alerta que um

trabalhador rural consome muito mais energia do que aquela representada pelo alimento ingerido. Há que se considerar a energia adicional utilizada em vestuário, abrigos ou moradia, transporte, educação, etc. Outra falha que, segundo Fluck (1976), pode ocorrer em análises de consumo de energia devido a trabalho humano, é considerar que trabalhadores produtivos suportam os não-produtivos. Para ele, a energia consumida pelos segundos deve ser adicionada àquela consumida pelos primeiros.

Axinn & Axinn (1984) consideram que as maiores entradas de energia para contabilização do componente humano de um sistema são relativas a grãos de cereais, frutas e vegetais, leite e produtos lácteos, carne, lenha e água. Para estes autores, a principal forma de saída (“output”) de energia devido a este componente está na forma de trabalho.

As características da atividade agrícola a ser explorada também pode provocar diferenciação no nível de utilização de trabalho humano. Pimentel et al. (1983) realizaram um comparativo entre os sistemas de agricultura orgânica (abolindo o uso de fertilizantes e pesticidas químicos sintéticos) e convencional, para alguns produtos, onde procuraram determinar o rendimento de produção, eficiência energética e exigências de trabalho humano. Deprenderam que a produção orgânica de milho e trigo é de 29 a 70% mais eficiente energeticamente que o sistema convencional e a produção de batata e maçã de 7 a 93% mais energeticamente eficiente que o sistema orgânico. Entretanto, houve uma unanimidade: para as quatro culturas, as necessidades de trabalho humano (“inputs” de trabalho) por unidade de área de produção foram maiores para os sistemas orgânicos. Os autores admitem que podem ter exagerado um pouco na contabilização do custo de mão-de-obra incluindo o trabalho para raspagem e distribuição de esterco, mas garantem que não há

dúvidas, todavia, que os “inputs” relativos à mão-de-obra são substancialmente maiores para a tecnologia orgânica, afirmativa que é confirmada por Wagstaff (1987).

Makhijani apud Fluck (1981) utilizou valores de 0,49 a 0,58 MJ por dia para consumo de energia (com 8,44 MJ.d⁻¹ para alimentação) no trabalho agrícola em seu estudo na agricultura no terceiro mundo.

De acordo com Giampietro & Pimentel (1990), pode-se assumir que a potência de um homem adulto é de 90 W e de uma mulher, também adulta, é de 60 W. Esta diferença de potência de 30% foi determinada através de testes físicos, com base em experimentação em diversos eventos esportivos (tais como corridas e levantamentos de peso) e em testes de produção de trabalho. O nível de potência (expressa em Watts) per capita de trabalho humano é dada por (Giampietro & Pimentel, 1990):

$$\text{Potência consumida per capita} = (x_m 90 + x_f 60) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

x_m = percentual de trabalhadores adultos;

x_f = percentual de trabalhadoras adultas.

Bansal et al. (1988), trabalhando em regiões semi-áridas, considerou para a atividade braçal de humanos, valores de 0,22 MJ.h⁻¹ para homens adultos e 0,18 MJ.h⁻¹ para mulheres (Maheshwari et al. apud Bansal et al., 1988).

Pellizzi (1992) informa que, na produção de pastagens temporárias, pastagens permanentes e milho para silagem, a necessidade de trabalho humano, em horas por hectare, é de 14 a 20; 30 a 40 e 25 a 40, respectivamente, que correspondem a consumos de energia de 20 a 25; 7 a 17 e 25 a 45 GJ.ha⁻¹, para a cultura das forrageiras citadas, na mesma

ordem. Considerando-se os sistemas de produção de gado de leite, leite de ovinos e gado de corte, o mesmo autor cita as cargas horárias de 5 a 20; 25 a 30 e 12 a 18; por hectare, respectivamente, sendo os consumos de energia para cada atividade de 7 a 13; 20 a 25 e 6 a 7 MJ.kg⁻¹ de unidade de peso, de leite ou de carne, na mesma ordem.

4.4.6. Energia Consumida Relativa a Fertilizantes, Defensivos e Inseticidas

Segundo Matuo (1984), a produção e aplicação de agrofármacos representam relativamente pequena parcela da energia empregada na agricultura, sendo que nos Estados Unidos a produção e aplicação desses produtos químicos representam pouco mais de 5% do total de energia utilizada na agricultura e isto representa 0,2% do total de consumo de energia daquele país. Já Seixas & Marchetti (1982) alegam que neste mesmo país, o consumo de defensivos representava 1,6% da energia utilizada na agricultura e ponderam que, apesar da pequena participação no consumo de energia, os defensivos representam o componente mais difícil de se substituir.

Em termos relativos, Malavolta (1984) afirma que os adubos e corretivos representam as frações de 35 a 57%, 16 a 54%, 6 a 9%, 18% e 17% do consumo de energia para os processos de produção de milho, soja, cana-de-açúcar, laranja e tomate, respectivamente.

Austin apud Phipps et al. (1976) informaram que pelo menos 64% do fertilizante de nitrogênio utilizado na maioria dos produtos agrícolas na Grã-Bretanha, era aplicado em pastagens ou em forrageiras conservadas para a alimentação dos animais no inverno.

Seixas & Marchetti (1982) estimavam que a agricultura brasileira utilizava 21% de sua energia como combustíveis, 58% como fertilizantes, 14% na forma de defensivos e 6,8% para irrigação, transporte e outros. Para estes dados os autores não consideraram a energia embutida nas máquinas, por não acharem dados disponíveis.

Entre os fatores de maior densidade energética em um agroecossistema, Mello (1986) destaca os defensivos, que para ele são utilizados em pequena quantidade no estado de Santa Catarina, mas a grandes custos energéticos, além dos fertilizantes nitrogenados que têm altos custos energéticos por quilograma e são usados em larga escala.

Além dos aspectos energéticos da utilização massiva de fertilizantes oriundos de fontes fósseis, há que se considerar também as implicações ambientais. Boyeldieu (1975) adverte que a valorização de resíduos deve ser objeto de preocupação constante – melhor utilização de adubos e corretivos e, principalmente, utilização de resíduos orgânicos.

4.4.7. Energia Empregada em Edificações

No meio rural, as edificações são de enorme variedade de tamanho e qualidade, em função da localização geográfica, do tamanho da propriedade, do nível de renda

dos proprietários (Mello, 1986), cultura e tradição local e/ou familiar, do tipo de atividade a ser desenvolvida e seu nível de especialização, e do número de atividades diferentes que o agricultor desenvolve em sua propriedade, sendo que alguns tipos de instalações podem ser utilizados em mais de uma atividade. Acrescente-se, também, o fato de que a origem dos materiais ou matérias-primas empregados em sua fabricação é de grande importância no conteúdo energético (Fernandes & Souza, 1982).

Na determinação dos fluxos energéticos, quando se trabalha com grandes sistemas, o pesquisador se depara com um grande problema: como tipificar as instalações a serem utilizadas na composição dos balanços? A situação é complicada mais ainda quando a pesquisa abrange:

- a) mais de uma atividade (envolvendo os problemas abordados anteriormente);
- b) sistemas agrícolas considerados em grande escala, como regiões, estados ou países, onde o pesquisador se vê obrigado a fazer muitas suposições e estimativas.

Visando compor um cálculo aproximado dos custos energéticos de instalações, Mello (1986) consultou dados catalogados pela ACAR-SC de propriedades típicas do Estado de Santa Catarina, visando tipificar uma propriedade que pudesse ser caracterizada como padrão. O autor padronizou uma propriedade de 17 hectares plantados, com uma casa de alvenaria para residência com 108 m² e edificações para serviços de 152 m².

Com o objetivo de verificar a influência dos materiais empregados no conteúdo energético total de uma edificação, Fernandes & Souza (1982) levantaram a energia introduzida na construção de uma residência constituída por três quartos, um banheiro, sala de estar, cozinha, sala de jantar e varanda, utilizando materiais diferentes (residência tipo 1 e residência tipo 2, Figura 2.2). A composição dos custos energéticos pode ser observada no

Quadro 8. Através dos dados apresentados pelos pesquisadores, observa-se que a substituição do tijolo cerâmico pelo de concreto leva a uma diferença no conteúdo energético de $22,5 \times 10^6$ kcal. As paredes de tijolo cerâmico são responsáveis por 66% do conteúdo energético total, sendo este valor superior ao conteúdo total da residência que emprega tijolos de concreto. Em média, foram encontrados para as duas residências, $0,5 \times 10^6$ kcal.m⁻² e $0,24 \times 10^6$ kcal.m⁻² de área construída, para as residências tipo 1 e tipo 2, respectivamente. Os autores informam que os índices energéticos determinados para os materiais de construção correspondem à energia

Quadro 8. Conteúdos energéticos de uma residência típica, construída com diferentes materiais de construção (tipo 1 e tipo 2), estudado pelo CETEC (Fernandes & Souza (1982)

Elemento	Material	Conteúdos energéticos	
		Tipo 1	Tipo 2
Laje de cobertura	Cimento	1.420.224	1.420.224
	Areia	21.839	21.839
	Brita	114.443	114.443
	Ferragem	2.462.544	2.462.544
	Total	$4,02 \times 10^6$	$4,02 \times 10^6$
Fundação	Cimento	7.519.904	7.519.904
	Areia	115.036	115.036
	Brita	603.012	603.012
	Total	$8,24 \times 10^6$	$8,24 \times 10^6$
Forro	Cimento	162.217	162.217
	Areia	9.918	9.918
	Cal	233.411	233.411
	Tinta	14.687	14.687
	Total	$0,42 \times 10^6$	$0,42 \times 10^6$
Estrutura	Total	$0,40 \times 10^6$	$0,40 \times 10^6$
Paredes	Vidro	829.563	829.563
	Tijolo cerâmico	23.654.160	-
	Tijolo de concreto	-	2.898.883
	Cimento	1.893.632	1.256.352
	Areia	115.453	76.505
	Cal	2.545.686	1.684.826
	Tinta	28.622	31.674
	Cerâmica	1.199.793	2.674.649
	Azulejo	2.336.799	-
	Total	$32,60 \times 10^6$	$9,45 \times 10^6$

Telhado	Telhas cerâmicas	2.745.240	-
	Telhas de cimento amianto	-	1.487.760
	Total	2,75 × 10⁶	1,49 × 10⁶
Pisos	Cerâmica	1.055.040	-
	Vulcapiso	-	18.048
	Total	1,06 × 10⁶	0,02 × 10⁶

consumida nos processos de fabricação por unidade de peso do produto acabado. Porém, para comparar os diferentes materiais é necessário que seja levado em consideração o conteúdo total na unidade de área construída. Entre os materiais analisados para confecção de revestimentos, pisos, telhas e paredes, ocorreram casos em que materiais de índices energéticos mais elevados mostraram-se energeticamente mais econômicos que os de índices mais baixos, por serem empregados em pequenas espessuras e, portanto menor peso por unidade de área. Tal fato ocorre, no presente caso, com o azulejo, quando comparado ao revestimento cerâmico, com o mármore e o vulcapiso, telhas cerâmicas e de cimento amianto, divisórias e tijolos de concreto.

Dentre as importantes conclusões levantadas por Fernandes & Souza (1982), cabe citar aqui o seguinte: a) A energia elétrica e o óleo combustível são os recursos energéticos de mais amplo emprego na fabricação de materiais de construção; b) O óleo combustível é a forma que responde pela quase totalidade (83 a 98%) dos recursos energéticos consumidos na elaboração de cal, chapa de fibra, madeira aglomerada, cimento, laje, revestimento e pisos cerâmicos, telhas cerâmicas, telhas de vidro, tijolos cerâmicos e vidro plano; c) os materiais construtivos de menor conteúdo energético, por unidade de peso, são: a areia, a brita, o PVC, o tijolo de concreto, o vulcapiso e vigas de concreto; d) O conteúdo energético de tijolos cerâmicos é 7 vezes maior que o de tijolos de concreto, por unidade de peso. Por metro quadrado de área construída, o conteúdo energético do primeiro é 11 vezes

maior que o do segundo, e) o conteúdo energético da telha de cimento amianto é praticamente a metade do conteúdo energético da telha cerâmica.

Hannon et al. apud Doering III (1980) analisaram processos de contabilização da energia empregada em construções rurais. Apesar de reconhecer que há grandes diferenças, entre diversos tipos de instalações e construções, Doering III (1980) afirma que, até a época, não havia análises detalhadas dos vários tipos de estruturas empregadas no meio rural, sugerindo a utilização dos valores de $1.496.232 \text{ kcal.m}^{-2}$ para residências e $409.041 \text{ kcal.m}^{-2}$ para construções de serviço. Expondo o argumento que, devido à grande diferença entre as edificações rurais norte-americanas, que têm que suportar grandes variações climáticas, além de seus proprietários possuírem níveis de renda superiores em média aos brasileiros, estas edificações requerem um investimento energético muito maior, por isso apresentam um consumo energético muito elevado comparado às construções brasileiras, Mello (1986) optou por adotar em seu trabalho o menor valor encontrado pelo CETEC (Fernandes & Souza, 1982) para as residências, ou seja, $0,24 \times 10^6 \text{ kcal.m}^{-2}$ e 0,27 vezes este valor para edificações de serviço ($64.800 \text{ kcal.m}^{-2}$), que é a mesma proporção entre edificações de serviço e residência apresentadas por Hannon et al. apud Doering III (1980).

Quesada et al. (1987), em estudo de balanço de energia na produção de bovinos de leite e de suínos, se deparou com valores de 158.698 kcal por vaca.ano e 829.530 kcal por 100 kg de suíno, como coeficientes de energia empregada em instalações (Quadro 5).

Assim como as rubricas drenagem, irrigação, tratores, maquinário e uso de automóveis, Zucchetto & Jansson (1979) incluíram os custos energéticos das construções em um item denominado de capital, participando com 7,4 % do total deste, em uma análise na agricultura da ilha de Gotland, na Suécia. Com relação ao item energia

indireta, que é mais abrangente, a rubrica construções participava com um percentual de apenas 2,3; considerando as condições de agricultura da região e o período estudado.

Em uma ampla pesquisa energética realizada na agricultura francesa, Deleage et al. (1979), contabilizaram o número e a área das construções e instalações rurais utilizadas naquele país. Para determinar os equivalentes energéticos destas construções eles levaram em conta a natureza dos diversos materiais utilizados. Consultando a literatura, os autores utilizaram valores equivalentes energéticos de $3,3 \text{ GJ.kg}^{-1}$ para os trabalhos de alvenaria e $56,1 \text{ GJ.kg}^{-1}$ para trabalhos com estruturas metálicas (Carillon e Leach apud Deleage et al., 1979). Estariam inclusos nestes valores, os custos energéticos de extração e transporte de matérias primas. Desta forma, chegaram que no ano de 1970, teria a agropecuária francesa utilizado um total de 41,2 MGJ em construções e instalações.

Em estudo energético na produção de leite, depreende-se das informações de Pellizzi (1992) que as construções rurais destinadas à atividade contabilizam de 5 a 11% do consumo específico de energia global, enquanto para atividades de gado de corte e exploração de leite de ovinos, o consumo específico de energia para as instalações representa percentuais de, apenas, 1 a 2 e 3 a 5; respectivamente.

4.4.8. Delimitação do Sistema

O balanço de energia pode ser realizado para atender um vasto número de razões práticas diferentes. Seu propósito, como sempre acontece na pesquisa aplicada, decidirá as condições da análise. Da mesma forma que se deve proceder num balanço ou

análise econômica, o balanço de energia deve ser feito dentro de um sistema delimitado. Somente desta forma os resultados se ajustarão à análise proposta (Dovring, 1985). O autor alerta que a maioria dos estudos em uso de energia na agricultura, nos Estados Unidos, aplica limites em seus sistemas que conduzem a estimativas incompletas da energia total extraída para produção agrícola.

Os limites de um sistema consumidor de energia podem ser determinados de várias maneiras. Eles podem ser feitos para incluir somente o poder calorífico de bens comerciais energéticos fornecidos diretamente para a atividade em estudo. Eles podem também se empenhar em incluir a energia comercial utilizada no suprimento de bens energéticos e outros “inputs” que a atividade de fora, de outros setores ou de outras firmas. O sistema energético pode também ser ampliado, incluindo fontes não-comerciais, o trabalho muscular humano ou o alimento em que ele obtém sua energia. Finalmente, pode-se optar por incluir todo fluxo de energia solar (fonte de energia não comercial) que incide sobre a superfície da terra, ou alguma porção desta (Bullard et al., Hannon et al. e Makhijani apud Dovring, 1985; Costanza, 1980).

Bueno et al. (2000), em trabalho onde acrescentaram os valores aproveitáveis da Q_g (radiação global) aproveitável aos insumos consumidos nas matrizes energéticas, para a cultura de milho, constataram que esta participou com 97,59% do total de “inputs” para esta cultura no estado de São Paulo. Desta forma, a eficiência energética da cultura baixou de 4,09 para 0,1015; demonstrando incoerência na utilização desta fonte gratuita de energia.

Comitre (1993) assinala que a energia proveniente do sol, por ser considerada uma forma gratuita de energia, apresenta custo de oportunidade zero e sua não-contabilização não implica maiores restrições ao método.

Mas, a maioria da energia contábil enfoca fontes comerciais, uma vez que estas estão sujeitas à escassez, preços ascendentes e possíveis interrupções de provisão. A análise pode também ser enfocada no conceito de energia disponível. O combustível no subsolo, se for abundante (como no caso do carvão), pode ser tratado com não tendo valor, até ser extraído (Dovring, 1985).

Castanho Filho & Chabaribery (1983) apresentam um diagrama global, demonstrando os fluxos (matrizes) da energia na agricultura, com a delimitação do sistema a ser estudado (Figura 4).

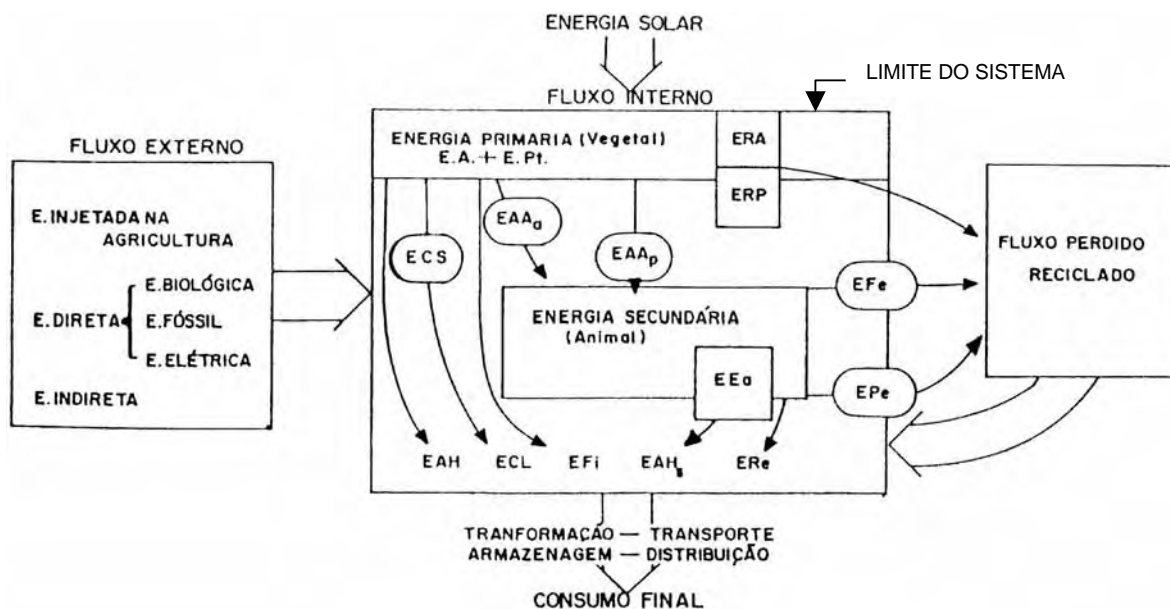


Figura 4. Diagrama detalhado dos fluxos energéticos em um sistema agrícola (EA = Energia de origem agrícola; EPt = Energia contida nas pastagens; ERA = Energia contida nos resíduos agrícolas; ERP = Energia contida nos resíduos das pastagens; ECS = Energia destinada a combustíveis sólidos; EAA_a = Energia alimentar destinada à

alimentação animal; EFe = Energia contida nos fertilizantes de origem animal; EAH = EAHS = Energia alimentar destinada à alimentação humana; ECL = Energia destinada a combustíveis líquidos; EFi = Energia contida nas fibras têxteis; ERe = Energia contida nos resíduos animais aproveitáveis; EEa = Energia armazenada sob a forma de estoque calórico animal; EPe = Energia das perdas). Fonte: Adaptado de Castanho Filho & Chabaribery (1983).

Vários estudos têm apresentado dados baseados em estatísticas com limitações do espaço físico de grande amplitude, sendo alguns de nível estadual ou nacional. Zucchetto & Jansson (1979) argumentam que estatísticas baseadas em médias de tais amplitudes dissimulam diferenças regionais, deixando de computar processos de agregação.

O estudo de casos delimitados em espaços regionais têm o propósito de fornecer dados com indiscutível acuracidade muito maior. Os estudos de casos com delimitação em um sistema fechado, com maior utilização de informações medidas *in loco* do que dependentes de estatísticas, médias amplas ou conjecturações, tem a importância de fornecer subsídios de maior exatidão para estudos de proporções mais amplas, em termos de delimitação física.

4.4.9. Balanços de Energia

Define-se balanço de energia como uma atividade ou instrumento destinado a contabilizar as energias produzidas e as energias consumidas em um determinado sistema de produção. Seu objetivo principal é traduzir em unidades ou equivalentes energéticos os fatores de produção e os consumos intermediários, possibilitando a construção de indicadores comparáveis entre si, que permitam a intervenção no sistema produtivo visando

melhorar sua eficiência (Bueno et al., 2000). Apercebendo-se da importância e utilidade deste instrumento, vários pesquisadores, em todo mundo, têm se utilizado dos balanços de energia para avaliação de sistemas e atividades agrícolas, nas mais diversas proporções, com distintas fronteiras (delimitações) do sistema.

Como alvitraram Carmo & Comitre (1991), o enfoque energético complementa outras análises, tais como a econômica, no dimensionamento das necessidades alimentares, na preservação dos recursos naturais e na manutenção dos agroecossistemas a longo prazo; auxilia nos processos de alteração tecnológica, para que o retorno econômico, e também a preservação ambiental, sejam maximizados. Os fluxos energéticos e a relação entre insumos e produtos, apontam os possíveis itinerários para o desenvolvimento tecnológico futuro, principalmente se o objetivo é o uso controlado e racional da energia fóssil.

Para Mello (1986), a quantificação de modelos qualitativos dá condição à identificação de desperdícios de energia, de componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência energética ou simplesmente eliminados, ou seja, de interferir na estrutura do sistema para torná-lo mais eficiente energeticamente.

A literatura revela, em todos os campos de especialização de agricultura, uma série de esforços no sentido de poupar energia em certas operações e evitar excessos de insumos. Esta preocupação com o emprego da energia na agricultura não pode ser considerada recente; Silva & Graziano (1977) já registravam uma série de tentativas neste sentido, realçando o cultivo mínimo. Os autores declaravam que seu trabalho destinava-se a alertar as autoridades responsáveis pela fixação de políticas para a pesquisa agropecuária, para a necessidade de um direcionamento da investigação científica na agricultura, em busca de esquemas, modelos, práticas e “pacotes tecnológicos” poupadores de energia.

Em um trabalho com cana-de-açúcar, comparando dois modelos denominados “consumidor de energia”, baseado na utilização liberal de máquinas, fertilizantes e de corretivos, em uma tecnologia que os autores classificam como “tecnologia importada”; e outro “economizador de energia”, onde se realiza apenas uma aração, aproveitando a terra de reforma dos canaviais para obtenção de uma safra de soja precoce, apenas uma gradagem, com a mesma justificativa, utilização reduzida da calagem e prescindindo da adubação de cobertura, devido à rotação com uma leguminosa (planta fixadora do nitrogênio atmosférico) Silva & Graziano (1977) fornecem os dados do balanço energético, apresentados no Quadro 9.

Como se observa no Quadro 9, o modelo “consumidor” exige 8145 Mcal, enquanto o modelo “economizador” gasta 6991 Mcal, o que dá uma diferença de 1424 Mcal entre os dois modelos, o que corresponde a 17% do modelo “consumidor”. Considerando as condições da época os autores informam que a redução no consumo de petróleo (11%), se transportada para toda área de reforma de canaviais paulista, seria possível, teoricamente, economizar 188,4 milhões de Megacalorias, correspondendo a 183.000 barris de petróleo bruto.

Quadro 9. Consumo de energia de dois modelos para um hectare de cana-de-açúcar, primeiro corte (Silva & Graziano, 1977)

Insumo	Modelo “Consumidor” (Mcal)	Modelo “Economizador” (Mcal)	Economia Obtida (Mcal)	Energia Derivada do Petróleo (%)	Economia de Energia Derivada do Petróleo (Mcal)
Mão-de-obra	234	228	6	50	3
Maquinaria	1050	892	158	50	79
Combustível	4065	3618	447	100	447
Nitrogênio	1236	459	777	50	300
Fósforo	498	498	-	-	-
Potássio	144	344	-	-	-
Calcário	73	37	36	70	25

Mudas	823	823	-	-	-
Formicidas	12	12	-	-	-
Herbicida	80	80	-	-	-
Total	8415	6991	1424	-	942

Trabalhando com respostas a diferentes níveis de nitrogênio, com diferentes culturas, Schuffelen apud Boyeldieu (1975) encontrou grandes variações nos balanços de energia para a produção destas culturas, destacando-se os valores de 8,4; 1,7 a 4,2; 1,3 a 3,4; 1,7 a 4,2; 1,3 a 6,3 e 0,8 a 1,7; para a relação energia aplicada/energia obtida, para os produtos madeira, trigo, arroz, milho, batata e açúcar, respectivamente.

Costantini (1982) utilizou balanços energéticos para avaliar seis combinações de rotação de culturas, como subsídio para testar a eficiência destas, quando comparadas a situações de monocultura. As rotações foram de trigo-beterraba; milho-beterraba; beterraba-ervilha; trigo-milho; milho-ervilha e trigo-ervilha, obtendo rendimentos (“output”/“input”) de 2,92; 3,73; 3,20; 2,20; 2,67 e 2,79; respectivamente. Para as situações de monocultura, de beterraba; milho; trigo e ervilha, os rendimentos obtidos foram de 3,93; 2,20; 2,26 e 3,33; respectivamente. Considerando as condições experimentais, o autor concluiu que o melhor resultado foi apresentado pela beterraba, tanto em monocultura quanto em rotação com o trigo. Detectou, também, que o menor consumo energético foi apresentado pela ervilha cultivada sem fertilizante.

Procurando caracterizar a agricultura, em termos energéticos, Junqueira et al. (1982) concluíram que, àquela época, a energia humana era importante no Estado de São Paulo; a energia animal era advinda, principalmente, de equinos e muare; o consumo de energia elétrica pela agricultura era mínima em relação ao total, mas vinha aumentando muito sua participação, assim como o consumo de combustíveis.

Mello (1986) verificou que os gastos energéticos são proporcionais ao grau de interferência mecânica e química nos ecossistemas, sendo a tração motorizada e os insumos químicos para fertilização e defesa da produção as parcelas que representam os maiores custos energéticos, no estado de Santa Catarina.

Em estudo avaliando a evolução dos rendimentos energéticos dos vinte principais produtos agropecuários brasileiros entre as décadas de 1970 e 1990, Comitre (1995) afirma que, mesmo com o significativo crescimento do uso de insumos, o rendimento energético (relação “outputs”/“inputs”) aumentou ao longo do período em função da crescente produtividade dos produtos selecionados. Confrontando os dados entre os extremos do período, a autora observou um crescimento maior da produção física (112%) em relação ao consumo de insumos empregados no setor (49%), constatados nos valores calculados para os rendimentos energéticos. Ela atribui os resultados ao dinamismo, em termos de crescimento da produtividade, ocorrido na agricultura através do processo de modernização.

Com o objetivo de fornecer subsídios para o estabelecimento de políticas de incentivos à produção ou de restrições ao consumo de energia, Castanho Filho & Chabaribery (1983) traçaram o perfil energético da agricultura paulista. Através de dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA), e fazendo-se aproximações, os autores calcularam os fluxos de energia para 21 atividades agropecuárias, que ocupavam a quase totalidade da área agricultável do estado e respondiam por mais de 80% do valor da produção no setor. Eles declaram que, apesar da dificuldade de obtenção de dados precisos, os resultados obtidos em termos de índices de conversão de energia revelaram-se consistentes se comparados aos de estudos de mesma natureza efetuados em outras regiões, uma vez que no estudo interessava mais a ordem de grandeza e a composição da energia utilizada e produzida que a precisão

quantitativa. Eles inferiram que os índices apresentados pela agricultura paulista indicam que ela se encontra num estágio semelhante à de países desenvolvidos, como a França, mas ao mesmo tempo mostraram que se deve fazer um esforço no sentido de utilizar tecnologias menos dependentes de fontes externas de energia e que ofereçam uma conversão de energia mais elevada. Verificaram que algumas atividades consumiam mais energia do que eram capazes de produzir, podendo configurar num ponto de estrangulamento no futuro, caso a tecnologia apresentasse tendência de se manter a mesma.

Visando obter as relações produção/consumo calóricas para propriedades ditas alternativas, analisadas como um sistema produtivo global, Carmo et al. (1988) deduziram que o rendimento está diretamente relacionado à tecnologia empregada. Eles encontraram balanços bastante diferentes entre as propriedades, sendo os grãos e cereais os produtos de maiores retornos por unidade calórica investida, e hortaliças e produtos animais, exceto o mel, os de menores taxas.

Carmo & Comitre (1991) determinaram os gastos energéticos para as culturas de soja e milho em algumas safras do período compreendido entre 1965 e 1990, utilizando as matrizes de custos operacionais do Instituto de Economia Agrícola. Relatam as autoras que na evolução energética das culturas, os valores crescentes para o balanço indicaram um aumento de produção de Mcal por Mcal investida, principalmente em função dos aumentos de produtividade. As fontes biológicas, de importância notória no início do período, foram sendo paulatinamente substituídas pelas de origem fóssil, sendo o mais expressivo o combustível, seguido de fertilizantes e corretivos. Elas concluem também que, em ambas culturas, os gastos calóricos das máquinas e equipamentos foram inexpressivos durante o período.

Em estudo na região de Ribeirão Preto-SP, Comitre (1993) avaliou o balanço entre as Megacalorias produzidas e despendidas nas fases agrícola, industrial e de distribuição da soja, obtendo valores de 5,77; 0,97; e 2,31; respectivamente, para cada fase. A autora alude que os resultados apontaram grande dependência da produção agrícola às calorias de origem fóssil, sendo o óleo diesel o componente mais expressivo. Para a fase de processamento industrial ela constatou a importância da fonte biológica, representada pelos grãos de soja, além do bagaço de cana na cogeração de energia.

Durante as safras de 1978/79 e 1979/80, Mesquita et al. (1982) conduziram experimentos com três diferentes sistemas de produção de soja (semeadura com preparo convencional do solo, semeadura com preparo reduzido e semeadura direta), objetivando determinar o mais eficiente na utilização de energia. Os resultados evidenciaram maior eficiência do sistema de semeadura direta no consumo de energia. A média de 717 mil kcal.ha⁻¹ consumidas naquele sistema foi inferior em 39% e 20% às daquelas dos sistemas convencional e reduzido, respectivamente.

Boller & Gamero (1997) desenvolveram trabalho objetivando estimar os custos econômicos e os custos energéticos, através de balanço de energia, na utilização de três sistemas de preparo do solo: preparo convencional (aração seguida por duas gradagens, preparo com enxada rotativa e preparo com escarificador equipado com discos de corte e cilindro destorroador-nivelador do solo) em combinação com quatro condições de cobertura do solo antes do preparo (aveia preta, centeio, nabo forrageiro e pousio mantido limpo durante o outono/inverno), verificando que o preparo efetuado com enxada rotativa implicou em investimento energético menor e que houve maior consumo energético no pousio em relação às parcelas onde houve cultivo anterior de aveia preta, centeio e nabo forrageiro.

No período de 1984/1989, em uma Cooperativa Agrária, em Guarapuava-PR, Santos & Reis (1994) utilizaram o critério da eficiência energética para avaliar sistemas de rotação de culturas de cevada. Os autores propuseram um índice que relacionava o rendimento de grãos de cada espécie em estudo e a energia cultural despendida pelo uso de insumos e pelas operações realizadas nos sistemas (Equação 4).

$$\text{Produtividade cultural} = \frac{\text{rendimento de grãos (kg/ha)}}{\text{energia cultural (calorias/ha)} \times 1000} \quad \text{Eq. 4}$$

Concluíram que as eficiências energéticas foram influenciadas pelo período agrícola, sendo que a aveia-branca e a cevada mostraram maiores índices de eficiência energética do que as demais culturas de inverno e o milho o mais eficiente energeticamente. Num trabalho semelhante, Santos & Reis (1995) utilizaram este índice para avaliação de sistemas de rotação de culturas com trigo (monocultura de trigo, um inverno sem trigo, dois invernos sem trigo e três invernos sem trigo), obtendo resultados semelhantes.

Vários autores defendem a utilização de cultivo mínimo para a redução do consumo de energia proveniente de combustível. Entretanto, German et al. apud Mesquita et al. (1982) enfatizam um possível efeito negativo da utilização intensa de herbicidas, que caracteriza, em parte, o sistema de semeadura direta. Eles declaram que o sistema poderia favorecer o desenvolvimento de invasoras resistentes, com o uso prolongado e contínuo de herbicidas, conforme ocorreu com várias espécies de insetos, através do uso intenso de inseticidas. Outrossim ressaltam a possibilidade de efeitos danosos à saúde humana, pelo aumento de resíduos de herbicidas que poderão contaminar a carne do gado, alimentado com restos de culturas de lavouras de plantio direto.

Preocupados com o dispêndio de energia em herbicidas, Clements et al. (1995) desenvolveram trabalho, em doze fazendas, nas regiões de Elora e Ontario, no Canadá, testando diferentes práticas de cultivo e uso de herbicida, onde se promoveu a redução do cultivo (cultivo mínimo) e redução de uso de herbicidas. Uma vez que o manejo de ervas invasoras através de herbicidas sintéticos representa 20 a 25% do custo energético anual de produção naquele país, os autores consideram que modificações nestes valores teriam importância na conservação de energia. Eles revelam que a eliminação do uso de herbicida pode ajudar na conservação de energia, mantendo a produção eficiente, quando usada em conjunto com favoráveis rotações orgânicas. Completam que a eliminação de cultivos apresenta maior potencial de economia energética do que a eliminação do uso de herbicidas. Corroborando a última afirmativa, Smith & Fornstrom (1980), trabalhando com trigo, concluíram que energia pode ser economizada substituindo-se herbicidas por cultivo mecânico.

Balancos de energia foram determinados por Tsatsarelis (1993), para o cultivo de trigo em condição de inverno, na Grécia. Entre as conclusões obtidas deste trabalho, pode-se citar que a energia injetada (“inputs”) na produção, de acordo com o sistema de produção, oscila entre 16.000 e 26.000 MJ.ha⁻¹, sendo necessários mais 1.500 a 3.000 MJ.ha⁻¹ quando se utiliza irrigação. A maior parte da energia total inserida é consumida pelos fertilizantes e sua aplicação. As intensidades energéticas calculadas situam entre 2,35 a 2,90 MJ.kg⁻¹ e entre 2,58 a 3,13 MJ.kg⁻¹ com o uso de irrigação. A eficiência energética variou entre 2,3 e 6,0.

Quesada et al. (1987) desenvolveram nove balanços energéticos, realizados no Rio Grande do Sul, sendo os produtos estudados o arroz, cana-de-açúcar, fumo,

mandioca, milho, soja, trigo e os pecuários leite e criação de suínos, justificando que estes correspondem por 4/5 do ICM do setor agropecuário gaúcho. Eles ressaltam que no desenvolvimento do trabalho, a metodologia parece se adequar melhor ao acompanhamento dos produtos agrícolas de que ao acompanhamento dos produtos pecuários.

Em trabalho realizado em Botucatu-SP, Siqueira et al. (1999) conduziram o balanço de energia na implantação de plantas de cobertura do solo (aveia preta, nabo forrageiro e tremoço azul), em preparo convencional. Os autores relatam que as espécies apresentaram alta eficiência energética, com maior produção de energia na aveia do que no tremoço. Eles detectaram que para a implantação e manejo da aveia e nabo o maior consumo de energia foi com o combustível e fertilizantes e para o tremoço as sementes e o combustível tiveram maior participação. Apontaram os autores que o estudo da eficiência energética das plantas de cobertura pode contribuir para a compreensão do desempenho das espécies em diferentes sistemas de produção.

Maikhuri & Ramakrishnan (1990) se valeram de balanços econômicos e energéticos para comparar as eficiências, tanto econômica quanto energética, entre três comunidades tribais (Garos, Khasis e Mikirs) e uma não tribal (Nepalis), localizadas no nordeste da Índia, vivendo na mesma área. Dentre os vários resultados interessantes, apresentados pelos autores, pode-se citar, como exemplo, que a criação de bovinos, apresentou eficiências energéticas (relação “input”/“output”) de 0,4; 0,4; 0,3 e 0,4; para Garos, Khasis, Mikirs e Nepalis, respectivamente (Nepalis e Mikirs criam bovinos para produção de carne e leite e as outras duas para leite). Entretanto, o balanço monetário (“input”/“output” de capital), para a mesma atividade, variou entre as vilas, mesmo quando tiveram o mesmo balanço

energético, apresentado valores de 6,6; 23,4; 6,5 e 7,9; para as mesmas comunidades, e na mesma seqüência.

Uma análise na ilha de Gotland, situada ao norte da Suécia, conduzida por Zucchetto & Jansson (1979), onde procuraram fazer um paralelo com os Estados Unidos e Grã Bretanha e ainda estudar o custo ambiental do declínio da qualidade das águas, revelou que cada unidade de “output” de energia alimentar produzida requeria 0,84 unidades, de equivalentes de petróleo, de energia direta e indireta. Os cálculos indicaram que a agricultura de Gotland tinha custo energético maior que a dos Estados Unidos, porém representava pelo menos a metade do custo da agricultura de Israel. Nos custos de energia direta, se incluíam 223 TJ usados em combustíveis e 51,9 TJ em eletricidade. Na energia indireta se incluíam 103 TJ para bens e serviços, 327 TJ para capital, 465 TJ para a produção de fertilizantes, 17,6 TJ para a produção e transporte de grãos e 71,2 TJ para a energia alimentar.

Deleage et al. (1979) pesquisaram a distribuição de energia no sistema agrícola de toda França, para o ano de 1970. Eles delinearam um valor de consumo de energia de 569,5 MGJ para o país naquele ano para o setor agrícola, correspondendo a 9,4% do consumo energético nacional, sendo 4,36% para participação no consumo indireto e 4,64% no consumo direto. Para a alimentação animal, a participação no consumo energético era de 0,4%. Eles depreenderam também que somente 11,2% do total de consumo de energia na agricultura advinha de fontes de energia renováveis.

Apesar da grande tendência demonstrada na literatura no sentido de chamar a atenção com relação à má utilização e baixa eficiência energética na agricultura, alguns trabalhos tem demonstrado críticas nos sentido contrário. Ainda na França, o trabalho de Bonny (1993) trata do estudo da tendência da eficiência de utilização de energia na

agricultura como um todo, no período entre 1959 e 1989, e também para um de seus principais produtos, o trigo, no período de 1959 a 1990. De acordo com este trabalho, entre 1959 e 1977, considerando a agricultura francesa como um todo, foi necessário um incremento na quantidade de energia direta para um dado volume de produção; porém, desde 1977 esta quantidade de energia vem diminuindo. No caso do trigo, o consumo global de energia também decaiu no período em questão, o que leva o autor a crer que a agricultura se tornou mais eficiente no uso de energia naqueles últimos anos. Entretanto, o autor admite ter utilizado somente dados de energia direta (combustíveis sólidos, eletricidade e gás, diretamente consumidos na agricultura), não levando em conta a energia indireta (utilizada na manufatura de diferentes “inputs” utilizados, como fertilizantes, pesticidas, maquinária, etc), o que vem a comprometer a possibilidade de relacionar este trabalho com outros, que fazem a análise de uma forma mais completa.

Fluxos de energia e determinação do valor da eficiência energética visando sustentabilidade na agricultura dinamarquesa foi o foco do estudo de Schroll (1994). Uma das descobertas foi de que a eficiência energética (saída/entrada de energia) foi decrescendo à medida que problemas ambientais relativos à produção agrícola foram aparecendo no período estudado (1936 a 1990). Ele afirma no trabalho que uma situação em que a saída de energia (“output”) na alimentação humana se iguala à quantidade de energia fóssil despendida para produzi-la não parece ser ecologicamente sustentável. Schroll conjectura que as duas principais maneiras para se aumentar a eficiência energética média do país seriam: 1) Encorajar uma maior produção para alimentação humana em detrimento da animal, proporcionando uma menor produção animal; 2) Redução da entrada (“input”) de energia fóssil, especialmente aquela relacionada à aplicação de fertilizantes. É importante

destacar aqui que, as soluções são sempre locais, dependendo das características, onde se inclui até a extensão do país. Para o caso brasileiro, talvez uma medida menos radical, como uma tentativa de racionalizar a alimentação animal, utilizando-se maior quantidade de volumosos de alto valor nutritivo, como feno, em detrimento da utilização de concentrados, fosse suficiente para buscar maior eficiência e sustentabilidade na área da pecuária.

Um dos campos em que a metodologia de cálculo de balanço de energia se mostra imperativo, é na produção de combustíveis. O melhor indicativo para análise de um sistema produtor de energia, é pesquisar se este sistema está produzindo mais energia (na forma de combustível) do que consumindo. Helene et al. (1981) determinaram o balanço de energia para a produção de metanol a partir da hidrólise ácida da madeira. Eles consideraram que para o cálculo seria necessário computar a energia gasta em todas as etapas necessárias para a obtenção final do etanol: cultura da madeira (fase agrícola), construção da fábrica (bens de capital) e operação da mesma. Entre os resultados mais interessantes encontrados pelos autores, tem-se que os gastos de energia na fase agrícola da madeira correspondem a aproximadamente 1% do total, enquanto, quando se utiliza cana-de-açúcar para a produção do combustível, a energia gasta na fase agrícola responde por 15% do total gasto na produção do etanol. A relação entre a energia contida no etanol e a energia total gasta para produzi-lo, através de madeira de pinho, de eucalipto e de cana-de-açúcar, foi de 0,62; 0,45 e 0,80; respectivamente. Apesar da cana-de-açúcar fornecer uma perspectiva melhor, sendo mais econômica no gasto de energia e recursos minerais, os autores alegam que esta, por necessitar de terras mais férteis, desloca a cultura de alimentos, que é considerada uma atividade mais nobre.

É um engano acreditar que chegaremos a qualquer tipo de informação definitiva nos processos de contabilização energética e econômica em questão. Os balanços energéticos são úteis mas, deve-se procurar sempre um aprimoramento nos métodos, nunca achando ter encontrado a palavra final sobre qualquer coisa (Dovring, 1985). O universo de pesquisa se torna ainda maior quando tomamos em consideração que os resultados podem apresentar variações enormes entre lugares diferentes. Em se tratando de agricultura, devemos considerar, em princípio, que nunca teremos situações iguais, nem em um mesmo local. As variáveis climáticas (precipitação, insolação, temperatura, etc.), por exemplo, nunca se repetem de um ano para o outro. Existe, ainda, uma infinidade de fatores que provocam variação de dados para um mesmo produto agrícola. No Brasil mesmo, existe várias formas diferentes de cultivar uma dada cultura ou criar uma determinada espécie animal. Fatores tais como tipo de solo, topografia (inclinação, altitude) do terreno podem provocar diferenças enormes no consumo de energia. Somando-se ainda a todas estas fontes de variação citadas, e não menos importante, podemos dizer que até mesmo a tradição local pode introduzir diferenças nos processos produtivos. Se considerarmos as condições entre diferentes países, esta variação pode se tornar gritante, como pode ser analisado a partir do Quadro 10, onde se apresentam dados de diferentes países. O trigo, cuja tecnologia de produção é amplamente difundida e oferece grande margem à mecanização, pode ter seu consumo específico de energia variando de 0,9 a 32 MJ.kg⁻¹ (Quadro 10). Uma forrageira, como o milho para ser ensilado, apresenta variação de consumo específico de energia de 2,1 a 3,9 MJ por kg de matéria seca, segundo dados de um mesmo autor. Diretamente ligado ao escopo do trabalho, o feno (o autor não informa a espécie utilizada), pode consumir de 1,2 a 4,8 MJ de energia para produzir 1,0 kg do produto. Como afirma Pellizzi (1992), há que se considerar que os

resultados apresentados no Quadro 10 abrangem um vasto espectro de condições na Europa e fora dela, como nos E.U.A.

Quadro 10. Comparação entre os resultados de consumo específico de energia obtidos em três locais diferentes para vários produtos agropecuários

Produto	Itália Pellizzi (1992) MJ.kg ⁻¹	E.U.A. Pimentel (1980) MJ.kg ⁻¹	Slesser apud Pellizzi (1992) MJ.kg ⁻¹
Trigo	3,5-4,5	3-32	0,9-12
Milho	4,2-8,4	3,5-18,5	5-11
Arroz	5,4-8,3	10,5-12,0	0,2-12
Batata	0,9-1,5	1,3-3,1	0,2-3,1
Ervilha	4-5	8,4*	0,2-8,3
Feno	2-3,5	1,2-4,8	-
Milho para ensilagem	0,5-0,9	2,1-3,9*	-
Citros	1,2-1,5	0,7-1,2	-
Uvas	1,5-2,9	3,0-15,5	-

* por kg de matéria seca

Fonte: Adaptado de Pellizzi (1992).

Contudo, como já afirmado anteriormente neste trabalho, mesmo quando não são completamente precisos, os dados relacionados a consumo e eficiência energética, constituem poderosas ferramentas de diagnóstico de sistemas produtivos agrícolas. Tanto o é que justifica a existência de numerosos trabalhos neste sentido em todas as partes do mundo. Giampietro et al. (1992) consideram que as análises energéticas e indicadores relacionados de energia parecem ser uma promissora abordagem metodológica para avaliar e investigar os problemas relacionados a sustentabilidade e eficiência de sistemas agrícolas. Porém, países como o Brasil, têm demonstrado, relativamente pouco interesse no desenvolvimento de trabalhos de balanço de energia como meio de avaliar seus processos produtivos. O estudo seriado e persistente pode fornecer subsídios para que os pesquisadores

brasileiros tenham aporte para desenvolver pesquisas energéticas específicas nas várias áreas da agricultura. A determinação de informações específicas para nossas condições serão primordiais para a continuidade da pesquisa no setor, de forma cada vez mais independente de dados específicos importados.

A análise de agroecossistemas sob a ótica de seus fluxos energéticos é um instrumental em fase de aperfeiçoamento (Mello, 1986). A utilização de balanços de energia, pode constituir-se importante instrumental para a definição de novas técnicas e manejos, que podem vir a proporcionar importantes economias de energia e, conseqüentemente, aumento de eficiência e redução de custo de produção, em sistemas de produção de leite mais tecnificados, que possuem utilização intensiva de energia, em suas várias formas. Boyeldieu (1975) ressalva que para os responsáveis pela orientação agrícola, tais como extensionistas, incide a grande missão de transmitir os resultados e orientações a partir dos estudos desenvolvidos nas Universidades e Centros de Pesquisa.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A confecção de uma matriz energética inicia-se pela definição do agrossistema e área, caracterizando-se o período a ser focado. Em seguida detalha-se o itinerário técnico percorrido. Elaboram-se, então, as chamadas rubricas operacionais. Os itens que compõem a matriz de exigência física da cultura são transformados em coeficientes energéticos tomando por base informações primárias e secundárias, determinando seus respectivos consumos energéticos (Bueno et al., 2000). Além de uma caracterização suficientemente detalhada da área em estudo, torna-se essencial, no planejamento da análise energética, a definição clara da delimitação ou fronteira do sistema em estudo, tanto no aspecto da área física como também com relação aos parâmetros envolvidos na inserção e produção de energia (Dovring, 1985).

No desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dados obtidos na produção de feno a partir das forrageiras “coast-cross” e alfafa, no Sistema

Intensivo de Produção de Leite (SIPL), do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite da EMBRAPA, situado em Coronel Pacheco-MG.

Localizado no Centro-Sul do Brasil, o SIPL está inserido na divisão regional da Zona da Mata de Minas Gerais. Geograficamente, o Sistema situa-se a uma latitude de 21°33'22'' Sul e a uma longitude de 43°06'15'' Oeste e com altitude variando de 410 m, na parte mais baixa, a 704 m, no ponto mais alto (BRASIL, 1991; EMBRAPA, 1992).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é C_{wa}: clima quente, temperado chuvoso, com estação seca no inverno entre junho e setembro e com verão quente, precipitação média anual de 1.535 mm, temperatura média anual de 19,5°C, sendo a média dos meses mais quentes de verão (dezembro a março) em torno de 22°C, e a do inverno (junho a agosto) de 16°C. Pela classificação de Thornthwaite, é B_{2r}B_{3a}: clima úmido, com pequena ou nenhuma deficiência d'água, mesotérmico e evapotranspiração média mensal no verão menor que 48%.

O relevo da área caracteriza-se pela heterogeneidade das formações topográficas, destacando-se cinco classes: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado e montanhoso. Dependendo da formação geológica local, são encontrados os seguintes tipos de solos: Latossolos Vermelho-Amarelos, Podzólicos Vermelho-Amarelos, Litólicos, Aluviais, Gleis Húmicos, Gleis Pouco Húmicos, Orgânicos e Colúviais (EMBRAPA, 1980).

Segundo reporta Campos (1997), os objetivos do SIPL são:

- Avaliar técnica e economicamente um sistema intensivo de produção de leite;
- Levantar problemas para a pesquisa;
- Determinar os coeficientes técnicos para cálculos de custos de produção;
- Servir de instrumento para testar e difundir tecnologias avançadas de produção de leite;

- Treinar mão-de-obra; e
- Produzir animais e embriões de alta qualidade.

Tendo em vista os objetivos supra-citados, o presente trabalho tem a pretensão de colaborar no sentido de fornecer dados que caracterizem a utilização de energia na produção de forrageiras, leguminosas e gramíneas, quais sejam alfafa e “coast-cross”, respectivamente, utilizadas na alimentação volumosa para o gado do SIPL, na forma de fardos de feno.

5.1. Limites Estabelecidos para o Sistema Estudado

5.1.1. A Área Global do Sistema Intensivo de Produção de Leite

A área total do Sistema Intensivo de Produção de Leite é de 40,0 ha, dos quais 95% apresenta topografia ondulada e 5% topografia plana, sendo 2,0 ha ocupados com instalações, 3,5 ha de pastagens e 34,5 ha para produção de forragens para corte.

O rebanho é composto por vacas puras da raça holandesa preta e branca, adquiridas nos Estados Unidos e no Paraná. Todas as matrizes em lactação (80 cabeças), fêmeas em recria até a detecção da gestação (35 cabeças), e bezerros em fase de aleitamento (70 cabeças) são criados em regime de confinamento total. O restante do rebanho, ou seja, as novilhas gestantes (16 cabeças) e vacas secas (12 cabeças) são mantidas em pastagens e recebem complementação volumosa (de feno e silagem de milho) e concentrados.

5.1.2. Delimitação do Sistema em Estudo, dentro do SIPL-EMBRAPA

Tendo em vista os argumentos apresentados no item 4.5.8, no presente trabalho, é proposto, como delimitação do sistema estudado, as atividades relativas à produção, fenação e armazenamento de alfafa e “coast-cross”, incluindo todos os processos e gastos energéticos embutidos na atividade. Para melhor esclarecer o limite proposto, é apresentado, na Figura 5, desenho esquemático representando a zona delimitada pelos balanços.

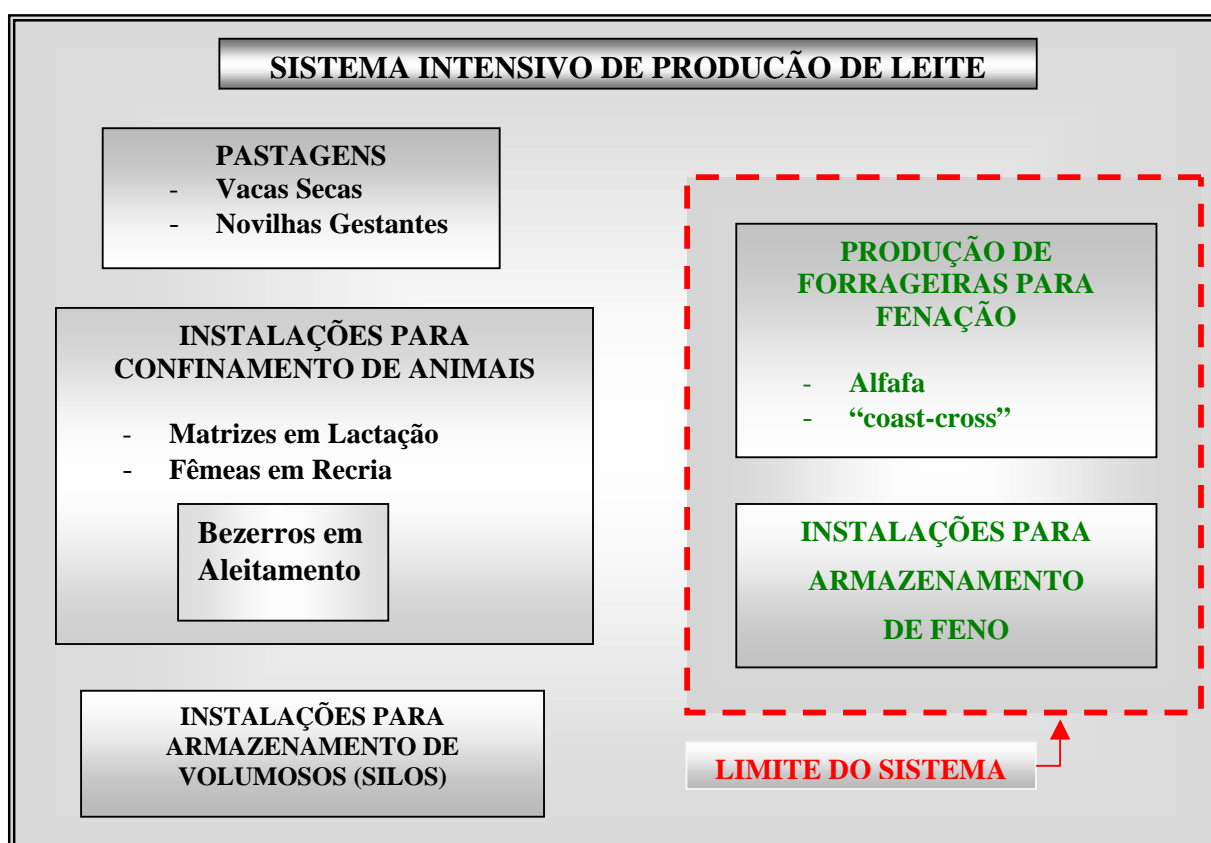


Figura 5. Delimitação do sistema em estudo no presente trabalho, dentro do SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite.

5.2. A Análise Energética

Como afirma Schroll (1994), uma maneira de quantificar partes essenciais do desenvolvimento de uma agricultura é o método do fluxo de energia. A relação entre saída/entrada de energia é proposta como a maneira mais inclusiva de se avaliar a sustentabilidade de um sistema agropecuário.

Nos ecossistemas agrícolas, o homem, para obter determinada produção, combina os recursos energéticos gratuitos da natureza (recursos naturais renováveis) com fatores de produção que aí introduz e que podem ser contabilizados em energia (trabalho, adubos, equipamentos, etc.). Do ponto de vista ecológico, o rendimento do sistema é dado pela relação (Carvalho, 1980):

$$\frac{\text{Produção Bruta Ecológica}}{\text{Conjunto de "Inputs" Energéticos}} \quad \text{Eq. 5}$$

Que pode, também, ser expressa da forma:

$$\frac{\text{Produção Utilizada pelo Homem} + \text{Produção não Utilizada}}{\text{"Inputs" Energéticos não Gratuitos} + \text{"Inputs" Energéticos Gratuitos}} \quad \text{Eq. 6}$$

Porém, seu cálculo é difícil dado o numerador incluir a totalidade da biomassa produzida no sistema e o denominador referir-se aos dois tipos de “inputs” antes mencionados. Devido a este fato, o autor pondera que deva ser considerado as grandezas da Equação anterior que podem ser medidas em energia:

$$\frac{\text{Produção Utilizada pelo Homem}}{\text{"Inputs" Energéticos não Gratuitos}} \quad \text{Eq. 7}$$

No caso do presente trabalho, levando-se em consideração a fronteira do sistema adotada, a “Produção Utilizada pelo Homem” é equivalente àquela energia

disponível no alimento volumoso, em forma de fardo de feno, à ser fornecida aos animais. Este indicador pode ser designado por rendimento energético, uma vez que mede a eficiência do emprego da energia não gratuita introduzida no sistema. Apesar de se terem eliminado do índice de rendimento energético os recursos naturais renováveis gratuitos, notadamente a energia solar, a eficácia produtiva continua, no entanto, indiretamente, a ser tida em conta. Com efeito, para um dado nível de produção, o índice será mais elevado se os “inputs” energéticos não gratuitos forem reduzidos (Carvalho 1980). Vários autores têm adotado metodologia semelhante, com relação à consideração destes “inputs” (Beber, 1989; Campos et al., 2000; Carmo et al., 1988; Castanho Filho & Chabaribery, 1983; Clements et al., 1995; Cleveland, 1995; Comitre, 1993; Giampietro et al., 1992; Mello, 1986; Mesquita et al., 1982; Pereira Filho, 1991; Pimentel et al., 1973; Quesada et al., 1987; Serra et al., 1979; Siqueira et al., 1999; Ulbanere, 1988; entre outros).

Além dos aspectos apontados por Comitre (1993), descritos no item 4.5.8, Pellizzi (1992) corrobora a decisão de não se utilizar a energia solar afirmando que a disponibilidade desta não requer nenhuma outra fonte convencional de energia adicional.

5.2.1. Energias Direta e Indireta

A energia utilizada nas operações de produção agrícola depende de vários fatores (Bridges & Smith, 1979). Como mencionado no item 4.5.4, existem diferentes formas de sub-dividir a energia injetada em sistemas agrícolas, sendo a mais comumente empregada nos trabalhos estudados, definida por “Energia Direta” e “Energia Indireta”.

O “input” total de energia direta de uma determinada prática não inclui somente o combustível fóssil utilizado (Bridges & Smith, 1979). Além desta, existem outras utilizações da energia derivada de petróleo, de forma direta na agricultura, tais como aquelas contidas nos lubrificantes, pneus e até adubos, corretivos e defensivos agrícolas. Porém, um estudo completo da energia investida deve levar em consideração, também, as energias de origem biológica, como o trabalho humano e a animal, aquela contida nas sementes, mudas e providas de biomassa, de uma forma geral.

A energia indireta, utilizada na agricultura, é aquela empregada na fabricação de maquinário, construções e instalações, sistemas de irrigação e outros “inputs” necessários à produção (Cleveland, 1995). Carmo et al., (1988) consideram que, para se converter grandezas físicas em energéticas não há maiores dificuldades quanto ao cálculo da energia direta. Metodologicamente, porém, encontram-se problemas quando da transformação da energia indireta que possa estar embutida em máquinas, implementos agrícolas e outros insumos, já que todo produto disponível à produção foi objeto de gastos anteriores com trabalho humano, matéria-prima e transporte. Ao se converter também esta energia, a contabilidade torna-se mais realista. Serra et al., (1979) completam que a maior dificuldade para obtenção do indicador energético de uma dada cultura (isto é, a grandeza que mede a quantidade de energia investida no preparo do produto agrícola) é a computação cuidadosa da energia indireta embutida nas máquinas e nos produtos químicos utilizados como insumo para a lavoura.

Cleveland (1995) informa que a maioria dos trabalhos em análise energética se baseiam na conversão de unidades físicas dos “inputs” (toneladas de fertilizantes ou toneladas de metal contida em tratores, por exemplo) em unidades energéticas, utilizando o

custo energético para a produção de uma unidade de cada “input” (MJ.tonelada⁻¹ de fertilizante ou aço). Para este autor, a principal vantagem de se utilizar os dados físicos é que existem informações técnicas, nas publicações na área de engenharia, que podem ser utilizadas para avaliar objetos específicos ou processos, como a produção de fertilizantes ou tratores.

No caso do presente estudo, há um fator que pode complicar o cálculo do uso de diversas fontes de energia indireta. Um exemplo claro é o uso de tratores. Como já descrito anteriormente, o escopo do trabalho é a caracterização energética da produção de alimentos forrageiros, na forma de feno, e não a avaliação do Sistema de Produção de Leite, que incluiria os animais e demais atividades. O problema que surge é o seguinte: sendo um sistema (ou atividade pecuária - produção de feno) inserido em um sistema maior (SIPL), como se observa na Figura 5, alguns “inputs” indiretos de energia não estarão envolvidos exclusivamente com a produção delimitada para estudo, como acontece com os tratores. Estes tem seu uso nas atividades de produção de alfafa e “coast-cross” restritos a certos períodos do ano. Logicamente, não seria racional manter um trator e seus implementos somente para a produção das forrageiras em questão. Esta ocorrência não se observa somente em estudos específicos como o presente, mas, de uma forma geral, na atividade agropecuária. Muitas máquinas podem ser utilizadas para diversas culturas diferentes em um sistema agrícola maior, como acontece nas grandes fazendas. Existem também outras formas de utilização ocasional de equipamentos ou insumos nos diversos segmentos agropecuários; sendo possível citar exemplos de situações rotineiras como o caso de aluguéis de máquinas para os períodos de safra ou utilização de máquinas agrícolas de cooperativas; e, ainda, exemplos mais específicos, como o caso de utilização de aviões agrícolas (na maior parte dos casos o produtor contrata um serviço temporário, de uma empresa especializada).

Neste caso, Doering III et al. (1977), desenvolveram metodologia específica para quantificar de forma mais precisa os “inputs” de energia indireta utilizadas no sistema delimitado, através da depreciação energética, segundo os dias de utilização e em função da vida útil dos equipamentos.

5.3. Produção do Feno

Neste item, serão descritos, os procedimentos para implantação e condução das culturas, com vistas à produção de feno. Inicialmente é tratado, de forma mais detalhada, da produção de “coast-cross”. No item 5.3.2 é descrito, de forma mais direta e sucinta, a produção de alfafa, para não haver repetições excessivas de procedimento de duas culturas com condução semelhantes.

Cabe ressaltar aqui que, a produção do feno conduzida pelo SIPL da EMBRAPA - Gado de Leite, foi realizada seguindo as recomendações técnicas mais adequadas para o desenvolvimento das culturas, pormenorizadas no item 4.4, procurando realizar as atividades da mesma maneira que aconteceria em uma “propriedade comercial”.

5.3.1. “Coast-Cross”

5.3.1.1. Áreas Utilizadas Para o Plantio da Cultura

Na condução da cultura do “coast-cross” para produção de feno, que gerou o conjunto de informações empregadas nesta pesquisa, foram utilizadas duas áreas de baixada em que a primeira (Área I, Figura 6), com 3,0 ha, foi implantada em março de 1990 e utilizada até dezembro de 1996. A segunda (Área II), com 12,0 ha, foi implantada entre março de 1991 e novembro de 1994, sendo utilizada também até dezembro de 1996 para a produção de feno.



Figura 6. Cultura do “coast-cross” – SIPL (EMBRAPA – Gado de Leite).

5.3.1.2. Procedimento de Controle de Invasoras

O uso adequado dos herbicidas implica no seu emprego com a finalidade de controlar as plantas invasoras, evitando a competição com as plantas cultivadas (Victoria Filho, 1985). Segundo indicação de Mislevy & Pate (1996), os melhores resultados de controle de ervas invasoras em forrageiras *cynodon* são obtidos aplicando-se o herbicida quando essas plantas ainda estão jovens e imaturas. De acordo com Resende & Alvim (1996), nos primeiros 60 dias do estabelecimento da forrageira, a atenção ao controle das plantas invasoras é fator importante para garantir o sucesso na formação da lavoura e evitar problemas futuros. As ervas invasoras perenes devem ser eliminadas através de arranquio manual, com enxada ou com a aplicação localizada de herbicida à base de glyphosate. As ervas anuais poderão ser controladas com roçada manual ou mecânica.

Como foi constatada existência de alta infestação de ervas invasoras perenes nos solos de baixada do SIPL (Pereira, 1990), foi utilizado o herbicida, à base de glyphosate, com uma dosagem de 4 litros por hectare, para o controle destas ervas. Na operação, tratorizada, empregou-se pulverizador motorizado de barra (equipamento mostrado na Figura 7), com a aplicação conduzida antes da aração.

5.3.1.3. Operação de Correção do Solo

De forma similar às outras plantas forrageiras, o “coast-cross” necessita de suprimento adequado dos macro e micro nutrientes, para que tenha desenvolvimento normal.



Figura 7. Equipamento utilizado para aplicação de herbicida – pulverizador de barra.

Após realizada análise do solo do SIPL, nas áreas escolhidas, procedeu-se à correção, distribuindo-se, a lanço, 2,5 toneladas de calcário dolomítico por hectare, visando obter uma elevação da saturação de bases até o nível de 60%. O calcário dolomítico foi incorporado ao solo, durante a aração, a uma profundidade de 0,25 a 0,30 m, 30 dias antes do plantio (Resende & Alvim, 1996).

5.3.1.4. Operação de Preparo do Solo

O solo bem preparado assegura melhor pegamento das mudas, facilita tratamentos culturais, reduz a infestação de invasoras indesejáveis, melhora a capacidade de infiltração e retenção de água no solo e ainda oferece condições adequadas de manejo com as máquinas de colheita.

No preparo do solo para plantio do “coast-cross” no SIPL, procedeu-se a somente uma aração, em que usou-se arado com quatro discos fixos, que, além de revolver e escarificar o solo, promoveu também a incorporação, tanto dos resíduos das plantas que

sofreram a ação do herbicida, quanto do calcário lançado, seguindo-se de duas gradagens, onde se utilizou grade niveladora, visando destorroar o solo e inibir a infestação de ervas invasoras (Figura 8).



Figura 8. a) Operação de aração do terreno para o plantio do capim “coast-cross”; b) operação de gradagem, para o mesmo fim

5.3.1.5. Operação de Adubação e Plantio

A adubação, por ser uma operação caracterizada por intensiva utilização de energia direta, originada de derivados de petróleo (Pimentel, 1973), procura-se a melhor acuracidade na medida do consumo deste importante insumo na composição da matriz energética do sistema. No caso do “coast-cross”, a adubação foi realizada a lanço, aplicando-se manualmente o fertilizante, antes de se proceder à abertura dos sulcos. O adubo utilizado foi o P_2O_5 , a uma taxa de 110 kg por hectare.

O “coast-cross” é multiplicado por mudas enraizadas ou, mais freqüentemente, por estolhos de caules finos, os quais possuem pouca reserva e por isto se desidratam com grande facilidade quando expostos ao ar seco. Devido a este fato, o plantio foi

realizado logo após o corte das mudas, efetuando-se imediatamente sua cobertura com o solo (Resende & Alvim, 1996).

Utilizando-se arado reversível de três discos, foram feitos sulcos de 0,15 m de profundidade, espaçados de 0,60 m, para a distribuição das mudas, a uma taxa de 2,5 t.ha⁻¹, estando estas maduras e livres de invasoras. As mudas foram colocadas nos sulcos, manualmente, em molhos de 3 a 4 estolhos. A cobertura das mudas nos sulcos foi realizada através da terra lançada pelos discos do arado, em sua passagem para abertura do sulco adjacente.

O primeiro plantio (denominado “Inverno com irrigação”) ocorreu na Área I, em 8 de março de 1990, procedendo-se a uma corte de uniformização 59 dias após o plantio e o primeiro corte para fenação foi realizado 100 dias após o plantio. Na Área II, ocorreram dois plantios, sendo o primeiro em 16 de março de 1994 (denominado, para diferenciação, de “Inverno sem irrigação”) e o segundo em 25 de novembro de 1994 (denominado de “Verão sem irrigação”). Nesta segunda área, os cortes de uniformização e primeiro corte para fenação foram realizados com 92 e 209 dias após o plantio, para o cultivo de Inverno sem irrigação, e com 40 e 102 dias após o plantio, para o cultivo de Verão sem irrigação, respectivamente.

5.3.1.6. Estabelecimento, Condução e Manejo do “Coast-Cross”

A fase de estabelecimento é aquela compreendida entre o plantio e o início do uso definitivo da forragem. Neste período, são recomendados, o controle de plantas

invasoras, o corte de estabelecimento ou rebaixamento para uniformização do crescimento e, pelo menos, uma adubação de cobertura (Resende & Alvim, 1996).

Na fase de estabelecimento foi realizada uma irrigação convencional, no dia do plantio. Na manutenção da lavoura, foram efetuadas seis irrigações/ano, mantendo-se 60-65% de água disponível no solo, monitorada através de tensiômetros de cápsulas porosas instalados na área. Cada irrigação fornecia, em média, 20 mm de água, com período médio de 3,75 horas de irrigação por hectare.

De quarenta a sessenta dias após o plantio, a forragem já cobria o terreno. Realizou-se, ainda, no período de estabelecimento: o combate às plantas invasoras, o corte de estabelecimento, através de uma segadora de dois discos (equipamento mostrado na Figura 9-a), visando auxiliar no controle de ervas daninhas, uniformizar o stand (e facilitar as condições para aplicação de fertilizantes em cobertura); e uma adubação de cobertura, aplicando-se, a lanço, 50 kg de nitrogênio.ha⁻¹ e 40 kg de K₂O.ha⁻¹. As ervas invasoras perenes foram eliminadas, através de pulverizador costal, com a aplicação localizada de herbicida à base de glyphosate. Já as ervas anuais foram controladas através de roçada mecânica.

5.3.1.7. Cortes e Produção do Feno do “Coast-Cross”

Após 100 dias do plantio, o capim “coast-cross” já estava com aproximadamente 0,60 m de altura. Nesta ocasião foi feito o primeiro corte destinado à produção de feno, utilizando-se segadora de dois discos, tracionada por trator (Figura 9 - a), a uma altura de 0,07 a 0,10 m do solo. Foram realizados de seis a sete cortes por ano, sendo

quatro cortes no período de outubro a fevereiro, com intervalo de cinco semanas, e três cortes de março a setembro, com intervalo de nove semanas, destinados à produção efetiva do feno.



Figura 9. a) Segadora de dois discos utilizada para o corte da forrageira; b) Segadora promovendo corte de alfafa.

A colheita no momento certo, a secagem rápida e uniforme da forrageira, e o seu recolhimento com o teor de umidade adequado são condições fundamentais para a produção de feno de boa qualidade (Sampaio et al., 1997). Buscando atingir estes objetivos, o SIPL/EMBRAPA optou pela utilização do processo mecanizado, onde, o corte foi realizado por uma segadora, como mencionado anteriormente; após o corte a forragem era mantida no próprio local, sendo espalhada, enleirada (Figura 11-b) e revolvida (Figura 10-b), utilizando-se para isso o ancinho (Figura 10-a), visando facilitar sua secagem e recolhimento. Depois da secagem, o material era recolhido, enfardado, e deixado no campo, através de um implemento denominado enfardadora; esse processo é ilustrado nas Figuras 12 e 13.



Figura 10. a) ancinho rotativo; b) ancinho promovendo a operação de revolvimento de leiras de “coast-cross”.



Figura 11. a) Forrageira enleirada no campo, para secagem e posterior enfardamento e recolhimento; b) detalhe das leiras de “coast-cross” no campo, secando.



Figura 12. Enfardadora recolhendo material na leira para enfardar.



Figura 13. Fardos de feno prontos, depositados no campo para posterior recolhimento.

Na seqüência, o capim já devidamente seco e enfardado, era transportado até seu local de armazenamento definitivo, ou seja, o Galpão de feno, já pronto para ser oferecido aos animais – neste ponto encerra-se o limite do sistema estudado.

Através da Figura 14, observa-se: a) ainda a campo, fardos prontos do capim “coast-cross”, e b) fardos já armazenados no galpão do SIPL, sobre estrados de madeira.



(a)



(b)

Figura 14. (a) Fardos de “coast-cross”, já prontos, no campo; (b) fardos de feno de “coast-cross” armazenados no galpão do SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite.

5.3.2. Alfafa

5.3.2.1. Áreas Utilizadas Para o Plantio da Cultura

Para a condução da cultura da alfafa, o SIPL-EMBRAPA – Gado de Leite utilizou uma área de baixada, chamada “Várzea da Jaguará”, com área de 3,3 ha, que foi utilizada para plantio de alfafa de 1989 até 1995. A Figura 15 mostra o campo de produção utilizado, num estágio de desenvolvimento de 20 dias após corte.



Figura 15. Campo de Produção – cultura da alfafa, Várzea da Jaguará – SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite.

5.3.2.2. Operação de Correção do Solo e Distribuição de Matéria Orgânica

Seguindo recomendações baseadas na análise do solo (Quadro 1.2), foi realizada a operação de calagem. Distribuiu-se 50 % do total do calcário, (durante as arações), com seis meses de antecedência, devido à sua baixa solubilidade, a uma profundidade de 0,30 m. De acordo com Carvalho & Vilela (1994), a prática de incorporação mais profunda do calcário visa reduzir o teor de alumínio trocável do solo em profundidade, permitindo maior aprofundamento das raízes secundárias e, conseqüentemente, maior eficiência na absorção de água e nutrientes do solo. O restante do calcário foi aplicado a uma profundidade de 0,15 m, através de gradagem. A quantidade total de calcário dolomítico aplicada foi de 7,5 t.ha⁻¹.

Tendo em vista que a matéria orgânica melhora a estrutura do solo, aumenta a retenção de água e fornece nutrientes às plantas, no SIPL-EMBRAPA optaram por misturar 10 t de cama de aviário, com 600 kg de superfosfato simples. Segundo Avila et al. (1992), o superfosfato é um bom agente fixador de nitrogênio além de incrementar o conteúdo em fósforo no esterco, aumentando desse modo seu valor fertilizante e, pelo baixo custo e disponibilidade é estimulado seu uso. Após as aplicações, foi feita a incorporação a 0,10 m de profundidade, através de enxada rotativa. De acordo com o autor, as percentagens disponíveis de N, P₂O₅ e K₂O para a cama de aviário, proveniente de estudo envolvendo seis lotes, são de 3,5; 4,0 e 3,0; respectivamente. Estes valores foram utilizados para a composição energética do insumo, levando em consideração os coeficientes dos elementos.

5.3.2.3. Operação de Plantio e Adubação

A alfafa, como outras leguminosas forrageiras, possui a capacidade de fixar nitrogênio do ar, por meio da simbiose com bactérias diazotróficas e de incorporar esse nutriente ao sistema solo-planta-animal, utilizando a energia solar, através dos produtos da fotossíntese. O processo de fixação do nitrogênio ocorre nos nódulos, que são engrossamentos arredondados observados nas raízes de alfafa inoculada pela bactéria. Ao se inocular as sementes, procura-se colocar junto a estas grande população da bactéria. Esta bactéria é específica para a alfafa e não ocorre naturalmente nos solos das regiões tropicais (Vilela, 1998; Carvalho & Vilela, 1994). Portanto, tornou-se necessário, por ocasião do plantio, fazer a inoculação, que consiste em misturar 100 g de inoculante comercial, contendo *Rhizobium melioli*, com 100 ml de água, até formar uma pasta homogênea, que deverá ser misturada com 10 kg de sementes de alfafa, sendo em seguida espalhadas e deixadas para secar em local sombreado e arejado, devendo ser plantadas até o dia seguinte, ou adquirir sementes previamente preparadas, inclusive inoculadas.

Determinar exatamente a energia embutida na inoculação das sementes de alfafa é difícil à medida que a grande maioria dos dados específicos encontrados na literatura são de outros países, principalmente dos Estados Unidos e de países da Europa.

Mello (1986) informa que os materiais de propagação de culturas são sementes, mudas, bulbos, estacas, etc., e pode ser incluído aqui a inoculação de sementes. Representa este item, geralmente, segundo o autor, parcela substancial da energia total investida na produção agrícola. Ele completa que a produção, processamento e distribuição dos materiais de propagação podem variar, segundo diferentes autores e diferentes culturas, de

3% até 11% do custo energético total desta cultura. A metodologia empregada para a determinação energética deste insumo é apresentada no item 5.4.3.

O plantio foi mecanizado, realizado através de semeadora adubadora (Figura 16), em dezembro de 1989. O equipamento foi regulado para semear a 0,005 – 0,02 m de profundidade, a uma taxa de 15 a 17 kg sementes viáveis por hectare, com espaçamento entre linhas de 0,30 m.



Figura 16. Semeadora adubadora utilizada para o plantio da alfafa.

A adubação de plantio foi realizada no processo de semeio (Figura 16), utilizando-se:

- Superfosfato simples – 500 kg.ha⁻¹;
- Cloreto de Potássio – 120 kg.ha⁻¹;
- Nitrocálcio – 300 kg.ha⁻¹;
- Fertilizante FTE BR 16 – 50 kg.ha⁻¹.

5.3.2.4. Operação de Controle de Invasoras e Adubação de Manutenção

O controle de ervas invasoras se iniciou antes do estabelecimento da cultura, aplicando o herbicida Eradicane (EPTC) PPI, à taxa de 7,0 l.ha⁻¹. No pós-plantio foi aplicado Poast + Assist à taxa de 1,5 l.ha⁻¹ ou os seguintes: Bentazon, Fluazifop-butil, Hloxyfop-metil e Sethoxydin, entre outros, como possíveis de serem utilizados, como sugerem Carvalho & Vilela (1994).

Na adubação de manutenção utilizou-se 60 kg.ha⁻¹ de Superfosfato simples, e 120 kg.ha⁻¹ de Cloreto de Potássio, aplicados a cada dois cortes. Duas vezes por ano eram aplicados os micronutrientes (FTE BR16).

5.3.2.5. Irrigação

O SIPL planejou as irrigações de tal forma que o solo não estivesse molhado na colheita, nem seu conteúdo de umidade fosse inferior a 25% da capacidade de armazenamento de água neste momento. Como a alfafa apresenta um sistema radicular bastante desenvolvido, podendo atingir até 1,80 m de profundidade, as irrigações podem ser feitas com maiores volumes de água e com intervalos, maiores, diferentemente das culturas que apresentam sistema radicular menos desenvolvido, que necessitam de irrigações mais freqüentes e com menores volumes de água.

Sendo o sistema de irrigação por aspersão o método mais difundido, este foi adotado no SIPL, aproveitando equipamento utilizado também em outras culturas.

A Figura 17 mostra a utilização da irrigação na implantação da cultura da alfafa no SIPL, na Várzea Jaguará, 7 dias após a germinação e na Figura 18 observa-se o campo sendo irrigado, 25 dias após corte.



Figura 17. Irrigação da alfafa no período de implantação.



Figura 18. Campo de alfafa irrigado.

A irrigação foi feita com um turno de rega semanal, no período compreendido entre o plantio até os dois primeiros meses após a germinação, e, em média, um turno a cada 15 dias, no período de manutenção da cultura.

5.3.2.6. Cortes e Produção do Feno da Alfafa

As operações de corte e produção do feno da alfafa são as mesmas apresentadas para o “coast-cross”.

5.4. Coeficientes Energéticos/Conversão Energética

5.4.1. Trabalho Humano

Como já afirmado anteriormente, a contabilização energética advinda do trabalho humano constitui parte controvertida das pesquisas de análise energética. Alguns autores não consideraram a mão-de-obra em seus estudos de balanços energéticos. Ulbanere (1988) justifica esta opção afirmando que a energia contida no homem e despendida em seu esforço diário tem pouca expressividade em relação à energia fóssil, e também, porque a maior parte das operações admitidas na atividade agrícola são de tração mecanizada. Já o grupo do Institute for Energy Analyses of Oak Ridge, apud Serra et al. (1979), sugere que a energia gasta na forma de mão-de-obra não deve ser computada para fins de avaliação do índice de

energia de um determinado produto, alegando que o homem, quer trabalhando quer desempregado, consome praticamente a mesma quantidade de alimento, moradia, vestuário, etc. Fluck (1976), em raciocínio completamente antagônico, considera que a energia consumida pelos trabalhadores “não-produtivos” deveria ser adicionada à energia total consumida pelos produtivos.

Deleage et al. (1979) advertem que as características do trabalho rural limitam a precisão das estimativas de tempo de trabalho. O trabalho irregular, característico do meio rural, dificulta contabilizar a carga horária que é efetivamente despendida com o trabalho de cultivo e o tempo dedicado à família, levando em conta a natureza familiar deste trabalho, principalmente quando as esposas dos agricultores são consideradas. Entretanto a EMBRAPA estipula horários de trabalhos definidos, dentro de determinados limites, para seus funcionários, nas diversas atividades em que são engajados. Isto contribui para uma maior acuracidade na contabilização das horas de trabalho humano, apesar deste ser também, logicamente, dependente de condições adversas, tais como o clima.

Um quesito que deve-se ter em conta, uma vez que pode mudar drasticamente a forma de análise da energia injetada na forma de mão-de-obra, é a delimitação do sistema a ser estudado (Figura 5). Como afirmam alguns autores, tais como Fluck (1976) por exemplo, considerar somente a energia injetada pelo trabalho do homem, ou a energia equivalente àquela quantidade de alimento que ele ingere, seria enquadrar o trabalhador humano em uma qualidade de vida baixíssima. Porém, isto se aplica, quando se considera a totalidade do trabalho executado por este homem, seu consumo energético para o bem estar e família e etc. Neste contexto, a contabilização de todos os “inputs” que podem estar associados à condição de vida do trabalhador somente deverá ser feita em casos em que este

trabalhador manter todas suas atividades enquadradas dentro da delimitação adotada para o sistema, como acontece, por exemplo, quando se está estudando uma fazenda em seu todo, associações de produtores, assentamentos completos, etc. Ainda assim, a análise se torna mais complexa, à medida que o trabalhador, pode consorciar outras atividades, simultaneamente, em sistemas distintos, o que acontece muito nos países em desenvolvimento, onde este indivíduo procura uma renda extra para tentar manter um padrão mínimo para sua família. No presente caso, uma análise da energia total consumida pelos trabalhadores, deveria ser considerada, somente se a delimitação do sistema englobasse todo SIPL (Figura 19).

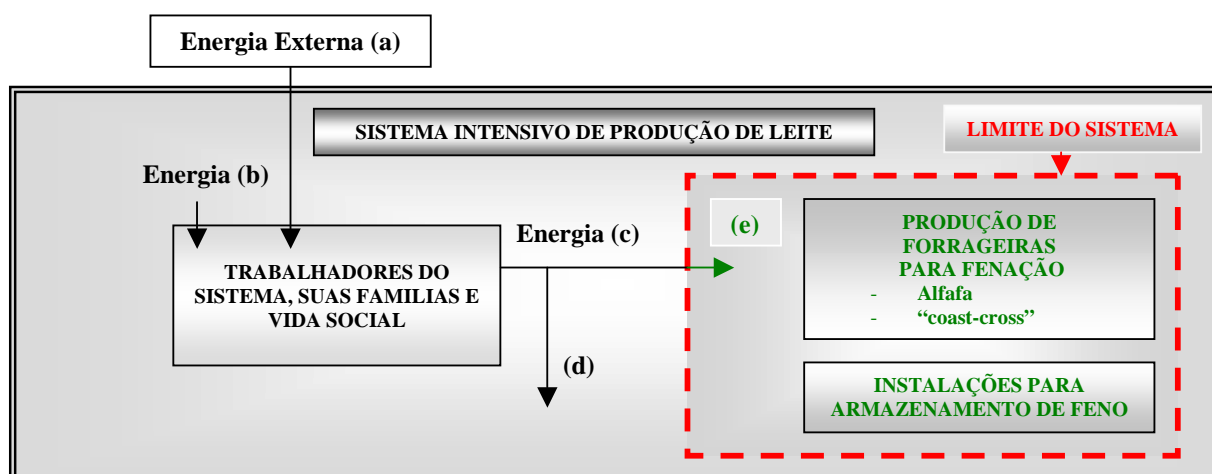


Figura 19. Fluxos de energia relativos ao trabalho humano, suas famílias e contexto social; onde (a) se refere a energia externa ao sistema delimitado, injetada para os trabalhadores e suas famílias; (b) se trata de uma fração da energia fornecida pelo próprio sistema aos trabalhadores e suas famílias; (c) é a energia fornecida pelos trabalhadores ao sistema, sendo sub-dividida em (d) – energia utilizada pelo sistema excluindo as atividades relativas ao feno e (e) a energia efetivamente utilizada para a produção de feno.

Analisando-se a Figura 19, depreende-se que os trabalhadores recebem energia, advinda do exterior do sistema, que é aquela necessária para manutenção do seu bem estar e de sua família (fluxo “a”, da Figura 19). Esta energia será tanto maior quanto mais

tecnificado e especializado for o sistema, e, também está intimamente relacionada com o grau de desenvolvimento (econômico) do país onde vive, a medida que a taxa de consumo é função do poder aquisitivo. Por outro lado, este fluxo será tanto menor, quanto menos especializado e tendendo para à agricultura de subsistência se apresentar o sistema. O fluxo “b”, é aquele advindo de dentro do próprio sistema. Como exemplo, pode-se citar, aquelas energias advindas de alimentos cultivados dentro do sistema, tais como hortaliças, leite, grãos; lenha para cocção; etc. Quando se considera o estudo em órgão público, como é o caso da EMBRAPA, o fluxo de entrada de energia “b” tende a ser menor, devido às peculiaridades deste tipo de sistema. De toda energia produzida pelos trabalhadores (fluxo “c”), somente uma pequena parte dela (o fluxo “e”) será efetivamente empregada na produção dos fenos de “coast-cross” e alfafa, delimitados pelo presente trabalho, já que as atividades envolvidas na produção destes, estão limitadas a alguns períodos curtos do ano.

Devido ao exposto, optou-se por utilizar somente a energia advinda dos trabalhadores efetivamente utilizada na produção de feno, ponderada pela carga horária dedicada a esta atividade, que é monitorada minuciosamente pelos pesquisadores e técnicos que fazem o controle econômico do sistema.

Como já afirmado algumas vezes neste trabalho, o SIPL possui agricultura intensiva, tanto no que se refere a aplicação de insumos de uma forma geral, quanto na mecanização das atividades. Sendo as atividades tratorizadas, relevantes na composição da matriz energética, optou-se por utilizar os dados de consumo de energia por tratoristas apresentados por Carvalho et al. (1974), cujos resultados são obtidos através de medições diretas, em procedimento científico específico, já descrito no item 4.5.5.2. Este índice médio é de $386,40 \text{ kJ.h}^{-1}$.

Dentre os trabalhos consultados na literatura, que fornecem dados relativos ao consumo instantâneo de energia (utilização direta de energia), para serviços braçais, abrangendo dados mais generalizados, ou seja, para diferentes atividades, destaca-se o de Giampietro & Pimentel (1990), Equação 3. Uma vez que na produção do feno no SIPL, somente está envolvida mão-de-obra masculina, o índice da Equação 3 se reduz a 90 W, ou seja, 324,00 kJ.h⁻¹. Apesar de ser um pouco maior, este valor pode ser considerado próximo a aquele apresentado por Bansal et al. (1988) (item 4.5.5.2). Entretanto, se compararmos com o valor médio apresentado para operação de trator, por Carvalho et al. (1974), que utilizou um equipamento considerado de boa precisão, o respirômetro, estes valores parecem subestimar o consumo energético pelos homens para desempenhar suas tarefas. Desta forma, optou-se por utilizar aquele valor apresentado por Carvalho et al. (1974) como padrão para todas atividades envolvendo mão-de-obra (386,40 kJ.h⁻¹).

5.4.2. Construções e Instalações

O cálculo preciso da composição energética de construções e instalações rurais é considerado complexo. Comitre (1993), por exemplo, salienta que, além de ser difícil determinar um padrão médio de edificações rurais, encontrar coeficientes energéticos para todos os componentes para o desenvolvimento de uma construção, compatíveis com a realidade rural brasileira, representa uma tarefa extremamente difícil,

sendo que, por esse motivo, a autora optou por não computar as energias despendidas em construções residenciais ou de serviço em seu trabalho.

Os sistemas Intensivos de Produção de Leite caracterizam-se pela utilização de agricultura intensiva, tanto no aspecto das máquinas e equipamentos, como, principalmente, no que tange às Instalações. Estas Instalações, podem ser divididas, para análise do presente sistema em estudo, em Instalações para abrigo de animais (Free-stalls, Loosing-houses, etc) e Instalações de Infra-estrutura, tais como: Sistemas de Captação, Coleta e Reservatório de Água; Sistema de Tratamento de Resíduos; Instalações para Armazenamento de Alimentos Concentrados e Volumosos. Estas últimas desempenham papel primordial nos Sistemas Intensivos de Produção de Leite, uma vez que possibilitam a existência do confinamento. De uma forma simplista, pode-se afirmar que o animal até suporta condições de desconforto ambiental, no que se refere ao micro-clima no interior das Instalações, mas não pode suportar falta de alimentos, ou seja, antes de se ter Instalações de abrigo para os animais, é necessário prover Instalações de Armazenamento de Alimentos. Dividindo-se, ainda mais, dentro das Instalações para Armazenamento de Alimentos, existem as Instalações para guarda de Concentrados e para Volumosos, que, se sub-divide, ainda, em Silos (para armazenamento de silagens, principalmente de milho, no SIPL) e Galpões para armazenamento de fenos (Figuras 20 a 24).

Tendo em vista o Limite de Sistema proposto no presente trabalho, considerou-se que a única Instalação diretamente relacionada ao estudo da matriz energética composta, é aquela para o armazenamento dos fardos de feno (Figura 5).

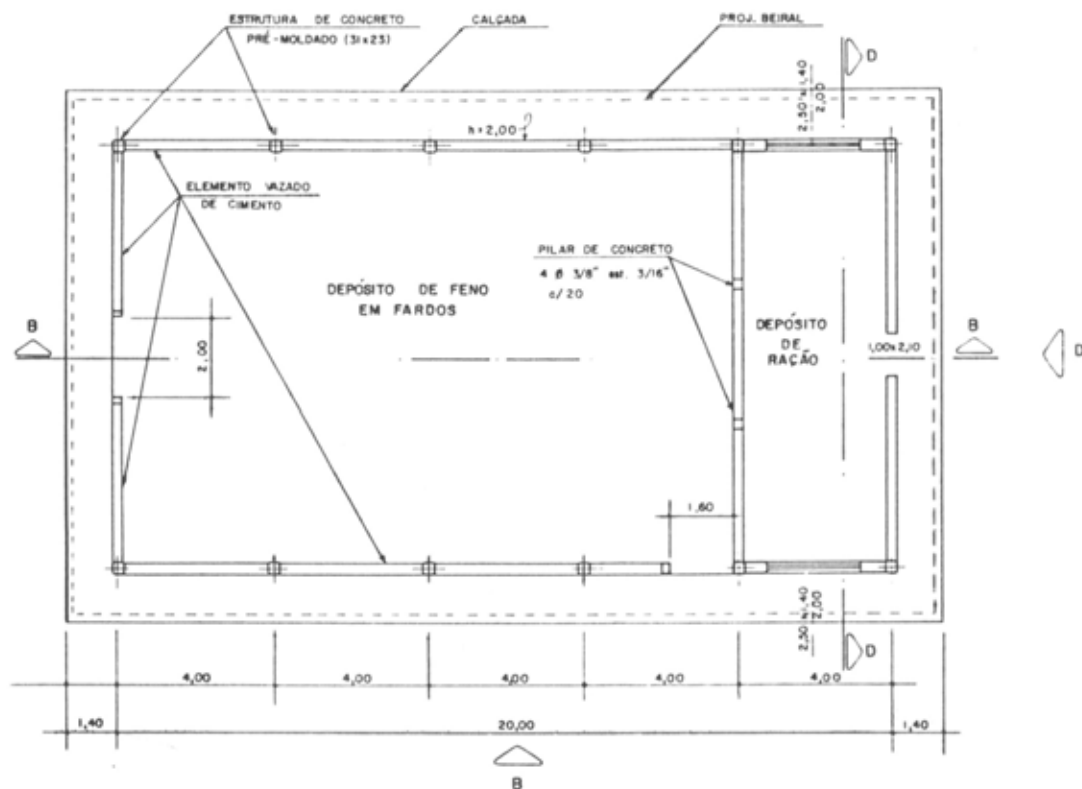


Figura 20. Planta Baixa do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, (Incluindo Depósito para Concentrados) EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala).

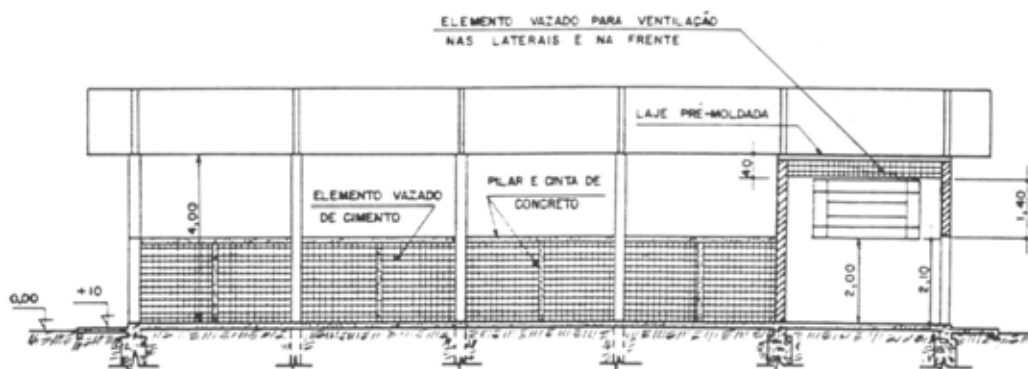


Figura 21. Corte Longitudinal BB do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala).

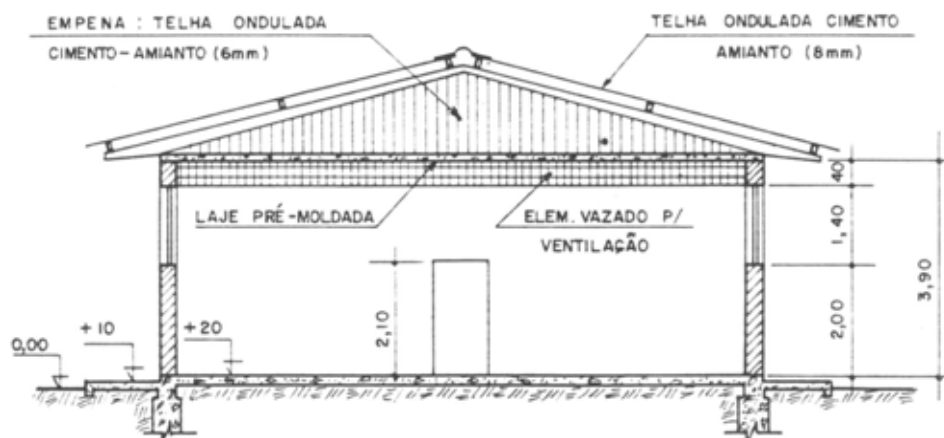


Figura 22. Corte Transversal DD do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala).

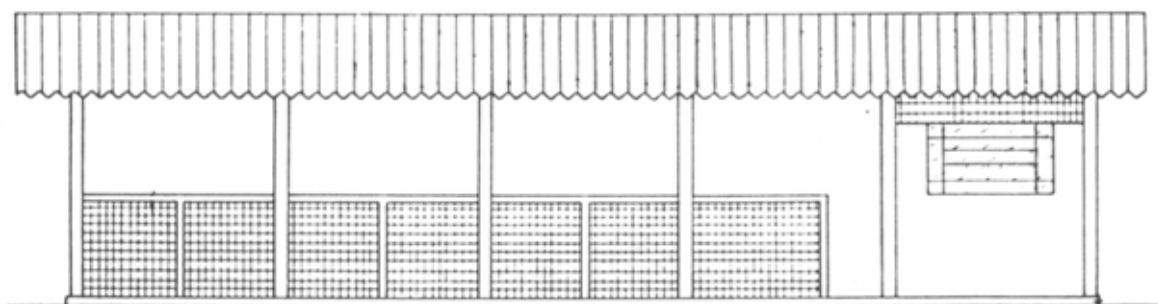


Figura 23. Elevação "B" do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala).

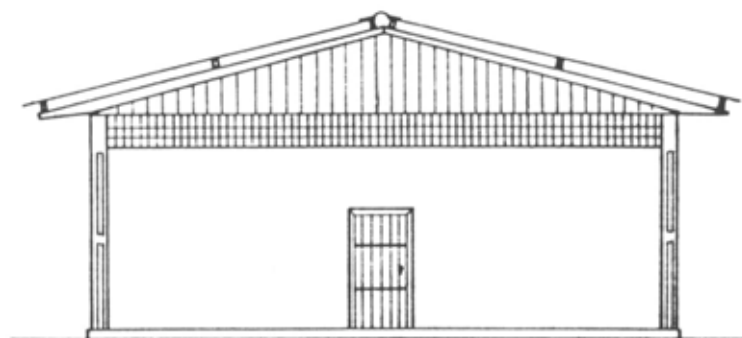


Figura 24. Elevação "D" do Galpão de Armazenamento de Feno do SIPL, EMBRAPA – Gado de Leite (Sem Escala).

Levando-se em consideração que as construções para o meio rural, possuem diferenciadas tecnologias de concepção, condução, e, principalmente, utilização de materiais, que está intimamente relacionada com as características locais, disponibilidade, distância em relação a grandes centros (cidades) e, de uma forma mais acentuada, ao nível tecnológico da exploração, optou-se, no presente trabalho, por determinar uma composição energética mais detalhada da Instalação de Armazenamento de Feno, para as forrageiras selecionadas, aplicando os estudos minuciosos de composição energética dos materiais utilizados em construções, desenvolvidos pelo CETEC (Fernandes & Souza, 1982). Como se procurou evidenciar no item 4.5.7, o emprego de diferentes materiais nas construções pode promover grandes disparidades de consumo de energia. Pretende-se, com isso, fornecer subsídios para possíveis futuros trabalhos, mais diretamente relacionados com Instalações.

Tendo em vista o fato de que o armazenamento dos fardos de feno deve ser feito em local bem ventilado, já que a umidade pode trazer grandes prejuízos, como o aparecimento de fermentações, prejudiciais à qualidade do produto, e até a combustão espontânea do material, por aquecimento da massa, a EMBRAPA optou por conceber um galpão bem aberto. No entanto, visando proteger a forragem armazenada, foi construída uma proteção, através de elementos vazados de concreto, com dimensões de 0,49 por 0,50 m (0,08 m de espessura), até uma altura de 2,00 m, que pode ser observado claramente nas Figuras 21 e 23. Com os objetivos de se obter uma construção segura, simples e de rápida execução, procurando ainda manter um custo acessível, optou-se por uma Instalação construída em concreto pré-moldado, com estrutura autoportante (Figuras 20, 21 e 24), assim como as demais instalações do SIPL.

O galpão possui uma área total de 220 m², sendo a área efetivamente utilizada para depósito do feno em fardos de 176 m² (que é a área de interesse no presente caso). A parede de proteção externa (em elementos vazados) tem aberturas, para circulação, de 1,60 m, na região lateral, e de 2,00 m, na região frontal (Figura 20), que foram descontados no cálculo de composição energética deste elemento. O pé direito é de 4 m, o piso é composto de concreto, espessura de 0,10 m, traço 1:10 (de cimento e cascalho), e com uma calçada de 1,20 m, para proteção das águas pluviais conduzidas pelo telhado.

Também com intuito de reduzir os custos, foi escolhido como material de cobertura telhas de cimento-amianto, de 8 mm de espessura. Para promover um bom sombreamento e maior proteção ambiental ao material armazenado foi previsto um beiral de 1,00 m. Para proteção do atico, foram instaladas telhas onduladas de cimento amianto de 6 mm de espessura nas empenas (Figura 22).

Sob toda extensão das paredes de elementos vazados foi prevista uma fundação direta contínua de 0,40 m de profundidade e 0,25 m de largura.

Para o levantamento do material utilizado na construção utilizou-se os dados técnicos fornecidos por vários autores especializados na área e dados de catálogos de fornecedores de estruturas pré-moldadas, sendo que, para diversos materiais foi necessário fazer uma conversão de unidade, baseado nas respectivas densidades, procurando adequar às unidades de composição energética fornecidas por Fernandes & Souza (1982).

O Quadro 11 demonstra o levantamento de material e mão-de-obra empregados na construção do galpão de feno, apresentando os valores relativos de consumo de energia para os diversos elementos.

Quadro 11. Composição energética do Galpão de Armazenamento de Fardos de Feno do SIPL

Espécie/Material	Unida -de	Quantidade	Densi- dade ⁽¹⁾ kg.m ⁻³	Conteúdo Energético	
				Unitário ⁽²⁾	Parcial
FUNDAÇÃO					
Concreto ⁽³⁾	m ³	5,4			
Cimento	kg	100 kg.m ⁻³	-	4.761,39 kJ.kg ⁻¹	476.139,00 kJ.m ⁻³
Areia	m ³	0,34 m ³ .m ⁻³	1.450	44,77 kJ.kg ⁻¹	22.071,61 kJ.m ⁻³
Pedra	m ³	0,98 m ³ .m ⁻³	2.700	41,84 kJ.kg ⁻¹	110.708,64 kJ.m ⁻³
Mão-de-obra *	h	14,8 h.m ⁻³	-	386,40 ⁽⁴⁾ kJ.h ⁻¹	5.718,72 kJ.m ⁻³
					614.637,97 kJ.m⁻³
PISO **· (5)					
Concreto (traço 1:10)	m ²	224,12 **			
Cimento	kg	16 kg.m ⁻²	-	4.761,39 kJ.kg ⁻¹	76.182,24 kJ.m ⁻²
Cascalho	m ³	0,16 m ³ .m ⁻²	1.400	41,84 kJ.kg ⁻¹	9.372,16 kJ.m ⁻²
Mão-de-obra *	h	2 h.m ⁻²	-	386,40 ⁽⁴⁾ kJ.h ⁻¹	772,80 kJ.m ⁻²
					86.327,20 kJ.m⁻²
FECHAMENTOS					
De Elemen. Vazados⁽⁶⁾	m ²	75,10			
Elementos vazados	ud	4 ud.m ⁻²	1071 ⁽⁷⁾	430,95 kJ.kg ⁻¹	36.923,80 kJ.m ⁻²
Argamassa de assentam.					
Cimento	kg	2,33 kg.m ⁻²	-	4.761,39 kJ.kg ⁻¹	11.094,04 kJ.m ⁻²
Areia	m ³	0,0058 m ³ .m ⁻²	1.450	44,77 kJ.kg ⁻¹	376,52 kJ.m ⁻²
Mão-de-obra *	h	2,35 h.m ⁻²	-	386,40 ⁽⁴⁾ kJ.h ⁻¹	908,04 kJ.m ⁻²
					49.302,40 kJ.m⁻²

Continua ...

Continuação do Quadro 11:

Espécie/Material	Unidade	Quantidade	Densidade ⁽¹⁾ kg.m ⁻³	Conteúdo Energético	
				Unitário ⁽²⁾	Parcial
FECHAMENTOS					
Parede de 1 tijolo ⁽⁵⁾	m²	40,00			
Tijolos maciços	ud	140 ud.m ⁻²	1.800	3.146,37 kJ.kg ⁻¹	1.132.692,48 kJ.m ⁻²
Argamassa	m ³ .m ⁻²				
Cimento	kg	14,4 kg.m ⁻²	-	4.761,39 kJ.kg ⁻¹	68.564,02 kJ.m ⁻²
Areia	m ³	0,072 m ³ .m ⁻²	1.450	44,77 kJ.kg ⁻¹	4.673,99 kJ.m ⁻²
Mão-de-obra ***	h	5,8 h.m ⁻²	-	386,40 ⁽⁴⁾ kJ.h ⁻¹	2.241,12 kJ.m ⁻²
					1.208.171,61 kJ.m⁻²

ESTRUTURA DE COBERTURA

Colunas pré-moldadas de concreto	ud	10	480 kg. ud ⁻¹ ⁽⁸⁾	619,32 kJ.kg ⁻¹	297.273,60 kJ.ud ⁻¹
Braços pré-moldados de concreto	ud	10	260 kg. ud ⁻¹ ⁽⁸⁾	619,32 kJ.kg ⁻¹	161.000,32 kJ.ud ⁻¹
Terças pré-moldadas de concreto	ud	24	100 kg. ud ⁻¹ ⁽⁹⁾	619,32 kJ.kg ⁻¹	61.932,00 kJ.ud ⁻¹
Telhas de cimento-amianto de 8 mm	m ²	243,60 m ²	23 kg. m ⁻² ⁽¹⁰⁾	3.932,96 kJ.kg ⁻¹	90.458,08 kJ.m ⁻²
Telha de cimento-amianto de 6 mm	m ²	7,88 m ²	17 kg. m ⁻² ⁽¹⁰⁾	3.932,96 kJ.kg ⁻¹	66.860,32 kJ.m ⁻²

⁽¹⁾ Pianca (1968); ⁽²⁾ Fernandes & Souza (1982); ⁽³⁾ Hermeto Bueno (1977); ⁽⁴⁾ Valor de consumo de energia por hora de trabalho (Carvalho et al., 1974); ⁽⁵⁾ Baêta et al. (1993); ⁽⁶⁾ TCPO 8 (1986); ⁽⁷⁾ Gonçalves (1982); ⁽⁸⁾ Cavan (198-); ⁽⁹⁾ Myrrha (199-); ⁽¹⁰⁾ Carvalho & Martins (1995).

* Incluindo Pedreiro e Servente;

** Incluindo calçada de 1,40 m no contorno do prédio;

*** Incluindo preparação da argamassa e assentamento.

5.4.3. Insumos

De acordo com as recomendações contidas na literatura, serão desenvolvidos os cálculos de composição energética dos componentes que integrarão a matriz, buscando-se utilizar, sempre que possível, valores específicos para os vários itens.

Os valores energéticos dos diversos elementos, são obtidos, via de regra, através da multiplicação de sua massa (kg) ou volume (litros) pelo conteúdo energético específico correspondente (kJ por kg ou por litro, p.e.), apresentado pela literatura, ponderando através de seu nível de utilização por hectare, nas culturas, independentemente do tempo de cultivo ou do tamanho da área global utilizada para seu desenvolvimento.

Uma vez que não se está trabalhando com culturas de grande difusão, as recomendações são bastante variadas daquelas outras de grande emprego no País, tais como o milho (que é usado também como forrageira), o qual se dispõe, em vários trabalhos, de vasta quantidade de dados para sua produção, tornando-se necessária a utilização de grande número de trabalhos, brasileiros e de várias partes do mundo, como referência para a composição da matriz energética. Ressalta-se aqui que, toda vez que se encontrou dados de experiências brasileiras, estes tiveram prioridade em detrimento de outros de origem em lugares com características variadas das nossas. Valores energéticos de produtos altamente industrializados, têm maior possibilidade de emprego sem induzir em erros, uma vez que os processos industriais, tem sua tecnologia importada, em grande parte das vezes por multinacionais, que tornam o processo produtivo globalizado, principalmente quando se compara com produtos manufaturados no meio rural, o que tem possibilitado, como se observa

na literatura pertinente, a utilização de dados de densidade energética apresentados pelos autores clássicos da área pelos pesquisadores das mais diversas partes do mundo.

A maior parte dos elementos considerados, por terem seu emprego consagrado nos trabalhos consultados, terão seus dispêndios energéticos (“inputs”) calculados diretamente e apresentados nos Quadros do item 6. Outros elementos componentes da matriz energética, serão analisados mais detalhadamente, a seguir, para esclarecer as metodologias de cálculo energético adotadas.

5.4.3.1. Material de Propagação

A produção, processamento e distribuição de materiais de propagação podem variar, segundo diferentes autores e diferentes culturas, de 3 até 31% do custo energético total da cultura (Mello, 1986).

Heichel (1980) apresenta quatro métodos que podem ser utilizados para quantificar a energia investida na propagação de produtos em análises energéticas, sucintamente descritos a seguir:

1. Neste primeiro método, o custo energético dos materiais de propagação utilizados são múltiplos da entalpia ou do conteúdo de energia digestível da semente. Mas, os valores de entalpia e valores calorimétricos de alguns materiais não estão disponíveis na literatura, o que justamente caracteriza o presente problema;
2. Este segundo método só é aplicável a culturas cuja porção colhida é anatomicamente idêntica aos órgãos ou tecidos utilizados para o estabelecimento da cultura. Neste caso,

subtrai-se na safra a quantidade utilizada como disseminador. O próprio autor alerta que, neste caso, sendo mais comumente utilizado para grãos, o método incorre em um erro óbvio, que seria considerar que a produção da semente envolveria o mesmo dispêndio de energia que aquele para a produção do grão para alimentação;

3. Este método se vale dos custos econômicos dos materiais de propagação para estimar o valor do custo de energia fóssil para a produção de sementes ou outros órgãos reprodutivos de uma determinada cultura.

4. Melhor do que a utilização dos três métodos anteriores, a situação ideal só poderia ser a contabilização da energia para produzir sementes, tubérculos ou qualquer outra estrutura reprodutiva dos produtos mais utilizados no campo. Entretanto, Heichel (1980) alega que, sendo a produção de meios ou materiais de propagação, uma atividade extremamente comercial e competitiva, entre produtores de sementes, horticultores e agrônomos, as informações necessárias são de natureza particular, muitas vezes confidenciais e de acesso difícil para os analistas de energia.

Conclui-se que, devido às limitações apresentadas pelos métodos 1, 2 e 4, somente o método 3 se torna mais exequível, principalmente quando se depara com as condições de desenvolvimento de pesquisa em energia existentes no Brasil.

A energia para a produção das sementes de alfafa, segundo Heichel (1980), é de $43,62 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ou $182,51 \text{ kJ.kg}^{-1}$. A determinação deste coeficiente pode ser apreciada no Quadro 1.3. Como se observa no Quadro em questão, não é computada a energia devido à inoculação das sementes. Em toda literatura consultada não foi encontrado valor específico para este tipo de operação, sendo necessário a utilização do terceiro método apresentado para estimativa da carga energética necessária para esta operação. Como já

comentado anteriormente, não há muita disponibilidade de dados para diversas operações, equipamentos ou processos realizados nas condições brasileiras. Beber (1989), por exemplo, declara que, por falta de informações na literatura consultada sobre algumas culturas, optou por desconsiderar a entrada de energia relativa a sementes, quando estas eram produzidas em nível de propriedade, considerando que isto acarretaria pouca alteração no resultado “output”/“input”. Em outros casos, como aconteceu com a alfafa, o autor optou pela utilização do mesmo coeficiente usado para a ervilhaca.

Uma solução muito utilizada para casos como este, que se verifica nos trabalhos encontrados na literatura pertinente, notadamente aqueles apresentados na coletânea de Pimentel (1980) e em vários outros trabalhos (Campos, 2000; Serra et al., 1979; Mello, 1986; entre outros), é a utilização do terceiro método preconizado por Heichel (1980), sendo por este motivo, descrito a seguir.

Na ausência de uma análise detalhada de entradas/saídas de energia (“input”/“output”) de todo processo produtivo de uma determinada cultura, a técnica se baseia no conhecimento prévio da intensidade energética do produto nacional bruto (kJ por valor monetário, dólares ou reais) e na hipótese que as sementes ou outros materiais de reprodução da cultura são comparáveis em intensidade energética a outros bens e serviços na economia.

Voltando ao problema relativo à inoculação das sementes da alfafa, têm-se que o custo, à época, era de U\$10,46 por kg do material (Carvalho & Vilela, 1994). À época que Heichel (1980) apresenta seus dados de contabilização energética na produção de sementes de alfafa, o produto nacional bruto americano era de 15.800 kcal por dólar, ou 66.107,20 kJ.dólar⁻¹. Desta forma, o custo energético por kg do produto inoculante seria de

691.481,31 kJ, que será o valor utilizado no estabelecimento da matriz energética do presente trabalho.

No caso do “coast-cross”, para a implantação da cultura são necessárias mudas ou hastes. Com base nas informações de Hoveland (1980), a energia envolvida para o fornecimento de hastes ou mudas de *Cynodon dactylon* é da ordem de 670 kJ.kg⁻¹.

5.4.3.2. Fertilizantes e Corretivos

Os valores adotados para os elementos são aqueles informados por Pellizzi (1992):

- N 73 MJ.kg⁻¹;
- P₂O₅ 13 MJ.kg⁻¹;
- K₂O 9 MJ.kg⁻¹.

Os nutrientes comercializados no país vêm agregados sob a forma de matéria seca e misturados entre si. As formulações ofertadas no mercado são comercializadas como fertilizantes contendo *a*N, *b*P e *c*K, onde, *a*; *b*; e *c* são as quantidades físicas de cada produto expressas em quilogramas contidos em 100 kg do produto (Macedônio & Picchioni, 1985).

Para a determinação do conteúdo energético do fertilizante, multiplica-se as quantidades efetivas dos elementos ativos (N, P₂O₅ e K₂O, em kg) pelo valor energético correspondente (73 MJ.kg⁻¹; 13 MJ.kg⁻¹ e 9 MJ.kg⁻¹, respectivamente).

Desta forma, a formulação 20-05-20, por exemplo, utilizada na adubação de reposição do “coast-cross”, em quatro vezes de 250 kg.ha^{-1} cada, seria distribuída em: 200 kg.ha^{-1} de N; 50 kg.ha^{-1} de P_2O_5 e 200 kg.ha^{-1} de K_2O . As contribuições energéticas por hectare serão então: $14.600 \text{ MJ.ha}^{-1}$; 650 MJ.ha^{-1} e 1.800 MJ.ha^{-1} , para N; P_2O_5 e K_2O , respectivamente.

Para outros adubos, como o superfosfato simples, por exemplo, a proporção de fertilizante efetivamente utilizada por hectare foi baseada nas informações apresentadas por CFSEMG (1989).

Para os micronutrientes, será adotada a metodologia de determinação do coeficiente energético baseada na intensidade energética do produto nacional bruto, em kJ por valor monetário, preconizada por Heichel (1980) conforme descrito no item 5.4.3.2.

A recuperação do solo, através da calagem, que corrige a acidez do mesmo, é prática largamente utilizada no Brasil. Mello (1986) adverte que apesar do calcário apresentar baixa densidade energética, o volume em que é aplicado pode fazer com que este item tenha peso na contabilidade energética total. Terhume (1980), em trabalho específico com rochas calcárias, para correção de solo, encontrou que a energia para a produção propriamente do material, considerando a unidade kg, não é relevante, cerca de 65 kJ.kg^{-1} , para as condições americanas. O autor sugere que, para aquele país, poder-se-ia utilizar um coeficiente total de 1.320 kJ.kg^{-1} , que consideraria, em uma grande média, o consumo de energia devido às distâncias percorridas. Macedônio & Picchioni (1985) realizaram levantamentos junto a fornecedores de calcário sobre processos de extração e custo, determinando importantes valores, que relatam a condição brasileira. De forma semelhante a Terhume, os autores observaram que o transporte onerava mais, energeticamente, que o

próprio valor energético intrínseco do produto, que seria de 172 kJ.kg^{-1} . Calculando o consumo energético global envolvido no transporte de materiais, Macedônio & Picchioni (1985) desenvolveram uma equação que relaciona o valor energético embutido no produto e o consumo de energia no transporte:

$$(40.938 + 228 \times d) \times 4,184 \times 10^{-3} [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad \text{Eq. 8}$$

sendo d a distância percorrida, em km. Para o caso da EMBRAPA, o d é de 60, desta forma o coeficiente energético para o calcário é de 229 kJ.kg^{-1} .

5.4.3.3. Defensivos

Os valores de coeficientes energéticos encontrados se baseiam na quantidade de energia empregada na produção do ingrediente ativo, e são dados por Clements et al. (1995). Segundo estes autores, os valores energéticos dos herbicidas foram obtidos através de programas computacionais, baseados em um diagrama de fluxos, que detalha as características físicas, químicas e termodinâmicas do processo de fabricação. Outra energia adicional, na ordem de 20 MJ por kg de ingrediente ativo, é necessária para a formulação do herbicida (Green, apud Clements et al., 1995) e também foi considerada neste trabalho. O teor de ingrediente ativo é informado por Laca-Buendia et al. (1985). O herbicida pós-emergente adotado para a alfafa foi o Bentazon (único em que se encontrou coeficiente energético exato na literatura). Os valores utilizados se encontram sumarizados no Quadro 12.

Quadro 12. Determinação do coeficiente energético em MJ.kg⁻¹ dos herbicidas utilizados para “coast-cross” e alfafa, de acordo com seu teor de ingrediente ativo e dose empregada por hectare cultivado

Herbicida	Ingrediente Ativo (g.l ⁻¹ ou g.kg ⁻¹) Laca-Buendia et al. (1985)	Coeficiente Energético (MJ por kg de princípio ativo) Clements et al. (1995)	Coeficiente Energético (MJ por kg de herbicida)	Dose Utilizada (kg.ha ⁻¹)
Glyphosate	480	454	228	variável
EPTC	720	160	130	7,0
Bentazon	480	434	218	2,5

5.4.4. Máquinas e Equipamentos

Uma vasta quantidade de informações é exigida para contabilizar a energia incorporada em uma determinada máquina agrícola. A metodologia que visa determinar a energia despendida na fabricação de máquinas envolve as etapas (Doering III,1980):

- A energia contida nos materiais que compõem a maquinaria, aço, borracha, fibra de vidro, alumínio, etc., calculados com base em valores médios da indústria, valores de referência padrões ou de uso geral. Não se considera a reciclagem de materiais, sendo que tratamentos do tipo forjamento e estampagem são considerados como energia de fabricação;
- A energia utilizada em nível de manufatura, no tratamento e chapeação de materiais e na fabricação das peças que compõem as máquinas. O autor realizou uma grande coleta de dados na Fábrica da John Deere, desenhando-se um envoltório em torno das instalações que fabricam cada item das máquinas, e contabilizada então a energia despendida no processo;

- Por fim, o autor determinou a energia contida no material e na fabricação dos equipamentos de manutenção, que são aplicados em sua vida útil.

Conforme já salientado anteriormente (item 5.2.1), as máquinas em estudo não tem emprego somente na produção de fenos no SIPL, sendo utilizadas em diversas outras atividades, tornando-se complexa análise da energia injetada por estes equipamentos dentro do sistema delimitado para a produção dos fenos. No presente trabalho utilizou-se a metodologia desenvolvida por Doering III et al. (1977), empregada por diversos autores (Beber, 1989; Campos et al., 2000; Castanho Filho & Chabaribery, 1983; Comitre, 1993; Serra et al., 1979; Ulbanere, 1988; entre outros), que consiste na aplicação de um método baseado na depreciação energética. À semelhança da depreciação econômica e com base na massa das máquinas, consiste em depreciá-los durante sua vida útil.

Os coeficientes adotados foram (Macedônio & Picchioni, 1985):

- Equipamentos autopropulsionados, como tratores e colhedoras – o consumo de energia é de 1,669 tEP.t⁻¹, que pode ser convertido em 69,83 MJ.kg⁻¹;
- E para os outros equipamentos, o consumo de energia é de 1,367 tEP.t⁻¹, ou 57,20 MJ.kg⁻¹.

5.4.4.1. Observações com Relação a Algumas Máquinas

Para a maioria das máquinas e implementos utilizados, encontra-se informações diretas na literatura, tais como peso, vida útil, custo, etc. Contudo, para algumas

máquinas, cuja utilização é menos generalizada, foi necessário fazer algumas considerações, que serão descritas a seguir, para melhor esclarecimento da metodologia seguida.

O arado utilizado inicialmente, na implantação da cultura, para escarificação do solo e incorporação de material, é de 4 discos fixos. Este equipamento é pesado e tem seu uso mais específico. Não foi encontrado um valor direto de peso para este equipamento, porém, Macedônio & Picchioni (1985) informam que este tipo de instrumento tem cerca de 300 kg por disco, o que facilita sua penetração no solo, possuindo largura de corte de disco de até 0,33 m. Por outro lado, Pereira Filho (1991) informa ter utilizado arado de 5 discos, cujo peso era de 1.500 kg, o que vem a corroborar a informação de Macedônio & Picchioni (1985), considerando-se o peso por discos. Desta forma, o peso adotado para o arado de 4 discos deste trabalho foi de 1.200 kg.

O custo energético para a fabricação do Pulverizador costal é de 72 MJ.kg⁻¹ (Bansal et al., 1988).

5.4.4.2. Irrigação

Mesmo os processos que se valem da gravidade para transportar e distribuir água consomem energia (construção de canais, comportas, represamentos). Os processos que se utilizam de bombas, consomem elevadas quantidades de energia na fabricação das próprias bombas, motores, tubos, dispersores, etc., na manutenção e principalmente no funcionamento de todo equipamento.

A energia para a produção do equipamento, assim como as demais máquinas agrícolas, é de $57,20 \text{ MJ.kg}^{-1}$. O peso médio de equipamento é de 140 kg.ha^{-1} irrigado (FAO apud Mello, 1986). A vida útil dos equipamentos é de 15.000 h, e o consumo energético para o pleno funcionamento dos equipamentos é de $92 \text{ kJ.h}^{-1}.\text{m}^{-1}$, e $2,40 \text{ MJ.h}^{-1}$ para o bombeamento (Tsatsarelis, 1993).

5.4.5. Combustíveis e Lubrificantes

Na contabilização energética dos combustíveis e lubrificantes há um custo energético para seus processamentos. Para a obtenção dos produtos derivados do petróleo é consumido 1,14 vezes seu poder calorífico (Cervinka, 1980; Serra et al., 1979). Os derivados de petróleo utilizados neste trabalho constituem, basicamente, óleo diesel, óleo lubrificante e graxa, que apresentam poderes caloríficos de 38.535 kJ.l^{-1} , 38.516 kJ.l^{-1} e $43.179 \text{ kJ.kg}^{-1}$, respectivamente. Considerando o “input” energético apresentado por Serra et al. (1979) para seu processamento, os coeficientes energéticos dos produtos anteriormente citados, na mesma ordem, serão de: 43.930 kJ.l^{-1} , 43.908 kJ.l^{-1} e $49.224 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à importância do tema, do caráter individual de cálculo (independente dos balanços para uma ou outra cultura) e por ser também instrumental integrante de parte das composições energéticas dos balanços, inicialmente, serão apresentados os resultados obtidos do levantamento energético relativo à construção da edificação responsável pela guarda dos fardos de feno para as duas espécies abordadas.

Na seqüência serão apresentados os dados de produtividade/produção, consumo de energia para cada fase da cultura, de acordo com as operações e tipos de insumos utilizados e balanços energéticos, tanto para o “coast-cross” quanto para a alfafa. Como as duas culturas estudadas apresentam algumas características próprias, no que tange à implantação e condução, sendo uma propagada por meio de mudas e outra semeada, com diferenças significativas, principalmente na utilização dos insumos, e com épocas e áreas utilizadas distintas, serão apresentados os resultados, tanto de aspectos produtivos quanto energéticos, de forma separada, para o “coast-cross” e para a alfafa.

6.1. Composição Energética do Galpão de Armazenamento de Feno

Em função da carência de informações mais precisas na literatura brasileira com relação à composição energética de edificações para o meio rural (em kJ.m^{-2}), optou-se, no presente trabalho, por fazer uma estimativa detalhada e criteriosa da energia envolvida na construção da estrutura responsável pelo armazenamento dos fenos (Figuras 14-b e 20 a 24), tanto de “coast-cross” como de alfafa.

Através dos resultados obtidos, foi possível verificar uma grande variação entre os dados estimados e aqueles apresentados pela literatura. Esta variação se torna ainda mais acentuada quando se compara o dispêndio energético para construção no Brasil e em outros países. Pellizzi (1992), na Itália, por exemplo, apresenta uma taxa de 2,00 a $2,20 \text{ MJ.kg}^{-1}$ para paredes de alvenaria. Foi possível determinar que o índice energético para a construção de parede alvenaria, de tijolos maciços, nas condições em que se construiu o galpão de feno no SIPL, é de $3,18 \text{ kJ.kg}^{-1}$ de alvenaria, sendo o maior responsável por este elevado consumo energético o tijolo de cerâmica, que apresenta um índice energético de $3,15 \text{ MJ.kg}^{-1}$, possivelmente devido ao tipo de processo produtivo envolvido em sua industrialização, onde ocorre, além de outras fontes de consumo energético, processo de queima, que pode colaborar incisivamente para a ampliação da demanda energética.

O galpão para o armazenamento somente do feno consumiu um total de $103.327,73 \text{ MJ}$ em sua construção. O consumo energético para as diferentes partes da estrutura são apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13. Consumo energético na construção do Galpão de Feno

Elemento	Conteúdo Energético (MJ)
Fundação	3.319,05
Piso (incluindo calçada)	19.347,65
Fechamentos	
De elementos vazados, até a altura de 2 m	3.702,61
De tijolos maciços	48.326,86
Estrutura de cobertura (incluindo peças de sustentação)	
Colunas de concreto pré-moldadas	2.972,74
Braços pré-moldados de concreto	1.610,00
Terças pré-moldadas de concreto	1.486,37
Telhas de cimento amianto de 8 mm	22.035,59
Telhas de cimento-amianto de 6 mm (fechamento da empena)	526,86

Considerando a área total de galpão destinada ao armazenamento de feno (176,00 m²), o índice energético determinado foi de 587,09 MJ.m⁻²; considerando a área útil para a capacidade estática de armazenagem (166,06 m²), o índice foi de 622,23 MJ.m⁻². Estes valores podem ser considerados muito menores que aqueles apresentados por Doering III (1980) (1.711,43 MJ.m² para construções de serviço e 6.260,23 MJ.m⁻² para residências).

Os dados apresentados pela literatura nacional e internacional podem variar desde valores relativamente baixos, tais como os de 35,33 MJ.m⁻² para instalações compostas de alvenaria e 58,89 MJ.m⁻² para instalações compostas basicamente de madeira, utilizados por Beber (1989) até aqueles valores considerados altos, preconizados por Deleage et al. (1979) (3.300 MJ.kg⁻¹ para estruturas de alvenaria – item 4.5.7), demonstrando a

importância de maiores estudos de casos específicos para edificações conduzidas no Brasil, e ainda, a diferenciação entre regiões e categorias, tipos e níveis de sofisticação das instalações.

Através da Figura 25 percebe-se claramente que o item “Fechamentos” teve participação preponderante na utilização de energia para a construção do galpão (50,35%). Dentro deste item, a parede de tijolos cerâmicos foi responsável por 93% do consumo de energia (48.326,86 MJ). Interessante observar que este fechamento possui uma pequena área dentro da composição do galpão. Apesar de não representar um custo muito elevado na construção, a parede de alvenaria demanda uma grande quantidade energética, devido, principalmente, aos processos industriais de fabricação dos tijolos. Como já mostrado por Fernandes & Souza (1982), a composição dos custos, tanto energéticos quanto econômicos, na confecção de paredes pode ser substancialmente reduzida pelo emprego de tijolos de concreto. Dados desta ordem poderão ser úteis no planejamento estratégico da utilização de energia, buscando à redução no consumo, cuja importância foi amplamente debatida nos itens 4.5.2 e 4.5.3.

Ao analisar-se o dispêndio de energia para cada elemento (Figura 25 e Quadro 13), depreende-se que, caso fosse abolido o uso de uma parede fechada de alvenaria, o consumo energético da construção, como um todo, seria sensivelmente reduzido. A estrutura de cobertura, na qual foram inseridos também os elementos de sustentação, incluindo os pilares, devido às características peculiares de instalação pré-moldada, apresentou consumo energético relativamente baixo. Entre os motivos, pode-se destacar, a utilização de telhas de cimento-amianto, cujo consumo energético na fabricação é bem menor que das telhas de cerâmica (Fernandes & Souza, 1982). As estruturas pré-moldadas, ao contrário do que pode parecer, contribuem para a economia energética em uma construção. Por serem fabricadas em

série, estas estruturas têm sua produção otimizada quanto ao uso de recursos e dispêndio de energia. Evidentemente, esta análise não implica na consideração de que deva-se utilizar estruturas pré-moldadas em todos tipos de instalações rurais e, muito menos, para todas regiões. Uma análise destas deve levar em consideração as características peculiares da propriedade/região; por exemplo, seria um contra-senso buscar estruturas pré-moldadas em um centro produtor a centenas de quilômetros de uma propriedade que possua apreciáveis quantidades de madeira de reflorestamento, que, após um bom tratamento, podem ser utilizadas como peças para construção de estruturas de madeira. Neste caso, a utilização excessiva do óleo diesel para buscar uma estrutura de menor custo energético estaria produzindo um elevado incremento na utilização global de energia.

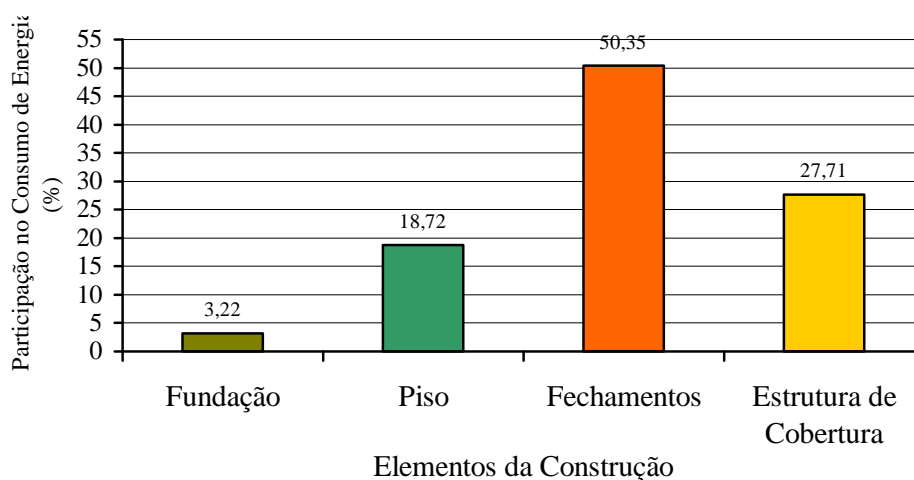


Figura 25. Participação percentual das diversas partes construtivas na composição energética do Galpão de Feno do SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite.

Ressalta-se aqui que a presente metodologia desenvolvida tem sua utilidade de aplicação em análises específicas para o tipo de construção descrito (item 5.4.2). Outros tipos de instalações podem apresentar dispêndios energéticos completamente

diferenciados, como certamente ocorrerá com instalações específicas, tais como aquelas destinadas à ordenha; que pode se constituir da instalação mais simples e rústica, como um simples “rancho” com cobertura de sapê e piso de chão batido, até uma sofisticada sala composta por equipamentos modernos e completamente automatizados, como uma instalação de ordenha em carrossel.

Para que haja desenvolvimento adequado das pesquisas de balanços energéticos no Brasil, seria desejável que centros especializados desenvolvessem maiores estudos com relação ao dispêndio de energia para diversos tipos de instalações, como ocorreu com a iniciativa do CETEC em Belo Horizonte (Fernandes & Souza, 1982), cujos dados têm papel primordial na composição de balanços energéticos de maior acuracidade.

6.2. “Coast-Cross”

6.2.1. Caracterização da Produção, Produtividade e Qualidade do Produto Obtido (“Coast-Cross”)

O estabelecimento da cultura, como já mencionado, seguiu as recomendações técnicas preconizadas pela literatura especializada (item 4.4). No período estudado, o SIPL obteve uma produção anual de feno de “coast-cross” de 24 a 30 toneladas por hectare, com 85% de matéria seca o que representa 20 a 25 t de matéria seca.ha⁻¹.ano⁻¹. Fernandez et al. (1983), por exemplo, variando o nível de Nitrogênio na produção de “coast-cross”, obtiveram produtividade de 24,4 t.ha⁻¹.ano⁻¹, aplicando 200 kg de N.ha⁻¹.ano⁻¹, apresentando porém, nível de proteína bruta de 10,1%.

Mantendo-se intervalos de corte de 30 a 35 dias, foi possível obter-se 6 a 7 cortes por ano. Desta forma, as áreas I e II produziram em média 4.240 kg de feno por hectare em cada corte. Para monitoramento da qualidade do produto obtido, foram realizadas análises químicas do feno produzido, no Laboratório da EMBRAPA - Gado de Leite, na Estação Experimental de Coronel Pacheco (ver Quadro 1.4.). Os resultados médios da análise são reportados no Quadro 14.

Quadro 14. Resultados médios da análise da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) do feno de “coast-cross” produzido no SIPL, expressos em matéria seca

Parâmetro	MS	PB	FDN	FDA
Percentual	85,09	13,93	68,65	35,83

Fonte: Laboratório da EMBRAPA - Gado de Leite, Estação Experimental de Coronel Pacheco.

Observando os resultados médios obtidos da análise química, percebe-se que o feno obtido satisfaz os intervalos esperados, segundo indicam Sampaio et al. (1997) (Quadro 2), quais sejam para gramíneas: 20 a 15% de teor de umidade (a análise revelou um valor de 15%); 8 a 16% de proteína bruta, 78 a 66% de fibra em detergente neutro; e 43 a 30% em detergente ácido.

Em análise comparativa entre os valores obtidos e aqueles apresentados no Quadro 3, para enquadramento classificatório, nota-se que o feno de “coast-cross” apresentou teores de umidade e de proteína bruta que poderiam conferir-lhe o tipo “A”, uma vez que a exigência proposta pela EMBRAPA, para fenos de gramíneas, é de 15 a 10% e

>13%, para os parâmetros qualitativos citados, respectivamente (Sampaio et al., 1997, item 4.4.3). Porém, o valor obtido de fibras em detergente neutro, supera o limite estabelecido por esta classificação, ou seja, > 65%. Desta forma, o feno produzido atingiu o Tipo B, segundo a classificação proposta pela EMBRAPA para gramíneas.

Por outro lado, levando em consideração os padrões propostos por Matos et al. (1997), observando os valores ótimos de matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro, expostos no Quadro 1 (item 4.4.3), depreende-se que o feno obtido pode ser considerado de boa qualidade.

6.2.2. Consumo de Energia – Implantação e Estabelecimento da Cultura

Ressalta-se aqui que, a etapa de implantação do “coast-cross” requer vastas operações e dispêndio de energia na forma de máquinas e insumos, de uma forma geral, visando ao satisfatório e seguro estabelecimento. Entretanto, vale lembrar que, por se tratar de uma cultura perene, o consumo energético despendido nesta etapa ocorre somente uma vez, sendo seu valor distribuído entre os anos de utilização da cultura (7 anos), na composição final do balanço.

6.2.2.1. Máquinas e Implementos Agrícolas

A energia estimada para as máquinas e equipamentos agrícolas, transformada em demanda específica de energia, integrante da energia indireta, utilizada nesta fase e no processo de fenação, encontra-se no Quadro 15.

Quadro 15. Peso, vida útil e demanda específica de energia estimados para as máquinas e implementos utilizados na cultura do “coast-cross”

Discriminação do Equipamento	Peso (kg)	Vida Útil (h)	DEE (MJ.h ⁻¹)
Trator Massey Ferguson 275 Simples	3.951	10.800	25,55
Arado de 4 discos fixos de 28”	1.200	3.000	22,88
Arado de 3 discos reversíveis	635	3.750	9,69
Pulverizador de barra de 400 litros	195	1.200	9,30
Grade Niveladora	515	4.500	6,55
Carreta agrícola de madeira (6m ³)	584	5.600	5,97
Distribuidor de calcário	280	2.250	7,12
Segadora	365	3.600	5,80
Equipamento de Irrigação	2.100	15.000	8,01
Pulverizador costal	8	1.000	0,58
Ancinho enleirador	370	6750	3,14
Enfardadora	980	6750	8,30

6.2.2.2. Consumo de Energia na Forma de Combustíveis e Lubrificantes

Constituindo parte importante da energia direta aplicada na implantação da cultura, a energia utilizada pelas máquinas, para locomoção (óleo diesel) e conservação/manutenção (óleo lubrificante e graxa), foi determinada a partir dos períodos de

tempo, em horas de utilização, do trator e dos implementos/equipamentos específicos para cada operação.

Sendo a implantação da cultura uma fase que emprega várias operações mecanizadas, esta será analisada dividida em três partes: A) Preparo e Correção do Solo; B) Plantio e C) Tratos Culturais na Implantação.

A) PREPARO E CORREÇÃO DO SOLO

Os consumos de óleo lubrificante e graxa, apresentados no Quadro 16, foram determinados de acordo o tempo de trabalho por operação, sendo os valores de consumo do primeiro ou do segundo lubrificante, ponderados por coeficientes de consumo, específicos para cada implemento, informados por Macedônio & Picchioni (1985).

Considerando o total de insumo energético utilizado, para todas operações tratorizadas realizadas no preparo e correção de acidez do solo, percebe-se, pelo Quadro 16, que o derivado de petróleo, diretamente empregado em máquina agrícola, de uso mais intensivo, é o combustível utilizado, de óleo diesel, que consome 98,52% da energia total requerida, participando o óleo lubrificante e a graxa, com apenas 1,25% e 0,23% do total, respectivamente.

Quadro 16. Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de preparo e correção de acidez do solo para a implantação da cultura do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Transporte	197.685,00	2.500,12	393,79	200.578,91
Distribuição de Calcário	474.444,00	6.000,29	590,69	481.034,98
Aração (4 discos fixos)	1.020.054,60	12.900,63	2.539,96	1.035.495,19
Gradagem (2 vezes)	664.221,60	8.400,41	2.480,89	675.102,90
Aplicação de Herbicida	237.222,00	3.000,15	147,67	240.369,82
Total por operação	2.593.627,20	32.801,59	6.153,00	2.632.581,79

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

Pelo gráfico da Figura 26 nota-se que as operações de revolvimento de solo, quais sejam aração e gradagem, são as duas maiores consumidoras da energia fóssil empregada em operações tratorizadas. Vários autores têm estudado alternativas, através da análise de balanço energético, para a redução da movimentação de máquinas, principalmente no preparo do solo, através do denominado cultivo mínimo, plantio direto ou ainda, preparo reduzido, visando diminuir esta parcela de gasto energético (Boller, 1996; Burt et al., 1994, Clements et al., 1995; Khalilian et al., 1988; Mesquita et al., 1982; Santos & Reis, 1994 e 1995; Santos et al, 1994; Santos et al., 2000; Silva & Graziano, 1977; Smith & Fornstron, 1980; entre outros). No caso específico do “coast-cross”, estas operações não representam tanta importância quanto nas culturas anuais estudadas por grande parte dos pesquisadores. Sendo uma cultura perene, estas operações de revolvimento de solo serão utilizadas somente no momento de implantação da cultura, sendo a energia empregada nesta fase, diluída nos anos de utilização da mesma, como já comentado anteriormente. A rubrica transporte teve

participação de somente 9,13% no consumo de energia em questão devido à sua baixa utilização, sendo responsável, somente, pelo traslado do calcário ao campo de cultivo, para a calagem. Ressalva-se aqui que esta operação de transporte do calcário não foi reconsiderada na Equação 8, evitando duplicidade de cálculo.

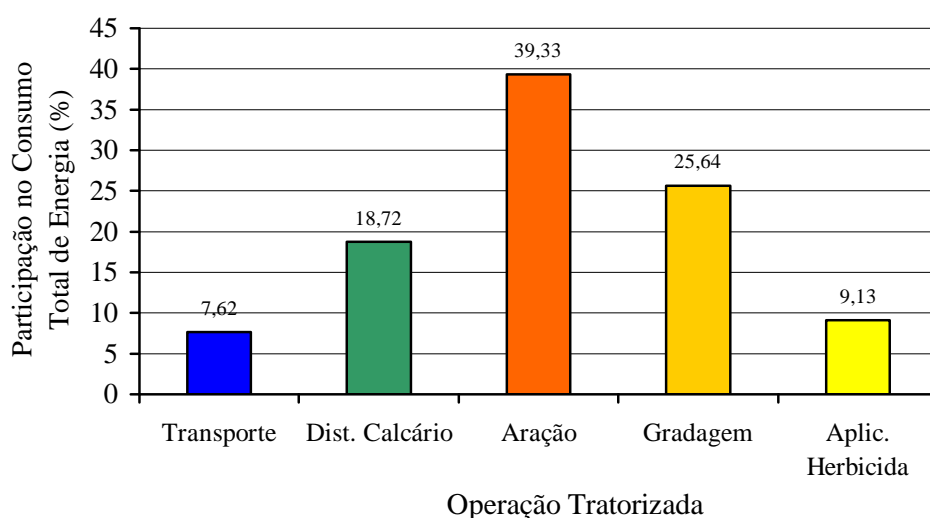


Figura 26. Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, no preparo e correção de acidez do solo para a cultura do “coast-cross”, no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite.

B) PLANTIO

As operações realizadas para o plantio e os consumos energéticos relativos a combustível e lubrificantes para esta prática se observam no Quadro 17.

Quadro 17. Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações envolvidas no plantio da cultura do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Transporte	889.582,50	11.250,55	1.772,06	902.605,11
Aração (3 discos revers.)	1.976.850,00	25.001,22	4.922,40	2.006.773,62
Gradagem	332.110,80	4.200,20	1.240,44	337.551,45
Total por operação	3.198.543,30	40.451,97	7.934,91	3.246.930,17

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

Os transportes são relativos ao traslado do adubo e das mudas, o que onerou sua participação relativa quando comparado à prática de preparo do solo (Quadro 16) (as mudas se situavam a aproximadamente 2 km do local de plantio).

Para melhor visualização dos dispêndios por tipo de operação, os consumos energéticos são apresentados em porcentagem, nos gráficos da Figura 27.

O consumo de energia nas operações de aração aqui tem uma conotação diferenciada, uma vez que o arado de 3 discos reversíveis foi utilizado tanto para a abertura dos sulcos onde foram depositadas as mudas do “coast-cross”, quanto para o fechamento das mesmas, para viabilizar o plantio. Esta seria uma característica que diferencia esta cultura de outras, como a alfafa por exemplo, cujo plantio é realizado através da semeadura direta no campo de produção, em operação que pode ser completamente mecanizada, através de semeadora-adubadora. Como o arado de três discos (Quadro 17) tem uma largura de corte cerca de 40% menor que aquela do arado de quatro discos (Quadro 16), o

primeiro apresentou maior consumo energético, devido à maior necessidade de movimentação do trator para cobrir uma mesma área.

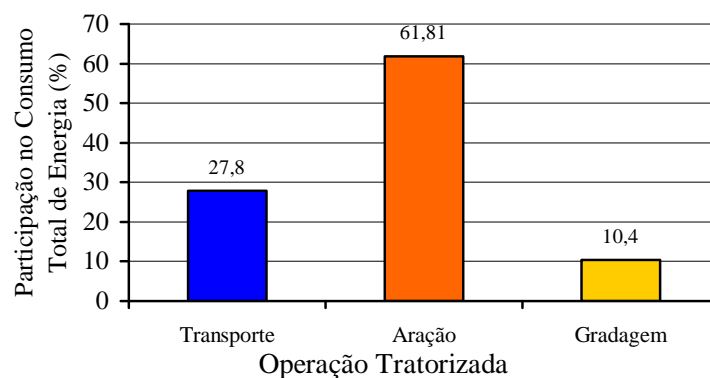


Figura 27. Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, para o plantio da cultura do “coast-cross”, no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite.

C) TRATOS CULTURAIS NA IMPLANTAÇÃO

Tendo sido utilizada para o corte (“roçar”), no controle das ervas invasoras, no início da implantação da cultura do “coast-cross”, a segadora, participou com 75% do consumo total de energia direta na forma combustíveis e lubrificantes, sendo os 25% restantes consumidos no transporte do fertilizante, para adubação de cobertura, que foi distribuído manualmente.

Depreende-se, a partir das informações do Quadro 18 que, assim como no preparo do solo e no plantio, o maior dispêndio de energia direta de combustíveis e lubrificantes foi na forma de óleo diesel, consumindo 98,52% do total de energia, sendo de 1,25% e 0,23% a participação no consumo energético total nas formas de óleo lubrificante e graxa, respectivamente.

Quadro 18. Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de tratos culturais durante a implantação do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Roçada (c/ segadora)	593.055,00	7.500,36	1.476,72	602.032,08
Transporte	197.685,00	2.500,12	393,79	200.578,91
Total por operação	790.740,00	10.000,49	1.870,51	802.611,00

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

6.2.2.3. Insumos e Mão de Obra

Os dispêndios energéticos relativos aos insumos e mão-de-obra para a implantação da cultura do “coast-cross”, incluindo as etapas de preparo e correção do solo, plantio e tratos culturais, são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19. Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, na implantação da cultura do “coast-cross”

Rubrica	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
A) PREPARO E CORREÇÃO DO SOLO			
Calcário	kJ.kg ⁻¹	229,00	572.500,00

Herbicida	kJ.l^{-1}	228,00	912,00
Mão-de-obra (Inclui trabalho do Tratorista)	kJ.h^{-1}	386,40	3.771,26
B) PLANTIO			
Mudas	kJ.kg^{-1}	670,00	1.675.000,00
Adubo (Superfosfato simples)	kJ.kg^{-1}	13.000,00	1.430.000,00
Mão-de-obra (Inclui trabalho do Tratorista)	kJ.h^{-1}	386,40	28.782,94
C) TRATOS CULTURAIS			
Herbicida	kJ.l^{-1}	228,00	1.140,00
ADUBAÇÃO DE COBERTURA			
Adubo (fórmula 20-05-20)			
N	kJ.kg^{-1}	73.000,00	3.650.000,00
P_2O_5	kJ.kg^{-1}	13.000,00	162.500,00
K_2O	kJ.kg^{-1}	9.000,00	450.000,00
IRRIGAÇÃO			
Bombeamento	kJ.h^{-1}	2.400,00	18.000,00
Irrigação	$\text{kJ.h}^{-1}\text{m}^{-1}$	92,00	13,80
Mão-de-obra (Inclui trabalho do Tratorista)	kJ.h^{-1}	386,40	5.471,42

Do total de energia de 7.998,09 MJ gasto para a implantação de um hectare da cultura do “coast-cross”, relativos a serviços e insumos, excluindo-se os gastos (combustíveis e lubrificantes) com máquinas em operações tratorizadas, já apresentadas no item 6.2.2.2, o maior consumidor de energia foi o fertilizante, incluindo superfosfato simples e formulado 20-05-20, participando com 71,17% do gasto total. Em termos de elementos

constituintes, a participação preponderante no dispêndio energético com fertilizante foi com Nitrogênio (incluindo o formulado e o superfosfato simples), como se observa na Figura 28.

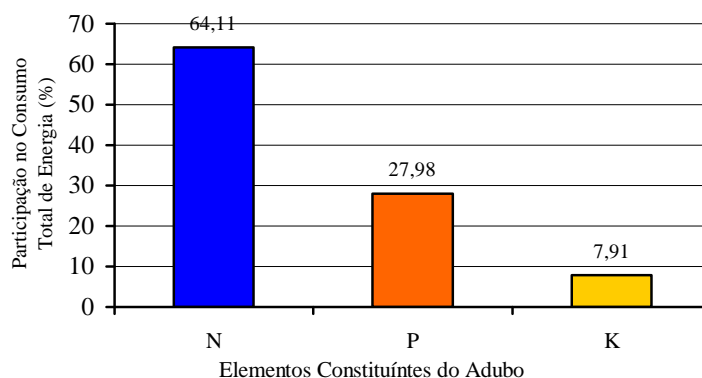


Figura 28. Participação percentual de N (“N”), P_2O_5 (“P”) e K_2O (“K”) no consumo energético, relativo a fertilizantes, durante a implantação da cultura do “coast-cross”.

As mudas também tiveram consumo de energia relativamente alto, com uma participação de 20,94% (Figura 29) do total da energia empregada nos insumos e serviços. Entretanto, é necessário considerar-se que, dentro do valor do coeficiente energético para as mudas, estabelecido por Hoveland (1980), e utilizado neste trabalho, inclui-se toda energia embutida nos caules, despendida em sua obtenção, que inclui processos semelhantes aos descritos até o momento.

De toda energia empregada em irrigação, que não foi muita, se comparada com as demais, quase a totalidade (99,92%) corresponde à parcela gasta com a operação de bombeamento da água, e uma ínfima parcela corresponde aos gastos energéticos com o sistema de uma forma geral, como trabalhos e manutenção dos equipamentos.

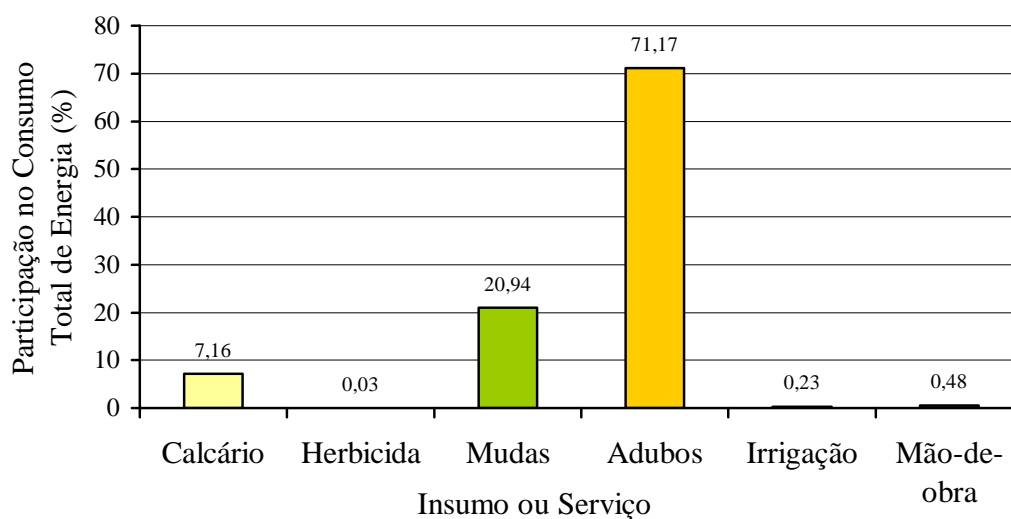


Figura 29. Participação dos diferentes insumos e mão-de-obra no consumo de energia para a implantação da cultura do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite.

A mão-de-obra, mesmo incluindo o trabalho de tratoristas, apresentou baixo consumo relativo de energia (Quadro 19 e Figura 29), quando comparado às demais fontes de consumo energético em estudo. Dos 38.025,62 kJ gastos na mão-de-obra para a implantação de um hectare da cultura, cerca de 75,70% foi empregado na fase de plantio, onde houve um dispendioso trabalho de distribuição de mudas, realizado manualmente, onde se consumiu 16.692,48 kJ, na forma de trabalho humano.

O gasto energético com o produto herbicida, que foi aplicado tanto por trator (pulverizador de barras), quanto em pulverizador costal, foi mínimo (ver Quadro 19 e Figura 29).

6.2.3. Consumo de Energia na Manutenção Anual da Cultura do “Coast-Cross”

Sendo uma cultura intensiva, o “coast-cross”, para a produção de feno, exige quantidades de nutrientes no solo para manutenção de uma produtividade compatível com as exigências de material para fenação tanto no aspecto da quantidade quanto da qualidade do produto, demandando apreciáveis volumes de insumos de produtos energéticos. Por este motivo, será descrito a seguir a composição do custo energético obtido para a manutenção anual de um hectare de campo de “coast-cross”.

Na manutenção desta cultura, há uma pequena necessidade de maquinário tratorizado, constando, basicamente, da utilização da carreta acoplada ao trator para transporte do adubo a ser aplicado manualmente no campo. De acordo com a necessidade desta cultura, para cada hectare, o transporte do fertilizante consumiu, em média, 641.852,52 kJ de total de energia de origem fóssil para locomoção e lubrificação das máquinas, sendo os consumos individuais de 632.592,00 kJ.ha⁻¹; 8.000,39 kJ.ha⁻¹ e 1.260,130 kJ.ha⁻¹ para óleo diesel; óleo lubrificante e graxa, respectivamente.

Os gastos energéticos com insumos e serviços para a manutenção da cultura são apresentados no Quadro 20.

Quadro 20. Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, para a manutenção de um hectare da cultura do “coast-cross” em produção de feno

Rubrica	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
ADUBAÇÃO DE COBERTURA			
Adubo (fórmula 20-05-20)			
N	kJ.kg ⁻¹	73.000	14.600.000,00
P ₂ O ₅	kJ.kg ⁻¹	13.000	650.000,00

K ₂ O	kJ.kg^{-1}	9.000	1.800.000,00
Mão-de-obra	kJ.h^{-1}	386,40	7.047,94
CONTROLE DE INVASORAS			
Herbicida	kJ.l^{-1}	228,00	228,00
Mão-de-obra	kJ.h^{-1}	386,40	3.091,20
IRRIGAÇÃO (8 irrigações/ano)			
Bombeamento	kJ.h^{-1}	2.400,00	72.000,00
Irrigação	$\text{kJ.h}^{-1}.\text{m}^{-1}$	92,00	55,20

Do total da energia gasta na manutenção anual de um hectare da cultura do “coast-cross” (17.132,42 MJ), com insumos e serviços, excluindo gastos com combustíveis e lubrificantes para máquinas tratorizadas, 99,52% é empregado em adubação de cobertura. De maneira semelhante ao ocorrido nos tratamentos culturais (durante a implantação da cultura), porém, perfazendo um consumo de 17.050,00 MJ.ha⁻¹, dentre os elementos constituintes do fertilizante, a participação preponderante foi do nitrogênio, como se observa na Figura 30.

Além da grande quantidade de Nitrogênio utilizada (200 kg para cada 1.000 kg de fertilizante), sua participação qualitativa, em termos de energia consumida, pode ser considerada elevada (73.000 kJ.kg⁻¹ – Quadro 20), o que explica seu dispêndio energético no adubo oito vezes maior que o K₂O (Figura 30), que possui coeficiente energético de 9.000 kJ.kg⁻¹ (Quadro 20), mesmo tendo este o mesmo consumo relativo, dentro da massa total do adubo formulado, ou seja, 200 kg de K₂O para cada 1.000 kg de fertilizante.

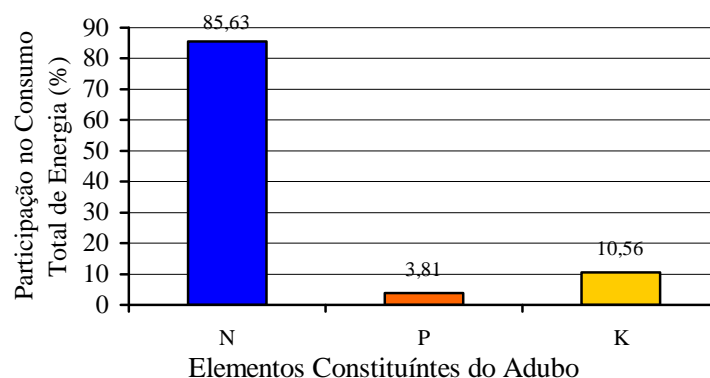


Figura 30. Participação percentual de N (“N”), P_2O_5 (“P”) e K_2O (“K”) no consumo energético, relativo à adubação de cobertura, para manutenção anual de um hectare da cultura do “coast-cross”.

Apesar de pesquisadores se mostrarem preocupados com o custo dos herbicidas (Clements et al., 1995), no presente estudo envolvendo a cultura do “coast-cross”, a rubrica relativa a herbicidas não representa elevado dispêndio de energia. Ao contrário, sua participação na formação do consumo energético anual, mesmo excluindo os dispêndios energéticos relativos a combustíveis e lubrificantes, não atinge 0,01% da energia total investida ($228 \text{ kJ} \cdot \text{ha}^{-1}$). É claro que, os cálculos de consumo realizados neste trabalho se referem a dados médios do SIPL/EMBRAPA de sete anos, sendo que a utilização de herbicidas na cultura do “coast-cross” foi feita de acordo com as necessidades de cada época, levando em consideração as recomendações técnicas. Campos et al. (2000), em estudo energético da produção de silagem de milho, com a cultura sendo desenvolvida de forma intensiva, encontraram uma participação na formação do custo energético de 2,54 % para os herbicidas.

Apesar de o adubo ser distribuído manualmente, à lanço, no campo, o dispêndio energético com a mão-de-obra para esta operação é de apenas de 0,04% da categoria em estudo ($7.047,94 \text{ kJ.ha}^{-1}$).

Mesmo tendo o tempo de utilização do conjunto de irrigação aumentado de 7,50 horas do período de implantação do capim para uma média de 30 horas por ocasião da manutenção anual da cultura, seu consumo energético não se torna expressivo na contabilização dos gastos totais, ou seja, 0,42%, incluindo bombeamento e custo energético geral de manutenção, apesar de toda importância deste sistema na condução da cultura.

6.2.4. Consumo de Energia na Colheita e Fenação do “Coast-Cross”

Os dados apresentados no Quadro 21 informam as parcelas de energia relativas a combustível e lubrificantes, consumidos em operações tratorizadas nesta etapa. Este Quadro revela valores muito maiores que aqueles apresentados nos Quadros 16, 17 e 18, relativos às operações de preparo e correção do solo, plantio e tratos culturais, respectivamente. Este fato se justifica, obviamente, pela diferença de tempo de utilização de equipamentos tratorizados. Enquanto para os dados do Quadro 21 remontam-se um total de 73,80 h (média) de utilização das máquinas, para as operações envolvidas no processo de colheita e fenação do “coast-cross”, as operações descritas nos Quadros 16 a 18 acumulam totais de horas de utilização de trator de 6,56 h; 8,09 h e 2,00 h, para preparo e correção do solo; plantio do “coast-cross” e tratos culturais, respectivamente, por hectare. Percebe-se,

portanto, que esta fase apresenta intensiva utilização de máquinas para o processamento do feno, característica dos sistemas intensivos de produção.

Quadro 21. Consumos anuais de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de colheita, revolvimento e enfardamento do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Corte com segadora	5.535.180,00	70.003,40	13.782,72	5.618.966,12
Esparramação com ancinho	529.7958,00	67.003,26	13.192,03	5.378.153,29
Enleiramento com ancinho	3.953.700,00	50.002,43	9.844,80	4.013.547,23
Enfardamento com enfardadora	7.472.493,00	94.504,59	18.606,67	7.585.604,27
Transporte do feno	6.918.975,00	87.504,25	13.782,72	7.020.261,97
Total por operação	2.9178.306,00	369.017,94	69.208,94	29.616.532,88

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

A operação tratorizada que teve maior participação no consumo de energia foi o enfardamento, seguido pelo transporte (Figura 31). Sendo o feno produzido a campo (Figura 14), lógico, foram necessários vários traslados do produto pronto até o local de armazenamento, o que onerou o consumo de energia desta rubrica.

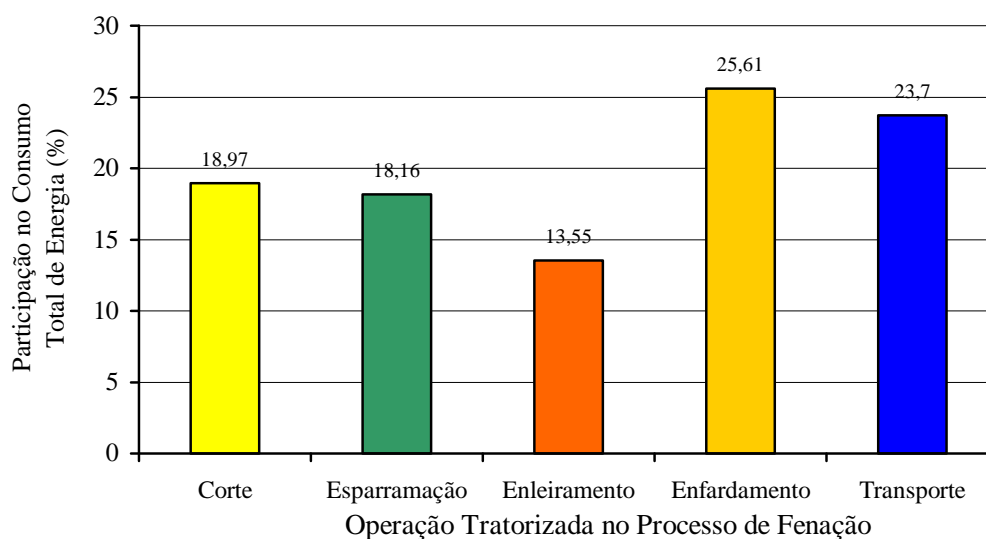


Figura 31. Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, nos processos de corte, revolvimento, enfardamento e transporte do material até o local de armazenamento.

Os insumos/serviços empregados no enfardamento do “coast-cross” constam, basicamente, de utilização de trabalho humano. O Quadro 22 resume a utilização da mão-de-obra. Para a fenação propriamente dita, onde se faz o corte do material, operações de revolvimento através de ancinho, para uma eficiente secagem e posterior enleiramento para possibilitar o recolhimento do material pela enfardadora que promove o enfardamento do “coast-cross”, deixando-o no campo (Figuras 9 a 13) foram empregadas mãos-de-obra relativas a tratorista (que computou 74,57% da utilização do trabalho humano) e auxiliar de tratorista para o processo de enfardamento (25,43% da carga horária computada como trabalho humano). Situação contrária ocorreu para o transporte e armazenamento do feno, onde, do total de energia consumido (Quadro 22), somente 14,12% correspondeu ao trabalho do tratorista, sendo que 85,88% da carga horária utilizada nestas operações se referem ao trabalho

braçal de carga/descarga da carreta de trator e empilhamento dos fardos no galpão de armazenamento.

Quadro 22. Dispendios de energia com mão-de-obra nas operações de colheita, fenação e armazenamento da produção de um hectare de “coast-cross”

Rubrica	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
CORTE, REVOLVIMENTO E ENFARDAMENTO			
Mão-de-obra	kJ.h ⁻¹	386,40	29.173,20
TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO			
Mão-de-obra	kJ.h ⁻¹	386,40	47.874,96

6.2.5. Energia Indireta

Procurou-se agrupar o consumo de energia de todas máquinas, implementos, equipamentos e instalações utilizadas na composição da energia indireta para a produção de feno em um hectare, por ano, no Quadro 23.

A Figura 32 permite uma melhor visualização do consumo de energia indireta, de cada máquina, equipamento ou instalação utilizada, em termos de percentuais, considerando a produção de feno de um ano, para um hectare.

Quadro 23. Composição da energia indireta aplicada em equipamentos e estruturas

Equipamento	Participação como energia indireta nas fases (kJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Total
-------------	---	-------

	Implantação da Cultura	Manutenção Anual	Fenação	(kJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Trator modelo MF 275 simples	60.772,50	40.880,00	1.885.590,00	1.987.242,50
Arado 4 discos fixos de 28"	8.432,91	-	-	8.432,91
Arado de 3 discos reversíveis	6.921,43	-	-	6.921,43
Pulverizador de barra	797,14	-	-	797,14
Grade niveladora	2.358,00	-	-	2.358,00
Carreta agrícola de madeira	2.771,79	9.552,00	104.475,00	116.798,79
Distribuidor de calcário	1.220,57	-	-	1.220,57
Segadora	1.242,86	-	81.200,00	82.442,86
Equipamento de irrigação	8.582,14	240.300,00	-	248.882,14
Pulverizador costal	662,86	4.640,00	-	5.302,86
Ancinho enleirador	-	-	73.476,00	73.476,00
Enfardadora nogueria	-	-	156.870,00	156.870,00
Galpão de armazenamento	-	-	86.106,42	86.106,42

Como ficou evidenciado (Quadro 23 e Figura 32), o trator apresentou consumo de energia indireta muito maior que os demais equipamentos, o que se torna coerente, uma vez que todos implementos agrícolas foram acoplados a este. Apesar de sua elevada utilização na fase de implantação do “coast-cross”, depois de realizado o rateio, para os sete anos de vida considerados para a cultura, o trator teve seu consumo de energia indireta aplicada nesta fase reduzido a 60.772,50 kJ.ha⁻¹.ano⁻¹ (Quadro 23), o que corresponde a 3,06% de todo seu consumo de energia indireta.

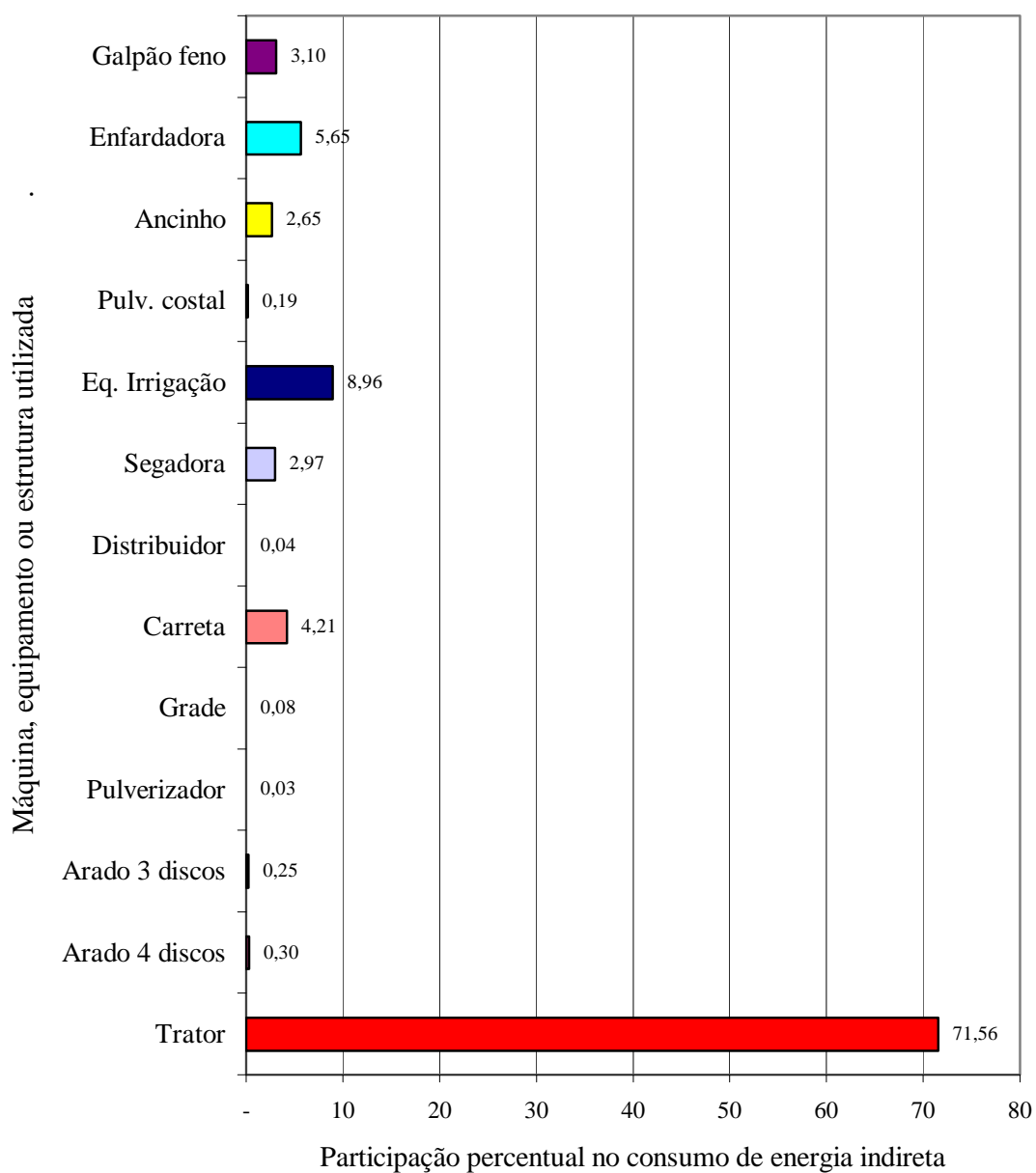


Figura 32. Participação percentual das diversas máquinas, equipamentos e estruturas na composição da energia indireta para a produção anual de feno relativa a um hectare de “coast-cross”.

Na fase de manutenção anual da cultura, a participação do trator no consumo de energia indireta foi menor ainda (2,06% do total), uma vez que era utilizado somente para transportes. Contudo, o grande dispêndio de energia indireta desta máquina se

localiza na fase de fenação, onde, por ser totalmente mecanizada, a operação é completamente dependente da utilização de implementos responsáveis pelo corte, revolvimento e enfardamento, que são acoplados ao trator. Como consequência, dos 71,56% de consumo relativo da energia indireta do trator (Figura 32), 94,88% se localiza na prática de fenação.

Os implementos enfardadora e ancinho enleirador, que tiveram seu uso restrito à fase de fenação, assim como a segadora, que teve 98,49% de seu consumo energético indireto empregado também na fenação, apresentaram participação na energia indireta total maiores que implementos como os arados, ou a grade, que são tradicionais consumidores de energia. Este fato se deve às características peculiares da atividade de cultivo de forrageira para fenação, citadas anteriormente.

O galpão de feno, apesar de empregar vultosas quantidades de energia em sua construção (Quadro 13), participou somente de 3,10% do consumo de energia indireta. Por ter uma elevada vida útil, de 40 anos, que são considerados ininterruptos (24 horas de utilização por dia), o galpão teve sua demanda específica de energia altamente diluída, e ainda tem seu emprego dividido entre o “coast-cross” e a alfafa.

O equipamento de irrigação, que, apesar de apresentar reduzidos consumos de energia direta, como se observa nos Quadros 19 e 20, apresentou participação mais expressiva na energia indireta, ou seja, 8,96% (Figura 32).

6.2.6. Síntese e Consolidação do Balanço Energético para a Produção do Feno de “Coast-Cross”

Nos itens 6.2.2, 6.2.3 e 6.2.4 foram analisados os diversos processos e operações envolvidos na produção do feno de “coast-cross”, desde a implantação da cultura

até a fenação propriamente dita, de forma separada, buscando caracterizar as várias entradas energéticas componentes da matriz, evidenciando os insumos e operações de maior consumo energético. No item 6.2.5 foi caracterizada a utilização de energia indireta, através das diversas máquinas, equipamentos e infra-estrutura, ponderados por seus períodos de utilização, através da suas Demandas Específicas de Energia (DEE). Em seguida, é apresentado o balanço de energia, através da contabilização total de todos insumos (“inputs”) energéticos, englobando as categorias energia direta e energia indireta.

O Quadro 24 apresenta, condensadamente, todas entradas de energia, nas formas direta e indireta e o balanço energético consolidado, considerando os valores médios utilizados para cálculo, de produção anual para um hectare da cultura.

O maior consumidor de energia no sistema em estudo, foi o combustível, na forma de óleo diesel, com 58,73% do total (Figura 33). Este fato se explica pela intensiva utilização de equipamentos tratorizados na fase de fenação da cultura, que ocorre cerca de 7 vezes por ano. Dados os problemas relativos ao custo de energia e sua esgotabilidade, abordados nos itens 4.5.2 e 4.5.3, e considerando a crise energética que é atualmente vivenciada, o elevado consumo de energia na forma de combustível, torna o item o principal “estrangulador” do presente sistema em estudo.

Quadro 24. Balanço energético consolidado para a produção de feno a partir da cultura do “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite

Fonte de Consumo (“inputs”)	Consumo de Energia MJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
ENERGIA INDIRETA	
Máquinas e Equipamentos Trator	1.987,24

Equipamentos e Implementos	454,62
Construções e Instalações	86,11
Equipamento de Irrigação	248,88
SUB-TOTAL – Energia Indireta	2.776,85
ENERGIA DIRETA	
Fertilizantes	
N	15.121,43
P ₂ O ₅	877,50
K ₂ O	1.864,29
Calcário	81,79
Combustíveis e Lubrificantes	
Óleo Diesel	30.751,31
Óleo Lubrificante	388,91
Graxa	72,75
Irrigação	74,63
Herbicidas	0,52
Mudas	239,29
Mão-de-obra	92,62
SUB-TOTAL – Energia Direta	49.565,03
TOTAL	52.341,88
Energia Efetiva contida no Feno de “Coast-Cross”	224.134,21
Eficiência Energética	4,28

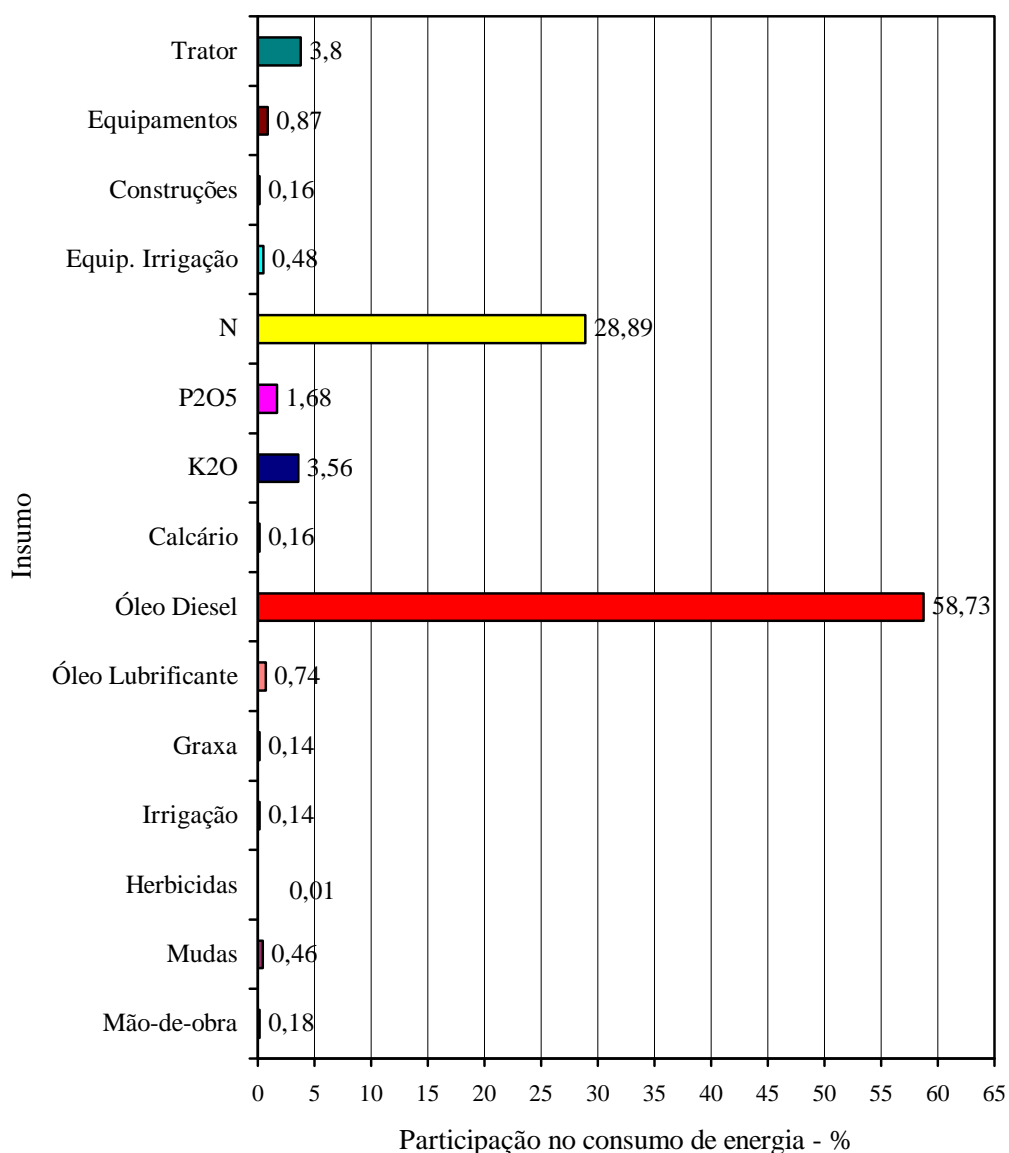


Figura 33. Participação percentual dos diversos insumos (“inputs”) na formação do balanço energético para a produção anual de feno de “coast-cross” no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite.

As soluções visando à redução de consumo energético dentro desta rubrica, são complicadas, uma vez que estariam todas vinculadas à necessidade de redução de utilização de equipamentos para fenação. As sugestões em que se pode fundamentar para

redução sensível do consumo de combustível estão relacionadas à mudança de paradigma processual da operação de fenação, envolvendo maior utilização de mão-de-obra (trabalho humano – que apresentou reduzido consumo anual de energia – Quadro 24) e maior dependência de fatores climáticos.

De toda energia gasta na adubação ($17.863,21 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), 84,65% foram empregados em N, que, como afirmado no item 6.2.3, tem elevado coeficiente energético, o que onera seu consumo. O P_2O_5 teve uma participação no consumo energético muito menor que a do N e até do K_2O . Sua participação mais expressiva se efetivou durante a fase de implantação do “coast-cross” (item 6.2.2.3) que, para o balanço energético final, teve seu valor distribuído pelos sete anos de utilização da cultura.

Em termos comparativos (Figura 33), os elevados consumos de combustível e fertilizantes, tornam inexpressivas as participações de itens como a irrigação, mão-de-obra, mudas e construções, que tem papel primordial na exploração em estudo, tornando evidente a maior eficiência destes itens, e expondo a dependência da agricultura intensiva nos derivados de petróleo (tanto combustíveis, quanto fertilizantes).

De todo o montante energético investido na cultura, somente 5,31% corresponde à energia indireta, e 94,64% são da categoria direta, demonstrando a elevada carga investida em insumos, de uso direto na produção. Dentro da energia direta, cerca de 99% do consumo se caracteriza por insumos diretamente relacionados com petróleo (combustível, lubrificantes, fertilizantes e herbicidas), e 34,13% da energia total é empregada na forma de fertilizantes derivados de petróleo, apresentando tendência semelhante aos trabalhos de Beber (1989) e Ulbanere (1988).

6.2.6.1. Eficiência Energética

Tendo em vista as premissas estabelecidas no presente trabalho, no que se refere à inserção do objeto de estudo dentro da fronteira de sistema, constituída pelas atividades do SIPL, onde a produção de feno tem o objetivo de alimentação dos animais em produção, optou-se no presente trabalho, por considerar como energia convertida, inserida no feno de “coast-cross”, aquela efetivamente utilizável pelo animal.

A partir do valor médio de NDT (Nutrientes Digestíveis Totais) para o feno da cultura, obtido por estudos da EMBRAPA – Gado de Leite, de 54% da matéria seca (média de 22.500,00 kg.ha⁻¹), ou seja 12.150,00 kg de NDT por hectare, e, considerando o valor energético de 18.447,26 kJ.kg⁻¹ de NDT, conclui-se que o total de energia embutida no “coast-cross” produzido em um hectare por ano é de 224.134,21 MJ (Quadro 24). Sendo a energia despendida anualmente no processo produtivo de 52.341,88 MJ por hectare, a eficiência energética na produção de feno, a partir da Equação 7, é de 4,28.

Apesar das intensas atividades com máquinas agrícolas tratorizadas e intensiva utilização de insumos energéticos, notadamente de derivados de petróleo, notadamente fertilizantes, o balanço energético para a produção do feno de “coast-cross” se mostrou bastante favorável.

Em termos comparativos, de uma forma simplista, Schroll (1994), por exemplo, sugere que um índice de 2 para a relação saída/entrada de energia (“output”/“input”) seria razoável para uma política de desenvolvimento da sustentabilidade ecológica da Dinamarca.

6.3. Alfafa

6.3.1. Caracterização da Produção, Produtividade e Qualidade do Produto Obtido (Alfafa)

No período estudado, a EMRABAPA pôde obter uma média anual de 10 cortes por hectare. A produtividade média de alfafa foi de 20 toneladas por hectare ano. A partir do resultado obtido de matéria seca de 87,50%, tem-se a produção de 17,5 t MS.ha⁻¹.ano⁻¹. Esta produtividade superou a média da Zona da Mata mineira, para a cultivar Crioula, de 10,6 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de matéria seca, segundo estudo de Botrel & Alvim (1994), superando, ainda, os valores fornecidos por Botrel et al., apud Botrel & Alvim (1994), que obtiveram, para uma frequência de cortes de 35 dias, médias de 16,2 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Em experimentos com os fenos de alfafa produzidos no SIPL, pesquisadores da EMBRAPA (Aroeira et al., 1996) obtiveram os resultados de análise química reportados no Quadro 25.

Quadro 25. Resultados médios da análise da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) do feno de alfafa produzido no SIPL, expressos em matéria seca

Parâmetro	MS	PB	FDN	FDA
Percentual	87,50	25,10	42,60	32,90

Fonte: Aroeira et al. (1996).

Superando os valores preconizados por Sampaio et al. (1997) (Quadro 2), e superando também o valor de proteína bruta exigida para enquadramento no tipo A (Quadro 3), o valor de FDN (Quadro 25) foi acima daquele exigido para o tipo A, sendo que,

os valores médios obtidos no período de estudo, podem enquadrar a forrageira como tipo B, segundo a classificação proposta pela EMBRAPA (Sampaio et al., 1997).

6.3.2. Consumo de Energia – Implantação e Estabelecimento da Cultura da Alfafa

Uma vez que procurou-se proceder às análises energéticas individualmente, para cada etapa, devido ao fato de que estas envolvem a utilização de máquinas e insumos diferenciados, será apresentado, a seguir, os resultados obtidos, referentes à fase de implantação da cultura. Ressalta-se que, assim como para o “coast-cross”, o consumo energético despendido nesta etapa ocorre somente uma vez (durante sua implantação), sendo seu valor distribuído entre os anos de utilização da cultura (7 anos), para a composição final do balanço de energia.

6.3.2.1. Máquinas e Implementos Agrícolas

A demanda específica de energia das máquinas agrícolas utilizadas para a cultura da alfafa são mostradas no Quadro 26. A maior parte dos equipamentos tiveram utilização comum à alfafa e ao “coast-cross”, sendo que os dados apresentados no Quadro 26 reportam somente aqueles equipamentos que não foram utilizados para o “coast-cross”, e que podem ser observados no Quadro 15.

Quadro 26. Peso, vida útil e demanda específica de energia estimados para as máquinas e implementos utilizados para a cultura da alfafa e que não foram utilizados para o “coast-cross”

Discriminação do Equipamento	Peso (kg)	Vida Útil (h)	DEE (MJ.h ⁻¹)
Subsolador	390	10.000	2,23
Arado de 3 aivecas reversíveis	1082	4.500	13,75
Grade aradora – 16 discos 26”	1370	3.750	20,90
Enxada rotativa	680	1.1500	25,93
Semeadora Adubadora	534,00	1.800,00	16,97

6.3.2.2. Consumo de Energia na Forma de Combustíveis e Lubrificantes

Determinado de forma semelhante ao exposto no item 6.2.2.2, os resultados para a alfafa também serão apresentados considerando as etapas: A) Preparo e Correção do Solo; B) Plantio e C) Tratos Culturais na Implantação.

A) PREPARO E CORREÇÃO DO SOLO

Os consumos de combustíveis e lubrificantes, nas operações tratorizadas realizadas no preparo e na correção do solo, para plantio do campo de alfafa, por hectare, podem ser observados no Quadro 27.

Quadro 27. Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de preparo e correção de acidez do solo para a implantação da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Transporte	909.351,00	11.500,56	1.811,44	922.663,00
Distribuição de calcário	1.186.110,00	15.000,73	1.476,72	1.202.587,45
Sub-solagem	719.573,40	9.100,44	895,88	729.569,72
Aração (aiveca)	1.186.110,00	15.000,73	1.476,72	1.202.587,45
Gradagem (aradora)	600.962,40	7.600,37	2.244,61	610.807,38
Gradagem (niveladora)	1.186.110,00	15.000,73	4.430,16	1.205.540,89
Enxada rotativa	2.253.609,00	28.501,39	8.417,30	2.290.527,69
Aplicação de Herbicida	600.962,40	7.600,37	374,10	608.936,87
Total por operação	8.642.788,20	109.305,31	21.126,94	8.773.220,45

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

Confirmando a afirmativa de Hunt (1986), o preparo do solo constitui uma operação de elevado consumo energético. O gasto energético total (8.773.220,45 kJ.ha⁻¹), devido ao consumo de combustíveis e lubrificantes utilizados em equipamentos tratorizados foi 3 vezes maior que o do “coast-cross” (Quadro 16). Devido à susceptibilidade da cultura ao

excesso de umidade e às características do sistema radicular, é necessário um bom preparo do solo em grande profundidade, visando ao bom desempenho da cultura em toda sua vida útil, o que acarretou a utilização de 3 operações a mais que o “coast-cross” (sub-solagem, gradagem aradora e enxada rotativa).

Também contribuiu para o elevado consumo de energia nesta etapa, o emprego de fertilizante orgânico, que acarretou a necessidade de maior utilização de transporte (Figura 34), para aplicação da cama de aviário e o uso da enxada rotativa para melhor incorporação do material junto com o superfosfato simples. A elevada carga horária utilizada pela EMBRAPA com a enxada rotativa provocou sua elevada participação percentual no consumo energético nesta etapa, como se observa na Figura 34.

As operações que envolvem revolvimento do solo (sub-solagem, aração, gradagens e uso de enxada rotativa), se consideradas conjuntamente, consomem 68,84% do total de energia para o preparo e correção do solo.

A proporção entre os consumos de combustível e lubrificantes, manteve a mesma tendência que para todas operações envolvidas na cultura do “coast-cross”, ou seja, percentuais de 98,51; 1,25 e 0,24; para óleo diesel, óleo lubrificante e graxa, respectivamente. A título de comparação, Ulbanere (1988), trabalhando com milho, encontrou proporções de 88,16; 9,42 e 2,42%, para os mesmos insumos, e na mesma ordem; sendo que a maior percentagem de utilização energética em graxa, possivelmente se deva ao fato da utilização de colhedora automotriz, cujo coeficiente energético para este último insumo é bem maior que para as demais máquinas.

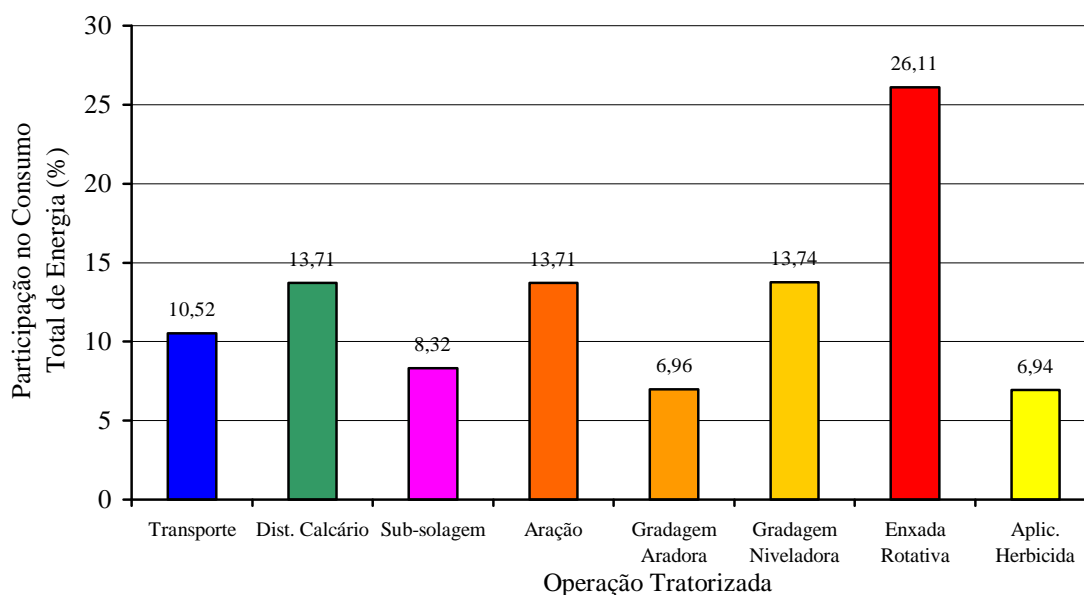


Figura 34. Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, no preparo e correção de do solo para a cultura da alfafa, no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite.

B) PLANTIO

Etapa mais simplificada que para o “coast-cross”, consta somente de promover o plantio, através de uma semeadora-adubadora tracionada por trator, que incorpora no solo tanto as sementes da alfafa quanto o adubo, em uma mesma operação, cujos consumos energéticos de combustíveis e lubrificantes se observam no Quadro 28.

O a energia despendida em transportes ($200.578,91 \text{ kJ.ha}^{-1}$) se refere somente ao traslado do material utilizado até campo de cultivo.

Quadro 28. Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações envolvidas no plantio e adubação da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Transporte	197.685,00	2.500,12	393,79	200.578,91
Plantio e Adubação	632.592,00	8.000,39	1.653,93	642.246,32
Total por operação	830.277,00	10.500,51	2.047,72	842.825,23

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

C) TRATOS CULTURAIS NA IMPLANTAÇÃO

Nos moldes utilizados pelo SIPL/EMBRAPA, os tratos culturais, durante o estabelecimento da cultura, constam somente de controle de invasoras, utilizando-se o herbicida, que é aplicado através de pulverizador de barra. Os consumos de energia devido a utilização de óleo combustível, óleo lubrificante e graxa, para esta operação tratorizada, são de 197.685,00; 2.500,12 e 123,60 kJ.ha⁻¹, respectivamente.

6.3.2.3. Insumos e Mão de Obra

Os dispêndios energéticos relativos aos insumos e mão-de-obra para a implantação da cultura da alfafa, incluindo as etapas de preparo e correção do solo, plantio e tratos culturais, são reportados no Quadro 29, onde não se incluem os valores de energia empregados na forma de combustíveis e lubrificantes, apresentados anteriormente.

Quadro 29. Dispendios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, na implantação da cultura da alfafa

Rubrica	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
A) PREPARO E CORREÇÃO DO SOLO			
Calcário	kJ.kg ⁻¹	229,00	1.719.790,00
Adubo supersimples	kJ.kg ⁻¹	13.000,00	1.560.000,00
Cama de aviário			
N	kJ.kg ⁻¹	73.000,00	25.550.000,00
P ₂ O ₅	kJ.kg ⁻¹	13.000,00	5.200.000,00
K ₂ O	kJ.kg ⁻¹	9.000,00	2.700.000,00
Herbicida	kJ.l ⁻¹	130,00	910,00
Mão-de-Obra	kJ.h ⁻¹	386,40	19.358,64
B) PLANTIO			
Inoculante de sementes	kJ.kg ⁻¹	691.481,31	117.551,82
Sementes	kJ.kg ⁻¹	182,51	3.102,67
Adubos			
N	kJ.kg ⁻¹	73000,00	4.380.000,00
P ₂ O ₅	kJ.kg ⁻¹	13000,00	1.300.000,00
K ₂ O	kJ.kg ⁻¹	9000,00	648.000,00
Micronutrientes	kJ.kg ⁻¹	2157,24	107.862,00
Mão-de-Obra	kJ.h ⁻¹	386,40	2.975,28
C) TRATOS CULTURAIS			
Herbicida	kJ.l ⁻¹	218,00	545,00
Irrigação	kJ.h ⁻¹ .m ⁻¹	110,40	1.471,63
Bombeamento	kJ.h ⁻¹	2.400,00	31.992,00
Mão-de-Obra	kJ.h ⁻¹	386,40	2.511,60

Apesar de ter utilizado 3 vezes mais calcário que para a cultura do “coast-cross”, sua participação no consumo energético foi inferior a 4%, dentro do preparo do solo (Figura 35).

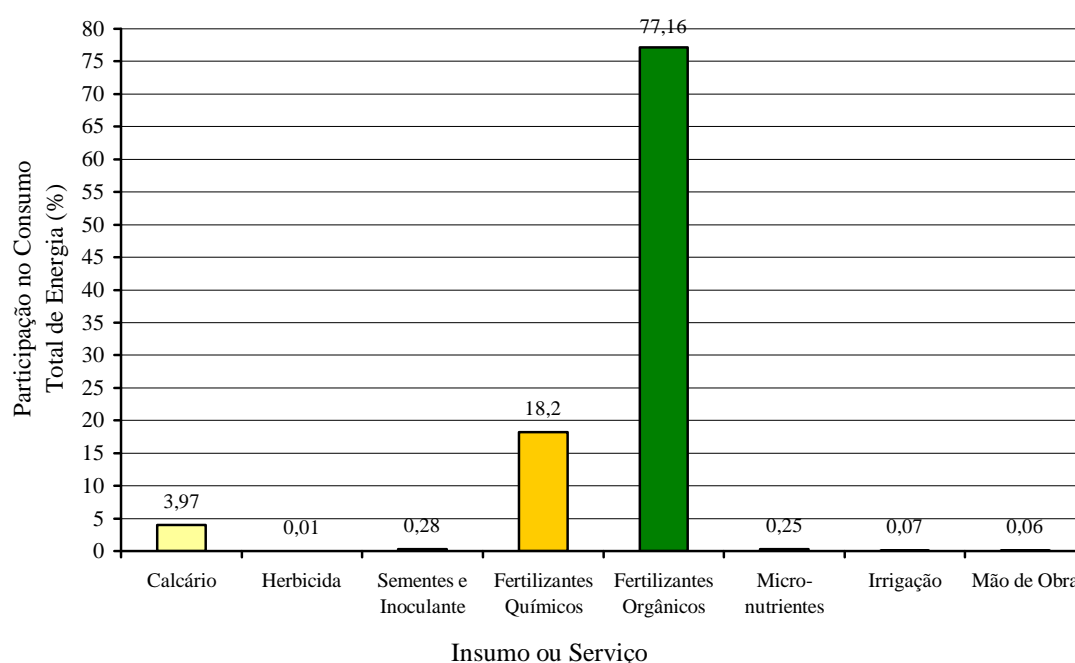


Figura 35. Participação dos diferentes insumos e mão-de-obra no consumo de energia para a implantação da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite.

De forma ainda mais expressiva que para o “coast-cross”, os fertilizantes foram preponderantes na formação do custo energético, sendo que, considerando conjuntamente o orgânico e os químicos, a participação é de 95,37%, dos quais 80,92% correspondem à cama de frango. Devido às elevadas exigências de nutrientes da alfafa para sua implantação, o SIPL optou pela utilização deste esterco, procurando reduzir os gastos econômicos da implantação, além dos aspectos expostos no item 5.3.2.2. Entretanto, Resende & Comastri Filho (1994), estudando os custos de produção do feno de alfafa, sugerem que esta

prática deva ser reavaliada. Phipps et al. (1976) consideram que em sistemas de produção de leite, consideráveis poupanças em custo de energia podem ser obtidas, substituindo fertilizantes inorgânicos por esterco, tendo em vista que uma vaca leiteira produz em torno de 7 a 8 toneladas de esterco por inverno. Mesmo tendo-se esta consciência no SIPL, e, sendo a produção de dejetos dos bovinos integralmente aproveitada, sua produção total é insuficiente para cobrir todos gastos com as culturas desenvolvidas naquele sistema.

Através da Figura 36, percebe-se que o elemento de maior consumo energético na implantação é o Nitrogênio, considerando conjuntamente o adubo orgânico e os derivados de petróleo.

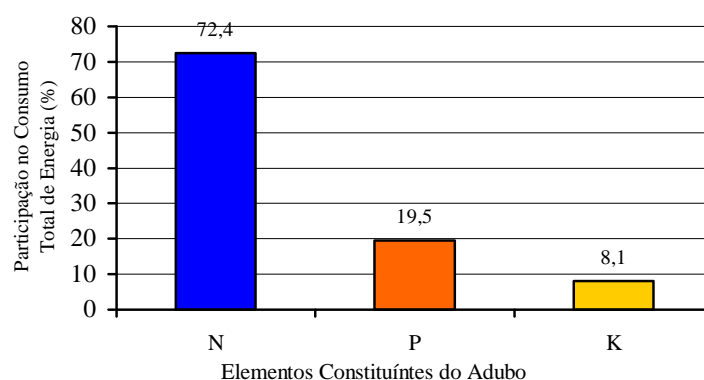


Figura 36. Participação percentual de N (“N”), P_2O_5 (“P”) e K_2O (“K”), no consumo energético relativo a fertilizantes, (químicos e orgânicos) durante a implantação da cultura da alfafa.

A rubrica mão-de-obra, mesmo incluindo toda carga horária de tratorista, ajudante de tratorista para aplicação do esterco e o oneroso trabalho de distribuição manual, a lanço, do superfosfato simples, além de várias outras atividades, como inoculação de sementes, que foram computadas, não atingiu um por cento na formação do custo

energético da implantação; assim como ocorreu com a irrigação, que incluiu bombeamento e gastos energéticos gerais, e com os micronutrientes, que têm utilização essencial no desenvolvimento da cultura.

As sementes, que, como afirma Ulbanere (1988), são as responsáveis reprodutoras por toda massa de produção, tiveram baixo custo energético relativo, mesmo incluindo neste item o inoculante (Figura 35).

Os herbicidas utilizados para a contenção das ervas invasoras, têm coeficientes energéticos ainda menores que o glyphosate (Quadros 12 e 29), o que propiciou dispêndio energético ainda menor.

6.3.3. Consumo de Energia na Manutenção Anual da Cultura da Alfafa

Os resultados obtidos de acordo com as médias de utilização de tratores e implementos para a manutenção anual do campo de alfafa, no que se refere a combustíveis e lubrificantes, se encontra no Quadro 30; onde se percebe que 66,64% da energia é empregada na utilização de pulverizador, para controle de ervas invasoras. Para este tipo de cultura, é necessário um controle severo de gramíneas competidoras, o que incrementa a utilização de herbicida.

Os custos energéticos com insumos e serviços para a manutenção anual da cultura são apresentados no Quadro 31.

Quadro 30. Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas tratorizadas, na manutenção anual da cultura da alfafa

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Transporte	988.425,00	12.500,61	1.968,96	1.002.894,57
Aplicação de Herbicida	1.976.850,00	25.001,22	1.230,60	2.003.081,82
Total por operação	2.965.275,00	37.501,82	3.199,56	3.005.976,38

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

Quadro 31. Dispendios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, para a manutenção de um hectare da cultura da alfafa

Rubrica	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
ADUBAÇÃO DE COBERTURA			
Superfosfato simples - P ₂ O ₅	kJ.kg ⁻¹	13.000,00	780.000,00
Cloreto de potássio - K ₂ O	kJ.kg ⁻¹	9.000,00	3.240.000,00
Micronutrientes	kJ.kg ⁻¹	2.157,24	431.448,00
Mão-de-obra	kJ.h ⁻¹	386,40	46.368,00
CONTROLE DE INVASORAS			
Herbicida	kJ.l ⁻¹	218,00	5.450,00
Mão-de-obra	kJ.h ⁻¹	386,40	1.932,00
IRRIGAÇÃO (8 irrigações.ano⁻¹)			
Bombeamento	kJ.h ⁻¹	2400,00	160.080,00
Irrigação	kJ.h ⁻¹ .m ⁻¹	110,40	7.363,68

Do custo energético anual relativo a fertilizantes ($4.020.000 \text{ kJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), 19,40% foram distribuídos na forma de P_2O_5 , e 80,60% na forma de K_2O ; havendo também um gasto de $431.448,00 \text{ kJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ em micronutrientes, que corresponde a 9,23% do total de insumos e mão-de-obra.

Apesar de considerar-se toda aplicação de fertilizantes para manutenção da cultura, feita manualmente, e, considerando-se ainda toda mão-de-obra empregada em outras atividades anuais da cultura, essa participa com apenas $48.300,00 \text{ kJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, ou seja 1,03%.

De todo gasto anual com insumos, de $4.672.641,68 \text{ kJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, aproximadamente, 70% foi aplicado em Cloreto de Potássio.

Participações relativamente baixas tiveram ainda os itens irrigação e herbicidas, que, mesmo tendo um consumo físico muito maior que para o “coast-cross”, se somados não atingem 4% do custo energético anual de manutenção do campo de alfafa.

6.3.4. Consumo de Energia na Colheita e Fenação da Alfafa

O Quadro 32 expõe as parcelas de energia relativas a combustíveis e lubrificantes, consumidos nas operações tratorizadas para as atividades envolvidas na fenação. Comparando com os resultados para o “coast-cross” (Quadro 21), a alfafa apresenta maiores dispêndios energéticos. Apesar da produção média da alfafa ser um pouco menor que a observada para o “coast-cross”, o que sugere um possível menor consumo de energia nas operações envolvidas, o processo de fenação da alfafa se realizou através de médias de 10

cortes anuais, o que onera os gastos com combustíveis, uma vez que todas distâncias percorridas pelas máquinas são incrementadas.

Quadro 32. Consumos anuais médios de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas, nas operações de colheita, revolvimento e enfardamento da alfafa no SIPL/EMBRAPA - Gado de Leite

Operação	Insumo Energético Usado em Máquina Agrícola (kJ.ha ⁻¹)			Total por Operação
	Óleo Diesel*	Óleo Lubrificante	Graxa	
Corte com segadora	8.302.770,00	105.005,10	20.674,08	8.428.449,18
Esparramação com ancinho	7.512.030,00	95.004,62	18.705,12	7.625.739,74
Enleiramento com ancinho	5.495.643,00	69.503,38	13.684,27	5.578.830,65
Enfardamento com enfardadora	10.279.620,00	130.006,32	25.596,48	10.435.222,80
Transporte do feno	9.093.510,00	115.005,59	18.114,43	9.226.630,02
Total por operação	40.683.573,00	514.525,01	96.774,38	41.294.872,39

* O valor energético se refere ao combustível consumido pelo trator que aciona/traciona o implemento.

Em termos relativos, as diferentes operações tratorizadas mantiveram, aproximadamente, a mesma tendência de distribuição percentual que ocorreu para o “coast-cross”, como se observa na Figura 37.

O Quadro 33 resume as informações relativas aos insumos que excluem utilização de combustíveis e lubrificantes, para a fenação, constando, basicamente, de mão-de-obra, tanto do próprio tratorista como de seus ajudantes, e o trabalho braçal para carga/ descarga de carreta e empilhamento de feno no galpão.

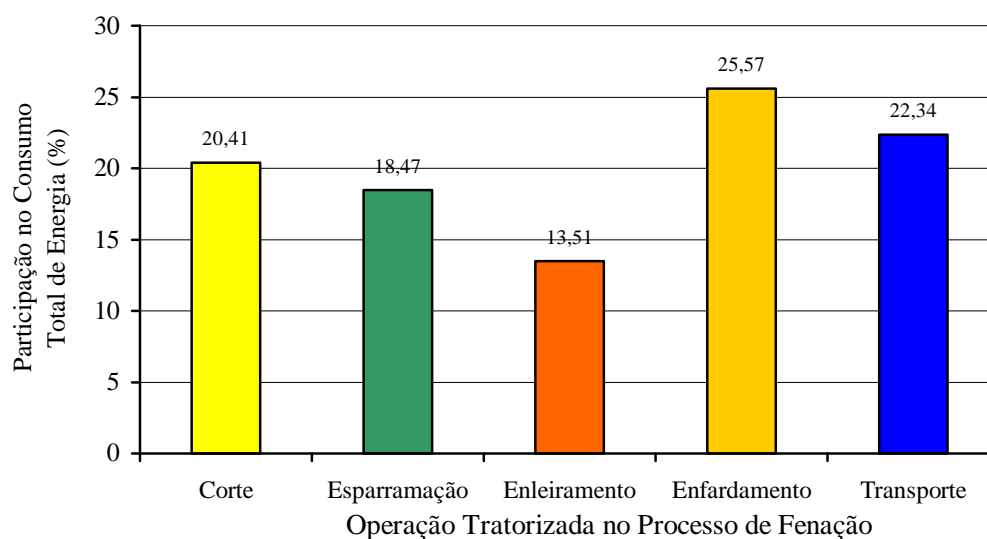


Figura 37. Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, nos processos de corte, revolvimento, enfardamento e transporte do material até o local de armazenamento.

Quadro 33. Dispendios de energia com mão-de-obra nas operações de colheita, fenação e armazenamento da produção de um hectare da cultura da alfafa

Rubrica	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
CORTE, REVOLVIMENTO E ENFARDAMENTO			
Mão-de-obra	kJ.h ⁻¹	386,40	40.687,92
TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO			
Mão-de-obra	kJ.h ⁻¹	386,40	58.346,40

6.3.5. Energia Indireta

O Quadro 34, que mostra a participação das diversas máquinas, equipamentos e estruturas envolvidas, evidencia que para a alfafa, manteve-se a mesma tendência de utilização dos vários itens que para o “coast-cross” (fato que tem melhor visualização na Figura 38). Logicamente, sendo atividades muito semelhantes, com o intuito de produção de feno, este comportamento se torna coerente.

Entretanto, observa-se, mais uma vez, um maior dispêndio energético com os implementos envolvidos na fenação, de acordo com os motivos expostos anteriormente, sobre a utilização de menores intervalos entre cortes para a alfafa, aumentando o número destas operações no decorrer do ano, que intensifica a utilização deste tipo de implementos e, por conseguinte, também do trator.

Uma vez que, o galpão de armazenamento teve sua utilização considerada de forma dividida, exatamente, para os fenos de ambas culturas, envolvendo, também, um mesmo período de vida, é natural que seu consumo de energia indireta tenha sido comum (Quadros 23 e 34).

Como se depreende do Quadro 34, entre os implementos empregados, somente a carreta teve utilização nas três fases consideradas para estudo, destacando-se sua maior participação na etapa de fenação.

Em termos absolutos, enquanto o “coast-cross” empregou um total de 2.776,85 MJ por hectare e por ano, na forma de energia indireta, para a alfafa o valor total foi de 4.232,20 MJ, ou seja, cerca de 52% a mais.

Quadro 34. Composição da energia indireta aplicada em equipamentos e estruturas para alfafa

Equipamento	Participação como energia indireta nas fases (kJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)			Total (kJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
	Implantação da	Manutenção	Fenação	

	Cultura	Anual		
Trator modelo MF 275 simples	89.279,00	191.625,00	2.629.095,00	2.909.999,00
Subsolador	579,80	-	-	579,80
Arado de 3 aivecas reversíveis	5.892,86	-	-	5.892,86
Pulverizador de barra	2.683,71	46.500,00	-	49.183,71
Grade aradora	4.538,29	-	-	4.538,29
Grade niveladora	2.807,14	-	-	2.807,14
Enxada rotativa	21.114,43	-	-	21.114,43
Semeadora adubadora	3.878,86	-	-	3.878,86
Carreta agrícola de madeira	2.388,00	14.925,00	137.310,00	154.623,00
Distribuidor de calcário	3.051,43	-	-	3.051,43
Equipamento de irrigação	15.253,33	534.267,00	-	549.520,33
Segadora	-	-	121.800,00	121.800,00
Ancinho enleirador	-	-	103.306,00	103.306,00
Enfardadora	-	-	215.800,00	215.800,00
Galpão de armazenamento	-	-	86.106,42	86.106,42

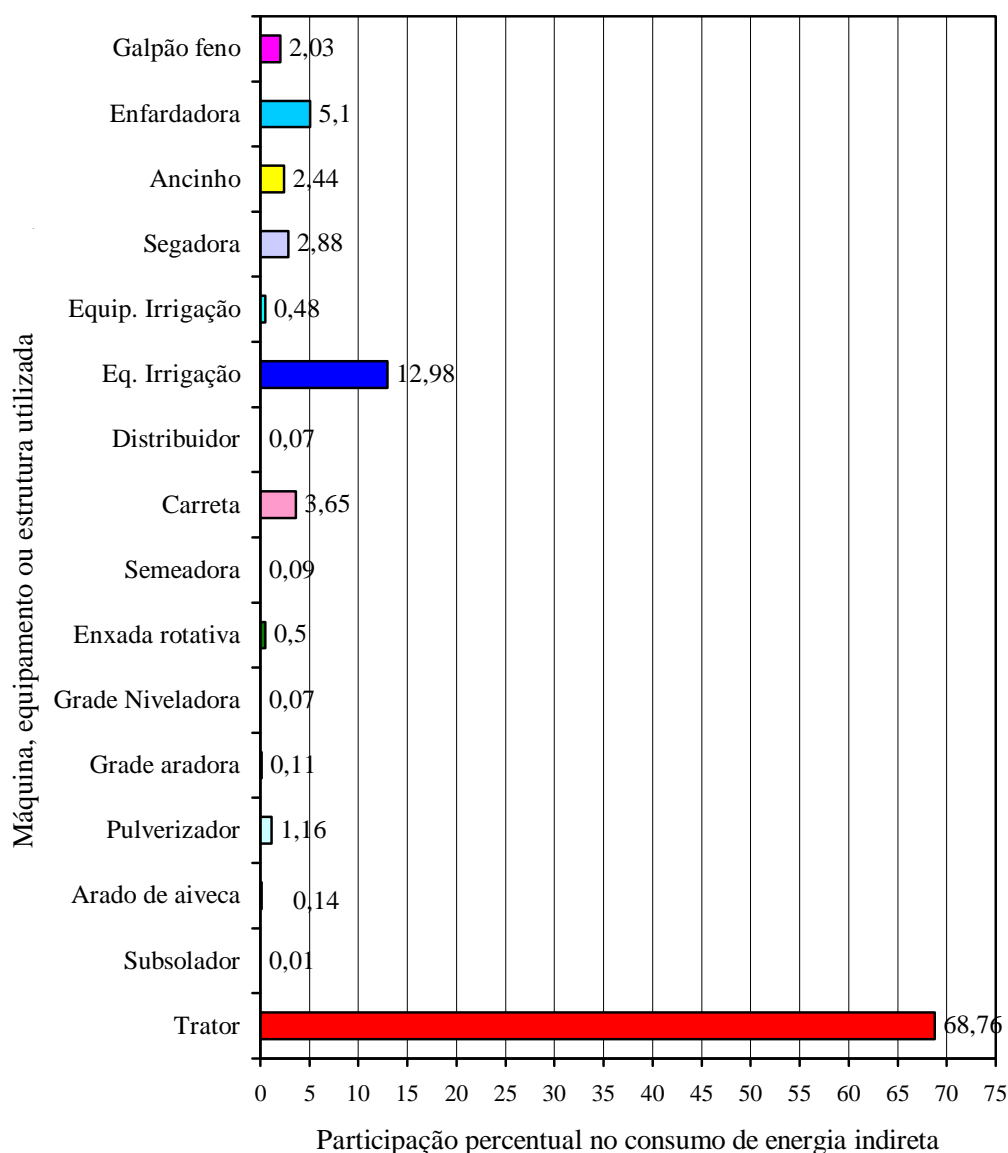


Figura 38. Participação percentual das diversas máquinas, equipamentos e estruturas na composição da energia indireta para a produção anual de feno relativa a um hectare de alfafa.

Apesar de algumas diferenças em equipamentos de preparo do solo utilizados, a tendência geral de distribuição percentual da energia indireta para a alfafa se manteve semelhante à do “coast-cross” (Figura 38). Sendo o trator utilizado na grande maioria

das atividades, como acionador dos implementos, é natural que sua participação na composição dos consumos energéticos indiretos seja muito maior que todos demais itens. Os implementos de revolvimento do solo, apesar de demandarem apreciáveis quantidades de energia, tiveram menor participação relativa, devido ao fato de seus valores estarem diluídos nos sete anos de vida da cultura.

6.3.6. Síntese e Consolidação do Balanço Energético para a Produção do Feno de Alfafa

O cômputo geral, da energia empregada na produção de feno, considerando as formas direta e indireta, é sintetizado no Quadro 35.

O maior consumo de energia observado foi da categoria direta, com 93,05% do total, sendo 6,95% para a indireta.

Pela Figura 39, percebe-se, mais uma vez, a preponderância no uso de energia fóssil, através do combustível utilizado nas operações mecanizadas, desenvolvidas por meio de trator.

Itens como sementes (incluindo o inoculante), mão-de-obra, irrigação, micronutrientes e, até mesmo os herbicidas, que têm uso essencial à produtividade da cultura, apresentaram valores de consumo energético baixíssimo na composição da matriz (Quadro 35 e Figura 39).

Quadro 35. Balanço energético consolidado para a produção de feno a partir da cultura da alfafa no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite

Fonte de Consumo (“inputs”)	Consumo de Energia MJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
ENERGIA INDIRETA	
Máquinas e Equipamentos	
Trator	2.910,00
Implementos	686,58
Construções e Instalações	86,11
Equipamento de Irrigação	549,52
SUB-TOTAL – Energia Indireta	4.232,20
ENERGIA DIRETA	
Fertilizantes	
N	4.275,71
P ₂ O ₅	1.931,43
K ₂ O	3.718,29
Micronutrientes	446,86
Calcário	245,68
Combustíveis e Lubrificantes	
Óleo Diesel	45.030,38
Óleo Lubrificante	569,45
Graxa	103,30
Irrigação	172,22
Herbicidas	5,66
Sementes e Material de Propagação (Inoculante)	17,24
Mão-de-obra	150,88
SUB-TOTAL – Energia Direta	56.667,11
TOTAL	60.899,31
Energia Efetiva contida no Feno de Alfafa	193.696,23
Eficiência Energética	3,19

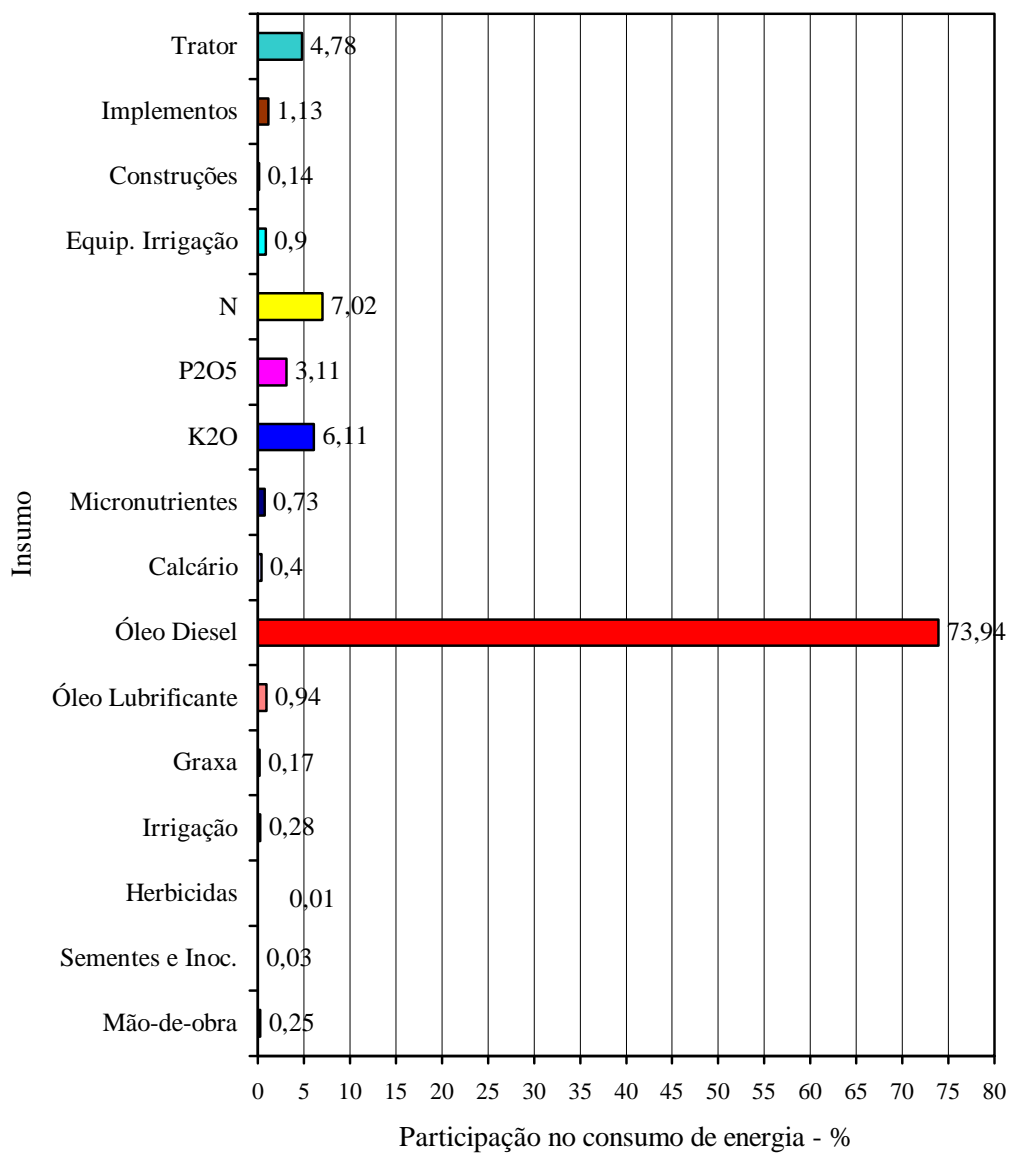


Figura 39. Participação percentual dos diversos insumos (“inputs”) na formação do balanço energético para a produção anual de feno de alfafa no SIPL/EMBRAPA – Gado de Leite.

Em segundo lugar no consumo energético, se apresentam os fertilizantes, que, de um gasto total de $9.925,43 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, dos quais 48,14% tiveram

origem em material orgânico e 51,86% em derivados de petróleo, têm papel primordial na viabilidade da condução desta cultura.

A Figura 40 demonstra de forma mais clara as participações dos elementos, de origem fóssil ou orgânica, onde se percebe que a maior parte do N utilizado é advindo do esterco. De acordo com os procedimentos do SIPL, fontes de nitrogênio somente foram utilizadas por ocasião da implantação da cultura. A contribuição energética mais intensa de elemento de origem fóssil foi para o K_2O , aplicado de forma separada, ou seja, sem uso de formulação composta com nitrogênio.

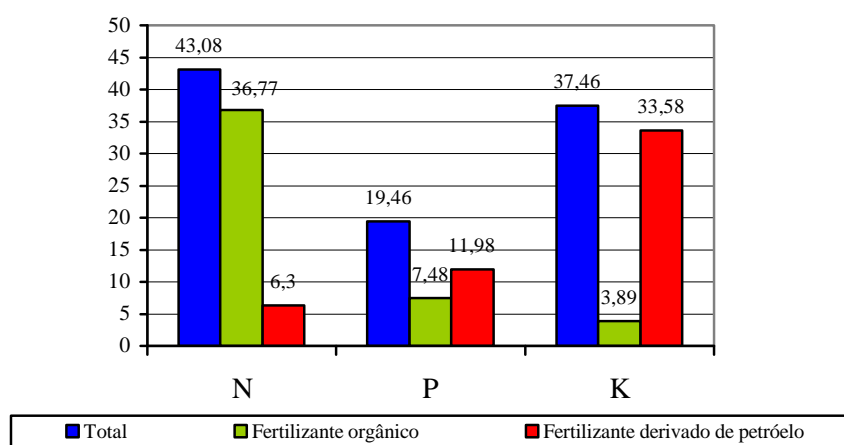


Figura 40. Distribuição percentual da energia empregada em N (“N”), P_2O_5 (“P”) e K_2O (“K”) nos fertilizantes utilizados, de origem orgânica ou derivada de petróleo.

Desde os trabalhos pioneiros encontrados na literatura (Pimentel et al., 1973) remonta-se uma preocupação, pelos pesquisadores, da elevada carga energética encontrada no uso de nitrogênio advindo de adubos minerais, ou seja, derivados de petróleo.

Torna-se interessante a análise do comportamento de consumo de energia embutida em fertilizantes nitrogenados no contexto da cultura da alfafa sob dois aspectos, quais sejam:

- a. A alfafa, segundo apregoa a literatura, tem a capacidade de fixar nitrogênio do ar atmosférico, desta forma, o uso de fertilizantes nitrogenados só ocorre na implantação da cultura;
- b. O único fornecimento ocorrido, deste elemento, se caracterizou por uma preponderância de utilização de fonte orgânica, em detrimento do uso de derivados de petróleo.

Estes fatos caracterizam um comportamento diferenciado da alfafa no uso de insumos energéticos na forma de adubo, se comparado com a maioria das culturas amplamente estudadas no âmbito dos balanços de energia, e com maior divulgação, de uma forma geral, no meio científico.

6.3.6.1. Eficiência Energética

Sendo o NDT médio, para a alfafa, de 60%, e, tomando como base a produção média anual de matéria seca da cultura ($17.500,00 \text{ kg.ha}^{-1}$), tem-se que a produtividade média de nutrientes digestíveis totais foi de $10.500 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Considerando-se o valor energético de $18.447,26 \text{ kJ.kg}^{-1}$ de NDT, depreende-se que a energia total embutida na alfafa produzida é de $193.696,23 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A partir do valor total de energia gasto na produção apresentado no Quadro 35, conclui-se que a eficiência energética para a produção do feno de alfafa, a partir do conceito da Equação 7, foi de 3,19.

Heichel & Martin (1980), realizaram estudo energético da produção de feno de alfafa, na Região Oeste do Colorado, em médias de três anos de produção. Os autores chegaram a uma eficiência de 1,85 (“output” de energia digestível/ “input” de energia fóssil). O maior consumidor de energia foi o combustível, sendo em segundo o P_2O_5 , não havendo utilização de N.

6.4. Considerações Gerais

A participação energética do combustível, tanto para “coast-cross”, quanto para alfafa, (Figuras 33 e 39), na formação do balanço, superou os dados constantes na literatura para outras culturas, de uma forma geral. Quesada et al. (1987), por exemplo, informam participações de 47,6%; 46,5% e 40,7%, na energia advinda do óleo diesel, para as culturas de milho, soja e trigo, respectivamente, em estudo desenvolvido no Rio Grande do Sul.

Em todas etapas, para ambas culturas, percebeu-se baixíssimo consumo de energia na forma de trabalho humano, o que motiva autores, como Ulbanere (1988), a desconsiderar a utilização desta rubrica na contabilização do balanço energético. Para o presente trabalho, os valores baixos ocorreram devido às características da delimitação adotada para o sistema em estudo, como explicado no item 5.1. Para sistemas mais amplos, pesquisas levando em consideração as apresentações detalhadas por Fluck (1981) poderiam propiciar consumos bem mais elevados para a mão-de-obra, devido àquela energia indireta implícita necessária para a manutenção do padrão de vida do trabalhador e suas família.

Pimentel et al. (1973) sugeriram as seguintes alternativas para a diminuição do consumo energético na cultura do milho:

- a) Dimensionamento adequado das máquinas, privilegiando-se as de menor tamanho e aumentando-se a área atendida por um trator ou outra maquinaria;
- b) Substituição de fertilizantes químicos por adubos orgânicos de origem animal;
- c) Redução do emprego de fertilizantes nitrogenados, através do plantio de leguminosas ou de outras plantas alternativas em sistemas de rotação de culturas;
- d) Diminuir operações de aração e gradagem e implementar o cultivo mínimo;
- e) Melhoramento genético de cultivares, visando maior resistência às pragas e doenças;
- f) Intensificação da mão-de-obra no processo produtivo.

Sobre estes apontamentos de Pimentel et al. (1973) pode-se fazer as seguintes observações, de acordo com as condições em que o presente estudo foi realizado:

- (item b) No SIPL, foi utilizado adubo orgânico para a implantação da cultura da alfafa, o que promoveu considerável aumento de utilização de energia não derivada do petróleo. Complementando, Mello (1986) aponta que a fertilização do solo através da incorporação de restos de culturas, resíduos vegetais e animais, tem custo energético relativamente reduzido, gerando resultados satisfatórios em fertilização além de serem integrantes naturais de cadeias de ecossistemas. Porém, o autor adverte que a intensidade com que a agricultura é exercida não permite que exista tanto fertilizante orgânico quanto se necessita, como se observa no SIPL;
- (item c) Para o caso da alfafa, sendo leguminosa, se mostrou bastante independente da necessidade de incorporação de adubos nitrogenados, na manutenção anual da cultura;

para o caso do “coast-cross”, sendo uma cultura perene, não se torna viável a rotação com outras culturas;

- (item d) As observações não se aplicam, de maneira tão acentuada neste trabalho, uma devido à sua característica perene, onde não se faz o revolvimento do solo na manutenção da cultura;
- (item f) Serve como sugestão, para a prática da fenação, a possibilidade de utilização de equipamentos manuais de fenação – claro que esta prática será muito dependente do volume de exploração.

No desenvolvimento deste trabalho, procurou-se, além dos aspectos energéticos, evidenciar a importância da utilização de alimentos volumosos, de elevado valor protéico, na alimentação de bovinos de leite, com vistas a uma maior produtividade, reduzindo-se a necessidade de utilização de concentrados. A produção de feno para alimentação de bovinos em confinamento é uma prática pouco utilizada no Brasil. Embora a produção de feno de qualidade seja viável, a fenação continua não despertando interesse dos produtores (Boin, 1996). Para ele, entre os principais fatores relacionados com esse pequeno interesse destacam-se: o risco relativamente alto de produção; as dificuldades de produção de grandes quantidades de feno de qualidade; e a necessidade de processamento de fardos para facilitar a alimentação em grande escala e diminuir as perdas. A possibilidade de uso de outros volumosos de produção aparentemente mais fácil também limita o uso de feno na alimentação de bovinos confinados.

Finalizando, segundo alerta Benincasa (1992), o posicionamento dos profissionais das Ciências Agrárias, como o Engenheiro Agrícola ou Agrônomo, diante da

situação energética brasileira parece bastante claro e dependerá muito da mudança de postura da comunidade que desenvolve atividades no setor agropecuário. O autor considera que, em primeiro lugar, seria uma grande contribuição abordar a agricultura em termos de energia investida e energia convertida e segundo relações benefício/custo realistas, que considerem a degradação do meio produtivo. Em segundo lugar, abordar a agricultura de acordo com suas potencialidades de país tropical, com área territorial extensa e com disponibilidade relativa de recursos hídricos.

7. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as discussões apresentadas neste trabalho, pode-se destacar as seguintes conclusões:

1. Ambas culturas desempenharam altos níveis de produtividade, assim como boas características nutricionais, se comparadas com as apresentações da literatura;
2. No processo de implantação da cultura do “coast-cross”, a operação tratorizada que apresentou maior demanda de energia, relativa a combustíveis e lubrificantes, foi a aração, sendo seu consumo energético diluído nos anos de utilização da cultura. A participação preponderante foi do combustível utilizado, de óleo diesel, e essa tendência se manteve para todas operações tratorizadas, inclusive para aquelas empregadas para alfafa, devido à proporcionalidade desses insumos entre as máquinas de consumo e utilização predominante dos mesmos implementos;

3. Dentre os diversos insumos empregados na implantação do campo de “coast-cross”, o de maior consumo energético foi o fertilizante, com destaque para o nitrogênio, que participou com 64,11% da energia empregada em sua categoria;
4. Na manutenção anual da cultura, (“coast-cross”) a rubrica de maior dispêndio energético também foi de fertilizante ($17.5050 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), sendo o maior destaque, também para o nitrogênio ($14.600 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). Este elemento, além de ser utilizado em grande quantidade, possui um elevado coeficiente energético, o que explica os elevados consumos;
5. No processo de fenação do “coast-cross”, ocorrido em média sete vezes por ano, a operação tratorizada de maior dispêndio energético foi o enfardamento, com $7.585,61 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$;
6. Na composição da energia indireta empregada na produção do feno de “coast-cross”, o trator teve a maior participação ($1.987,24 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), devido ao fato deste ser acionador de todos implementos utilizados, tendo o equipamento de irrigação ocupado segundo lugar no consumo geral ($248,88 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$);
7. Considerando separadamente os implementos agrícolas, na formação da energia indireta, os de maior demanda energética foram aqueles relacionados com os processos de fenação, para ambas culturas;

8. O consumo energético total para a produção do feno de “coast-cross” foi de 52.341,88 MJ.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo somente 5,31% corresponde à energia indireta, e 94,64% da direta, demonstrando a elevada carga investida em insumos, de uso direto na produção;
9. A produção de feno de “coast-cross” apresentou uma eficiência energética de 4,28;
10. No balanço energético global para o “coast-cross”, o maior consumo energético se deu na forma de combustível (58,73%), seguido pelo nitrogênio (28,89%), usado em fertilizantes, ambos derivados de petróleo;
11. Outros itens componentes da matriz energética, de importância capital para a produção (Irrigação, mudas, mão-de-obra, herbicidas) apresentaram reduzido consumo de energia;
12. Uma das diferenças na implantação da cultura da alfafa, se comparada à do “coast-cross”, no que tange ao consumo de combustíveis e lubrificantes, se refere à utilização da enxada rotativa, que, para promover a mistura do fertilizante orgânico no solo, teve participação energética preponderante nesta etapa, ou seja, 2.290,53 MJ.ha⁻¹ (26,11% do total);
13. Outro fator que diferenciou sobremaneira na implantação da alfafa, foi a utilização de cama-de-frango, como fonte de fertilizante, sendo que esta rubrica foi responsável por 77,16% do total de consumo energético em insumos e serviços, na ocasião da

implantação da cultura. O fertilizante derivado de petróleo também se mostrou consumidor de grande parte da energia (18,2%), sempre com maior destaque para o nitrogênio;

14. Na manutenção do campo de alfafa, a diferenciação em relação ao “coast-cross”, se deu pelo fato de não se utilizar nitrogênio, nas adubações de cobertura, tendo o cloreto de potássio assumido a responsabilidade pelo maior consumo de energia, 3.240,00 MJ.ha⁻¹.ano, correspondendo a 80,60% do consumo de energia na forma de fertilizante;
15. A energia utilizada na forma de combustíveis e fertilizantes para a alfafa teve distribuição relativa semelhante ao “coast-cross”, uma vez que utilizou as mesmas máquinas, porém, com maiores valores absolutos, pois, foram feitos, em média, 10 cortes anuais, para a produção de feno;
16. Na formação do consumo de energia indireta, o maior consumidor, mais uma vez, foi o trator (2.909,99 MJ.ha⁻¹.ano⁻¹), pelo motivo exposto para o “coast-cross”, sendo o segundo maior consumidor, também, o equipamento de irrigação (549,52 MJ.ha⁻¹.ano⁻¹). Ambos apresentaram maiores valores absolutos de energia consumida que para o “coast-cross”, sendo o primeiro, pelo maior número de operações mecanizadas e maiores períodos de utilização (mais cortes por ano) e o segundo, devido à característica técnica de condução da cultura, exigindo maior volume de água aplicada, assim como também tempo de funcionamento;

17. O consumo total de energia para a produção do feno de alfafa foi de 60.899,31 MJ.ha⁻¹.ano⁻¹. Esta cultura empregou mais energia indireta (6,95%) que o “coast-cross”, uma vez que mobilizou maior número de implementos e operações, assim como maior período de ocupação dos mesmos. A energia direta teve percentual de utilização de 93,05;
18. A eficiência energética foi para a produção do feno de alfafa foi de 3,19;
19. Através do balanço energético, foi possível constatar que os derivados de petróleo, foram os maiores consumidores de energia, sendo somente o óleo diesel responsável por 73,94% do consumo total, que engloba as energias direta e indireta;
20. Finalmente, pode-se afirmar que, apesar dos elevados valores absolutos de consumo energético apresentados pelas duas culturas, ambas se mostraram eficientes na utilização da energia empregada, evidenciando a sustentabilidade da produção.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, M.J. *Estabelecimento e manejo da alfafa*. Folha Solta 13 – EMBRAPA GADO DE LEITE. Juiz de Fora, 1999. (Coleção Pasta do Produtor de Leite – “Orientações Técnicas para o Produtor de Leite”).

ALVIM, M.J., RESENDE, H., BOTREL, M.A. Efeito da frequência de cortes e do nível de nitrogênio sobre a produção e a qualidade da matéria seca do “coast-cross”. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.45-55.

ANDRADE, I.F. Métodos de utilização das forragens. *Inf. Agropecu.*, v.11, n.132, p.38-9, 1985.

- ANDRIGUETO, J.M., PERLY, L., MINARDI, I., GEMAEL, A., FLEMMING, J.S., SOUZA, G.A. de., BONA FILHO, A. *Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal, os alimentos*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1988. v.1, 395p.
- AROEIRA, L.J.M., LOPES, F.C.F., DAYRELL, M.S. Degradabilidade de alguns alimentos no rúmen de vacas holandês/zebu. *Rev. Soc. Bras. Zootecnia*, v.25, n.6, p.1178-86, 1996.
- AVILA, V.S., MAZZUCO, H., FIGUEIREDO, E.A.P. Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante. *Circ. Téc. Cent. Nac. Pesqui. Suínos Aves – Emp. Bras. Pesqui. Agropecu.*, n.16, p.1-38, 1992.
- AXINN, G.H., AXINN, N.W. Energy and food relationships in developing countries: a perspective from the social sciences. In: PIMENTEL, D., HALL, C.W. (Ed.) *Food and energy resources*. London: Academic Press, 1984. p.121-46.
- BAÊTA, F.C., PELOSO, E.J.M., HOMEM, A.C.F. *Custos de construções*. Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 57p. (Boletim de extensão, 21).
- BANSAL, R.K., KSHIRSAGAR, K.G., SANGLE, R.D. Efficient utilization of energy with an improved farming system for selected semi-arid tropics. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.24, n4, p.381-94, 1988.

BATISTTON, W.C. *Gado leiteiro: manejo, alimentação e tratamento*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1988. 404p.

BEBER, J.A.C. *Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais, Agudo, RS*. Santa Maria, 1989. 295p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Santa Maria.

BENINCASA, M. Energia na agricultura. In: CORTEZ, L.A., MAGALHÃES, P.S.G. (Coord.) *Introdução à engenharia agrícola*. Campinas: Ed. UNICAMP, 1992. p.155-63.

BEZERRA, J.L. Desenvolvimento do comportamento empresarial como fator de aumento da produção, produtividade e lucratividade. In: SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL, 1, 1999, Goiânia. *Anais...* Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, Goiânia: Serrana Nutrição Animal/CNPq, 1999. p.185-8.

BOIN, C. Alimentos volumosos para confinamento de bovinos. In: SIMPÓSIO DE GADO DE CORTE, 1, 1985, São Paulo. *Anais...* São Paulo: PURINA, 1985. p.38-61.

BOIN, C. Alimentos volumosos para confinamento de bovinos. In: PEIXOTO, A.M., HADDAD, C.M., BOIN, C., BOSE, M.L.V. (Coords.) *O confinamento de bois*. 5.ed. São Paulo: Globo, 1996. p.91-122.

BOLLAND, E.J. Utilización de alfalfa en producción de leche. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1, 1994, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1994. p.201-3.

BOLLER, W. *Avaliação de diferentes sistemas de manejo do solo visando à implantação da cultura do feijão Phaseolus vulgares L.* Botucatu, 1996. 272p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

BOLLER, W., GAMERO, C.A. Estimativas dos custos econômicos e energéticos de sistemas de preparo e de manejo do solo para a cultura do feijão. *Energ. Agric. (Botucatu)*, v.12, n.2, p.26-38, 1997.

BONNY, S. Is agriculture using more and more energy? A French case study. *Agric. Syst.*, v.43, n.1, p.51-66, 1993.

BORTOLETO, E.E., CHABARIBERY, D. Leite e derivados – dificuldades e oportunidades na virada do século. *Balde Branco*, v.35, n.417, p.56-62, 1999.

BOTREL, M.A., ALVIM, M.J. Avaliações preliminares de alfafa, na região da zona da mata de Minas Gerais. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DA

- ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1, 1994, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-CNPGL, 1994. p.37-45.
- BOYELDIEU, J. Rendement énegétique de la production agricole: les bilans d'énergie. *Agriculture (Paris)*, v.386, p.124-8, 1975.
- BRANCO, S.M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Moderna, 1991. 96p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia/AGMET-MG. *Normais climatológicas, Coronel Pacheco-MG, período de 1965-1990*. Belo Horizonte, 1991. 1p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço energético nacional*. Brasília, 1997. 153p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço energético nacional*. Brasília, 2000. 154p.
- BRIDGES, T.C., SMITH, E.M. A method for determining the total energy input for agricultural practices. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.22, n.4, p.781-4, 1979.
- BUENO, O.C., CAMPOS, A.T., CAMPOS, A.T. Balanço de energia e contabilização da radiação global: simulação e comparativo. In: *Avances en ingeniería agrícola*. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2000. p.477-82.

BURT, E.C., REEVES, D.W., RAPER, R.L. Energy utilization as affected by traffic in a conventional and conservation tillage system. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.37, n.3, p.759-62, 1994.

CAMPOS, A.T. *Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite*. Botucatu, 1997. 141p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CAMPOS, A.T., NOVAES, L.P., CAMPOS, A .T., FERREIRA, W.A., BUENO, O.C. Balanço energético na produção de silagem de milho em cultivos de verão e inverno com irrigação. In: *Avances en ingeniería agrícola*. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000. p.483-8.

CARMO, M.S., COMITRE, V. Evolução do balanço energético nas culturas de soja e milho no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 29, 1991, Campinas. *Anais...* Brasília: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1991. p.131-49.

CARMO, M.S., COMITRE, V., DULLEY, R.D. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. *Agric. São Paulo*, v.35, n.1, p.87-97, 1988.

CARVALHO, A. *Análise eco-energética dos sistemas de produção agrícola da zona vitícola de Dois Portos (Torres Vedras)*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. 44p.

CARVALHO, A., GONÇALVES, G.G., RIBEIRO, J.J.C. *Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de Torres*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1974. 79p.

CARVALHO, A.W.B., MARTINS, E.R.C. *Cobertura de edifícios*. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 45p. (Boletim de extensão, 195).

CARVALHO, L.A., VILELA, D. (Coord.) *Cultura da alfafa*. Coronel Pacheco: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1994. 44p.

CASTANHO FILHO, E.P., CHABARIBERY, D. Perfil energético da agricultura paulista. *Agric. São Paulo*, v.30, tomos 1 e 2, p.63-115, 1983.

CAVAN. *Galpão rural*. São Paulo, s.n., 198-, não pág. (Catálogo).

CERVINKA, V. Fuel and energy efficiency. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.15-22.

CIHACEK, L.J. Alfalfa nutrient needs and fertilization. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1,

1994, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1994. p.93-7.

CLEMENTS, D.R., WEISE, S.F., BROWN, R., STONEHOUSE, D.P., HUME, D.J., SWANTON, C.J. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.52, n.2-3, p.119-28, 1995.

CLEVELAND, C.J. The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910-1990. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.55, n.2, p.111-21, 1995.

COMERÓN, E.A. La suplementación a pasto: su eficiencia biológica y económica en los sistemas de producción de leche (con especial referencia a pasturas de alfalfa). In: SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL, 1, 1999, Goiânia. *Anais...* Juiz de Fora: Embrapa - Gado de Leite, Goiânia: Serrana Nutrição Animal/CNPq, 1999. p.119-136.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFMSG. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação*. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras/Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 1989. 176p.

COMITRE, V. *Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto - SP*. Campinas. 1993. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Agrícola/Planejamento Agropecuário) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

COMITRE, V. A questão energética e o padrão tecnológico da agricultura brasileira. *Inf. Econ.*, v.25, n.12, p.29-35, 1995.

CORTEZ, L.A.B. Geração e uso de energia no meio rural. In: CORTEZ, L.A., MAGALHÃES, P.S.G. (Coords.) *Introdução à engenharia agrícola*. Campinas: Ed. UNICAMP, 1992. p.165-76.

CÓSER, A.C., MARTINS, C.E., TORRES, R.A., COSTA, J.L. Utilização de forragens e pastagens. In: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (Org.) *Trabalhador na bovinocultura de leite: manual técnico*. Belo Horizonte: SENAR-AR/MG / EMBRAPA, 1997. p.101-28.

COSTA, J.L., CARVALHO, L.A. A tecnologia da fenação. *Leite B*, v.10, n.114, p.362-8, 1996.

COSTA, J.L., RESENDE, H. *Produção de feno de gramíneas*. Folha Solta 35 – EMBRAPA GADO DE LEITE. Juiz de Fora, 1999. (Coleção Pasta do Produtor de Leite – “Orientações Técnicas para o Produtor de Leite”).

- COSTANTINI, E.O.C. Bilancio energetico e bilancio economico delle colture nella pianura padana. *Genio Rurale*, v.45, p.11-17, 1982.
- COSTANZA, R. Embodied energy and economic valuation. *Science (Washington)*, v.210, p.1219-24, 1980.
- CRUZ FILHO, A.B., CÓSER, A.C., MARTINS, C.E., RESENDE, H., OLIVEIRA, J.S., TORRES, R.A. Produção de forragens e pastagens. In: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (Org.) *Trabalhador na bovinocultura de leite: manual técnico*. Belo Horizonte: SENAR-AR/MG / EMBRAPA, 1997. p.13-66.
- DELEAGE, J.P., JULIEN, J.M., SAUGET-NAUDIN, N., SOUCHON, C. Eco-energetics analysis of an agricultural system: the French case in 1970. *Agro-ecosystems*, v.5, p.345-65, 1979.
- DOERING III, O.C., CONSIDINE, T.J., HARLING, C.E. *Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis*. Indiana, West Lafayette: Purdue University, 1977. (Agr. Exp. Sta. NSF/RA – 770128). 4p.
- DOERING III, O.C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.), *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.9-14.

DOVRING, F. Energy use in Unites States agriculture: a critique of recent research. *Energy Agric.*, v.4, p.79-86, 1985.

EMATER. *O feno na alimentação do gado* – Projeto Difusão de Tecnologia. s.n.t. (Folder).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento semidetalhado de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, Coronel Pacheco, MG.* Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1980. 252p. (EMBRAPA Solos. Boletim Técnico, 76).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite. *Sistema intensivo de produção de leite.* Coronel Pacheco, 1992. (Folder).

EVANGELISTA, A.R., ROCHA, G.P. *Produção e utilização do feno.* Lavras: Coordenadoria de Extensão, 1995. 18p. (Circular Técnica, 35).

EVANGELISTA, A.R., LIMA, J.A. *Silagens: do cultivo ao silo.* Lavras: Editora da Universidade Federal de Lavras, 2000. 196p.

FERNANDES, M.P., SOUZA, A.M.T. Balanço energético – o consumo de energia na construção civil. *Rev. Bras. Tecnol.*, v.13, n.3, p.22-36, 1982.

- FERNANDEZ, D., GOMEZ, L., PARETAS, J.J. Fertilización nitrogenada em bermuda cruzada n.1 (*Cynodon dactylon*) sobre suelo pardo tropical. *Ciênc. Téc. Agric., Pastos Forrajes*, v.6, n.1, p.45-52, 1983.
- FERRARI JÚNIOR, E., RODRIGUES, L.R. de A., REIS, R.A., COAN, O., SCHAMMASS, E.A. Avaliação do capim “coast-cross” para produção de feno em diferentes idades e níveis de adubação de reposição. *Bol. Ind. Anim.*, v.5, n.2, p.137-45, 1993.
- FERREIRA, W.A., ULBANERE, R.C. Análise do balanço econômico para a produção de milho no estado de São Paulo. *Energ. Agric. (Botucatu)*, v.4, n.2, p.8-18,1989.
- FLUCK, R.C. To evaluate labor energy in food production. *Agric. Eng.*, v.57, n.1, p.31-2, 1976.
- FLUCK, R.C. Energy productivity: a measure of energy utilization in agricultural systems. *Agric. Syst.*, v.4, n.1, p.29-37, 1979.
- FLUCK, R.C. Net energy sequestered in agricultural labor. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.24, n.6, p.1449-55, 1981.
- FRAGATA, A. *Análise eco-energética e técnico-econômica de um ecossistema agrícola no noroeste*. Lisboa: Departamento de Estudos de Economia e Sociologia Agrárias, 1982. 35p. (Caderno, 6).

- GIAMPIETRO, M, G., PIMENTEL, D. Assessment of the energetics of human labour. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.32, n.3-4, p.257-72, 1990.
- GIAMPIETRO, M, CERRETELLI, G., PIMENTEL, D. Energy analysis of agricultural ecosystem management: human return and sustainability. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.38, n.3, p.219-44, 1992.
- GOLDEMBERG, J. Balanço energético. In: *Energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. p.117-24.
- GONÇALVES, A. *Alvenaria e pavimentação: do alicerce ao telhado*. 3.ed. Porto Alegre: Sagra, 1982. 100p.
- GÓMEZ, J.C.A. *Revolução forrageira*. Guaíba: Ed. Agropecuária, 1998. 96p.
- GOMIDE, J.A. Características de planta forrageira a ser fenada. *Inf. Agropecu.*, v.6, n.64, p.6-8, 1980.
- GUERRERO, J.S.J. Dimensão teórica da energia, economia e sociedade: integração no desenvolvimento da humanidade. *Rev. Econ. Rur.*, v.25, n.3, p.293-301, 1987.
- HADDAD, C.M., CASTRO, F.G.F. Produção de feno com forrageiras *Cynodon*. *Balde Branco*, v.36, n.426, p.36-41, 2000.

- HALL, C.W. Energy sources and conversions relating to food. In: PIMENTEL, D., HALL, C.W. (Eds.) *Food and energy resources*. London: Academic Press, 1984. p.25-42.
- HARDOIM, P.C. Instalações para bovinos de leite. In: TEIXEIRA, V.H., FERREIRA, L. (Eds.) *ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS*, 3, 1998, Poços de Caldas. *Trabalhos apresentados...* Lavras: Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.149-208.
- HEAD, H.H. Manejo de animais em sistemas de estabulação livre visando maximizar conforto e produção. In: MOURA, J.P., FARIA, V.P., MATTOS, W.R.S. (Eds.) *Conceitos modernos de exploração leiteira*. Piracicaba: FEALQ, 1996. p.41-68.
- HEICHEL, G.H. Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.27-33.
- HEICHEL, G.H., MARTIN, N.P. Energy inputs and outputs for crop systems – field crops: alfalfa. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.155-161.
- HELENE, M.E.M., GRAÇA, G.M., GOLDEMBERG, J. Etanol de madeira – balanço energético. *Ciênc. Cult. (São Paulo)*, v.33, n.9, p.1183-91, 1981.

- HERMETO BUENO, C.F. *Construções rurais: tabela para composição de custos*. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1977. 83p.
- HERRERA, R.S. La calidad de los pastos. In: *Los pastos en Cuba*. La Habana: Instituto de Ciência Animal, 1983. tomo 2, p.59-115.
- HIJANO, E.H. Metodología de evaluación de cultivares de alfalfa en la república Argentina. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1, 1994, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1994. p.23-8.
- HLODVERSSON, R., KASPERSSON, A. Nutrient losses during deterioration of hay in relation to changes in biochemical composition and microbial growth. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.15, n.2, p.149-65, 1986.
- HONDA, C.S., HONDA, A.M. *Cultura da alfafa*. Cambará: Iara Artes Gráficas, 1990. 245p.
- HOVELAND, C.S. Energy inputs for beef cattle production on pasture. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.419-24.
- HUNT, D. *Maquinaria agrícola: rendimento económico, custos, operaciones, potencia y selección de equipo*. 7.ed. México: Limusa, 1986. 451p.

JARDIM, W.R. *Alimentos e alimentação do gado bovino*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 338p.

JUNQUEIRA, A.A.B., CRISCUOLO, P.D., PINO, F.A. O uso da energia na agricultura paulista. *Agric. São Paulo*, v.29, tomos I e II, p.55-100, 1982.

KHALILIAN, A., GARNER, T.H., MUSEN, H.L. Energy for conservation tillage in Coastal Plain soils. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.31, n.5, p.1333-7, 1988.

KROM, V., PACCOLA, A.A. Aspectos energéticos das mudanças do setor agrícola de quatro microrregiões do estado de São Paulo. *Energ. Agric. (Botucatu)*, v.10, n.3, p.24-31, 1995.

LACA-BUENDIA, J.P., SILVEIRA FILHO, A., VICTÓRIA FILHO, R., MASCARENHAS, M.H.T., SILVA, J.B., GAZZIERO, D.L.P., SOUZA, I.F., PEREIRA, R.C., SILVA, J.F., FERREIRA, L.R., COELHO, J.P. Herbicidas recomendados para as principais culturas do Estado de Minas Gerais. *Inf. Agropecu. (Controle de Plantas Daninhas I)*, v.11, n.127, p.32-65, 1985.

MACEDÔNIO, A.C., PICCHIONI, S.A. *Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária*, v.1. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. 95p.

MAIKHURI, R.K., RAMAKRISHNAN, P.S. Ecological analysis of a cluster of villages emphasising land use of different tribes in Meghalaya in north-east India. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.31, p.17-37, 1990.

MALAVOLTA, E. Uso eficiente de adubos e corretivos. In: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA NA AGRICULTURA, TECNOLOGIAS POUPADORAS DE INSUMOS, INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS E PRODUÇÃO DE ALIMENTOS, 1, Jaboticabal, 1984. *Anais...* Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agronômicas e Veterinária/Universidade Estadual Paulista, 1984. p.243-68.

MARASCHIN, G.E. Manejo de “coast-cross” – 1 sob pastejo. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.94-107.

MARTINS, P.C. O pró-leite em Juiz de Fora: um caso de sucesso em gestão de propriedades agrícolas. In: SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL, 1, 1999, Goiânia. *Anais...* Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, Goiânia: Serrana Nutrição Animal/CNPq, 1999. p.188-99.

MATOS, L.L. Produção de leite a pasto. In: SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL, 1, 1999, Goiânia. *Anais...* Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, Goiânia: Serrana Nutrição Animal/CNPq, 1999. p.61-74.

MATOS, L.L., DAYRELL, M.S., CAMPOS, O.F., LIZIEIRE, R.S. Alimentação. In: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (Org.) *Trabalhador na bovinocultura de leite: manual técnico*. Belo Horizonte: SENAR-AR/MG / EMBRAPA, 1997. p.129-64.

MATUO, T. Técnicas de aplicação de defensivos. In: SIMPÓSIO SOBRE ENERGIA NA AGRICULTURA, TECNOLOGIAS POUPADORAS DE INSUMOS, INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS E PRODUÇÃO DE ALIMENTOS, 1, Jaboticabal, 1984. *Anais...* Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrônomicas e Veterinária/Universidade Estadual de São Paulo, 1984. p.113-30.

MELLO, R. *Análise energética de agroecossistemas: o caso de Santa Catarina*. Florianópolis, 1986. 139p. Tese (Mestrado em Engenharia/Engenharia de Produção) Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas - Universidade Federal de Santa Catarina.

MESQUITA, C.M., ROESSING, A.C., GAZZIERO, D.L.P. Consumo de energia e avaliação técnica-econômica de sistemas de produção de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, 1981, Brasília. *Anais...* Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja/EMBRAPA, 1982. v.1, p.525-38.

MESQUITA, C.M., ROESSING, A.C., GAZZIERO, D.L.P. Consumo de energia em sistemas de produção de soja e trigo. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. CENTRO

- NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. *Resultados de pesquisa de soja*. Londrina, 1983. p.104-11.
- MICKENHAGEN, R. Produção de feno ao nível do produtor. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.69-75.
- MISLEVY, P., PATE, F.M. Establishment, management, and utilization of *cynodon* grasses in Florida. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.128-38.
- MONTEIRO, F.A. Cynodon: exigências minerais e adubação. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.23-44.
- MORRISON, F.B. *Alimentos e alimentação dos animais*. 2.ed. Tradução por João Soares Veiga. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1966. 892p. Tradução de: Feeds and Feeding, Abridged.
- MYRRHA, M.A.L. *Guia de construções rurais à base de cimento: 1 – benfeitorias de uso geral*. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 199-. 114p.

NOVAES, L.P. Confinamento de bovinos leiteiros. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. *Bovinocultura leiteira: fundamentos da exploração racional*. Piracicaba: FEALQ, 1986. p.155-218.

ODUM, E.P. Fluxo de energia e metabolismo da natureza. In: _____. *Ecologia*. Tradução por Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. p.63-82. Tradução de Ecology.

OLIVEIRA, A. Energia e sociedade. *Ciênc. Hoje*, v.5. n.29, p.30-8, 1987.

OLTENACU, P.A., ALLEN, M.S. Resource-cultural energy requirements of the dairy production system. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.363-78.

PAIM, N.R. Utilização e melhoramento da alfafa. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) NOS TRÓPICOS, 1, 1994, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1994. p.141-7.

PATIL, R.T., SOKHANSANJ, S., ARINZE, E.A.; SCHOENAU, G.J. Methods of expediting drying rates of chopped alfalfa. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.36, n.6, p.1799-803, 1993.

- PANESAR, B.S., FLUCK, R.C. Energy productivity of a production system: analysis and measurement. *Agric. Syst.*, v.43, n.4, p.415-37, 1993.
- PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. *Agric. Eng. Res.*, v.52, n.2, p.111-9, 1992.
- PEREIRA FILHO, O.P. *Implicações ecológicas da utilização de energia em agroecossistemas*. Santa Maria, 1991. 132p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Curso de Pós-graduação em Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria.
- PEREIRA, J.R. Plantas invasoras de pastagens. In: CURSO DE PECUÁRIA LEITEIRA, 1990. Coronel Pacheco: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1990. 31p. (EMBRAPA-CNPGL. Documentos, 44).
- 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. *Agric. Environ.*, v.3, p.15-20, 1976.
- PIANCA, J.B. *Manual do construtor: materiais de construção e técnica construtiva*. Porto Alegre: Globo, 1968. v.2, 450p.

PIMENTEL, D., HURD, L.E.L., BELLOTTI, A.C., FORSTER, M.J., OKA, I.N., SHOLES, O.D., WHITMAN, R.J. Food production and the energy crises. *Science (Washington)*, v.182, p.443-9, 1973.

PIMENTEL, D. Energy inputs for the production formulation, packaging, and transport of various pesticides. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.45-8.

PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475p.

PIMENTEL, D., BERARDI, G., FAST, S. Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.9, n.4, p.359-72, 1983.

PIMENTEL, D., HURD, L.E.L., BELLOTTI, A.C., FOSTER, M.J., OKA, I.N., SHOLES, O.D., WHITMAN, R.J. *Produção de alimentos e crise energética*. Tradução por Tânia Maria Correa Bianchini e revisão por Osvaldo Carlos Rockenbach e Paulo Sérgio Tagliari. Florianópolis: EMPASC, 1982. 24p. Tradução de: Food production and the energy crisis.

PIMENTEL, D. Energy flow in the food system. In: PIMENTEL, D., HALL, C.W. (Eds.) *Food and energy resources*. London: Academic Press, 1984. p.1-24.

PRICE, D. Energy and human evolution. *Popul. Environ.*, v.16, n.4, p.301-19, 1995.

PRODUÇÃO de feno de alfafa garante renda o ano todo. *Dirigente Rur.*, v.26, n.9, p.10-4, 1987.

PUPO, N.I.H. *Pastagens e forrageiras: pragas, doenças, plantas invasoras e tóxicas, controles*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1977. 311p.

QUESADA, G.M., BEBER, J.A.C., SOUZA, S.P. Balanços energéticos: uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. *Ciênc. Cult.*, (São Paulo), v.39, n.1, p.20-8, 1987.

REIS, R.A. Processamento e conservação de fenos. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.57-68.

RESENDE, H., ALVIM, M.J. Estabelecimento e manejo sob corte do capim "coast-cross". In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.3-8.

RESENDE, J.C., COMASTRI FILHO, J.A. Produção de alfafa: estimativa e análise do custos de produção. In: CARVALHO, L.A., VILELA, D. *Cultura da alfafa: estabelecimento,*

fenação, custo de produção e construção de um secador estático. Coronel Pacheco: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1994. p.21-33.

RIVALDO, O.F. Energia na agricultura. In: LEVON, Y. (Org.) *Pesquisa agropecuária, questionamentos, consolidação e perspectivas*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. p.267-8.

ROBERTSON, L.S., MOKMA, D.L. Crop residue and tillage considerations in energy conservation. *Extention Bulletin - Energy Facts*. Lansing-MI, MSU, 1978. Energy fact sheet nº 6. 6p.

SAMPAIO, A.O., OLIVEIRA, J.S., COSTA, J.L., RESENDE, H. Conservação de forrageiras e pastagens. In: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (Org.) *Trabalhador na bovinocultura de leite: manual técnico*. Belo Horizonte: SENAR-AR/MG / EMBRAPA, 1997. p.67-100.

SANTOS, H.P., REIS, E.M. Rotação de culturas em Guarapuava XVII – eficiência energética dos sistemas de rotação de culturas para cevada, em plantio direto. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.29, n.7, p.1075-81, 1994.

SANTOS, H.P., REIS, E.M. Rotação de culturas em Guarapuava, PR. Brasil XVI – eficiência energética dos sistemas de rotação de culturas com trigo, em plantio direto. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.30, n.2, p.215-22, 1995.

- SANTOS, H.P., FANCELLI, A.L., REIS, E.M. Balanço energético de sistemas de rotação de culturas para trigo, em plantio direto. *Pesqui Agropec. Bras.*, v.29, n.7, p.1067-73, 1994.
- SANTOS, H.P., IGNACZAK, J.C., LHAMBY, J.C.B., BAIER, A.C. Conversão e balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticales, sob plantio direto. *Ciênc. Rur.*, v.30, n.1, p.43-8, 2000.
- SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.51, n.3, p.301-10, 1994.
- SCHWARTZ, P. What happened to the energy crisis? The dilemma of an energy decision maker in a dynamic world. *Ann. Rev. Energy*, v.12, p.397-414, 1987.
- SEIXAS, J., MARCHETTI, D. *Produção e consumo de energia na agricultura*. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-EMBRAPA, 1982. 15p. (Documentos, 3).
- SERRA, G., 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.S., GOMES, R.A.R., HARA, T., CARVALHO PINTO, F. de A. Estudo de uma fornalha para secagem de grãos com aquecimento direto. *Eng. Agric. Ser. Armazenamento*. v.1, n.2, p.1-15, 1991.

SILVA, J.G., GRAZIANO, J.R. A crise de energia: repensar também a pesquisa agrônômica. *Ciênc. Cult. (São Paulo)*, v.29, n.10, p.1110-6, 1977.

SMITH, J.A., FORNSTON, K.J. Energy requirements of selected dryland wheat cropping systems. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.23, n.4, p.822-5, 1980.

SIQUEIRA, R., GAMERO, C.A., BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. *Eng. Agrí.*, v.19, n.1, p.80-9, 1999.

SOKHANSANJ, S., RAGHAVAN, G.S.V. Drying of grains and forages: a brief review of recent advances. *Drying Technol.*, v.14, n.6, p.1369-80, 1996.

TEDESCO, L.A. Feno: fatores que garantem a sua melhor qualidade. *Balde Branco*, v.32, n.391, p.32-38, 1997.

TERHUNE, E. C. Energy used in United States for agricultural liming materials. In: PIMENTEL, D. (Ed.) *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.25-6.

TONUS, M. Alfafa – o bom cultivo viabiliza seu uso em qualquer região. *Balde Branco*, v.35, n.416, p.28-33, 1999.

TCPO 8. *Tabelas de composições de preços para orçamentos*. 8.ed. São Paulo: Pini, 1986. 848p.

TSATSARELIS, C.A. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece.

Agric., Ecosyst. Environ., v.43, n.2, p.109-18, 1993.

UHLIN, H-E. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of

Swedish agriculture. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.73, n.1, p.63-81, 1999.

ULBANERE, R.C. *Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perda*

de grãos de milho no Estado de São Paulo. Botucatu, 1988. 127p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

ULBANERE, R.C., FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para a produção de

milho no estado de São Paulo. *Energ. Agric., (Botucatu)*, v.4, n.1, p.35-42, 1989.

ULBANERE, R.C., FERREIRA, W.A. Equivalência energética e econômica na produção de

milho no Estado de São Paulo. *Energ. Agric., (Botucatu)*, v.6, n.1, p.15-23, 1991.

ULBANERE, R.C., FERREIRA, W.A. Custo social, energético e econômico relativo às

perdas de grãos de milho no estado de São Paulo. *Energ. Agric., (Botucatu)*, v.5, n.3, p.18-35, 1990.

VICTORIA FILHO, R. Uso adequado dos herbicidas. *Inf. Agropecu.*, v.11, n.127, p.8-10,

1985.

VIDAL, J.W.B. Civilização dos trópicos – uma resposta à barbárie. *Ver. Humanidade*, v.5, n.16, p.6-12, 1988.

VILELA, D. *Plantio e pastejo rotativo de “coast-cross” para produção de leite*. Folha Solta 25 – EMBRAPA GADO DE LEITE. Juiz de Fora, 1999. (Coleção Pasta do Produtor de Leite – “Orientações Técnicas para o Produtor de Leite”).

VILELA, D. Intensificação da produção de leite: 2. Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, 1998. 28p. (Documentos, 69).

VILELA, D., ALVIM, M.J. Produção de leite em pastagem de *Cynodon dactylon* (L.) Pers., cv. “coast-cross”. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON, 1, 1996, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite-EMBRAPA, 1996. p.77-91.

WAGSTAFF, H. Husbandry methods and farm systems in industrialized countries which use lower levels of external inputs: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.19, n.1, p.1-27, 1987.

ZUCCHETTO, J., JANSSON, A-M. Total energy analysis of Gotland’s agriculture: a northern temperature zone case study. *Agro-ecosystems*, v.5, p.329-44, 1979.

APÊNDICE 1

Quadro 1.1. Entradas (“inputs”) de energia e retorno por hectare para vários sistemas de produção animal nos Estados Unidos (Pimentel, 1984)

	Sistema de Produção Animal								
	Fran- gos	Ovos	Suínos	Ove- lhas	Gado	Gado de corte	Gado (Sistema extensivo)	Gado de corte (Sistema extensivo)	Psicultu- ra
Rendimento do Produto Animal (kg)	2.000	910	490	7	3.270	60	3.260	54	2.783
Rendimento em Proteína (kg)	186	104	35	0,2	114	6	114	5	384
Proteína (10 ³ kcal)	744	416	140	0,8	457	24	457	20	1536
Entrada de Energia Fóssil para Produção (10 ⁶ kcal)	7,3	7,4	6,0	0,07	5,4	0,6	3,3	0,5	52,5
kcal de Entrada de Energia Fóssil/kcal de Saída de Proteína	9,8	17,8	42,9	87,5	11,8	25,0	7,2	25,0	34,2
Entradas de Trabalho (h)	7	19	11	0,2	51	2	50	2	22

Quadro 1.2. Análise de solo para o CNPGL/EMBRAPA (Carvalho & Vilela, 1994)

Amostra	pH em água	N	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S	T	V
			ppm				Meq.100 cm ⁻³				%
A – 20*	4,8	13	16	0,2	2,5	1,0	4,3	0,5	3,7	8,0	46
A – 40	5,1	11	48	0,1	2,7	1,1	3,8	0,5	3,9	7,7	51
B – 20	4,6	23	116	0,3	3,5	1,5	7,2	1,0	5,3	12,5	42
B – 40	4,9	20	90	0,2	3,1	1,6	5,8	0,7	4,9	10,7	46

* Profundidade de amostragem.

Quadro 1.3. Contabilização energética para produção, processamento e distribuição de sementes de alfafa (Heichel, 1980)

Item	Quantidade.ha ⁻¹	kcal.ha ⁻¹
“Input”		
Trabalho	15,8 h	
Maquinário*	1.700 kg	33.073
Combustível Líquido	68 l	776.150
Eletricidade	-	-
Nitrogênio	-	-
Fósforo (P ₂ O ₅)	128 kg	140.800
Potássio (K ₂ O)	-	-
Calcário	-	-

Continua...

...Continuação – Quadro 1.3.

Sementes	13,5 kg	837.000
Água Irrigada **	0,30 m	15.685.490
Inseticidas	5,4 kg	472.260
Herbicidas	21,9 kg	171.660
Desfoliante	1121 + 3,4 kg	1.614.000
Transporte à Fazenda	1978 kg	508.346
Transporte ao Processador	16 km	3.330
Limpeza da Semente	200 kWh	572.600
Embalagem	-	17.981.600
Transporte à Revenda	2.400 km	461.650
Total de “Input” de Energia		39.257.959
“Output”		
Rendimento de Matéria Seca	900 kg	
Rendimento em Proteína	não aplicável	
Relação “Input” de Energia / “Output” em semente		43.620 kcal.kg ⁻¹

* Excluindo sistemas de irrigação e máquinas de processamento e beneficiamento;

** Energia para bombear água.

Quadro 1.4. Resultados de análise química do feno de “coast-cross”, em doze amostragens realizadas em dias de fenação

Amostragem	Matéria Seca (%)	Proteína Bruta (%)	Fibra em Detergente Neutro (%)	Fibra em Detergente Ácido (%)
01	88,68	17,12	65,52	31,10
02	73,81	11,80	70,61	-
03	87,62	15,53	-	-
04	88,65	15,01	-	-
05	87,47	11,97	71,70	-
06	77,10	15,26	65,76	-
07	82,70	15,60	52,06	36,52
08	82,40	14,89	71,08	35,75
09	91,41	10,79	74,36	-
10	87,14	10,03	75,79	39,96
11	87,56	17,85	66,71	-
12	88,52	11,29	72,92	-

Fonte: Laboratório da EMBRAPA/CNPGL, Estação Experimental de Coronel Pacheco.

APÊNDICE 2

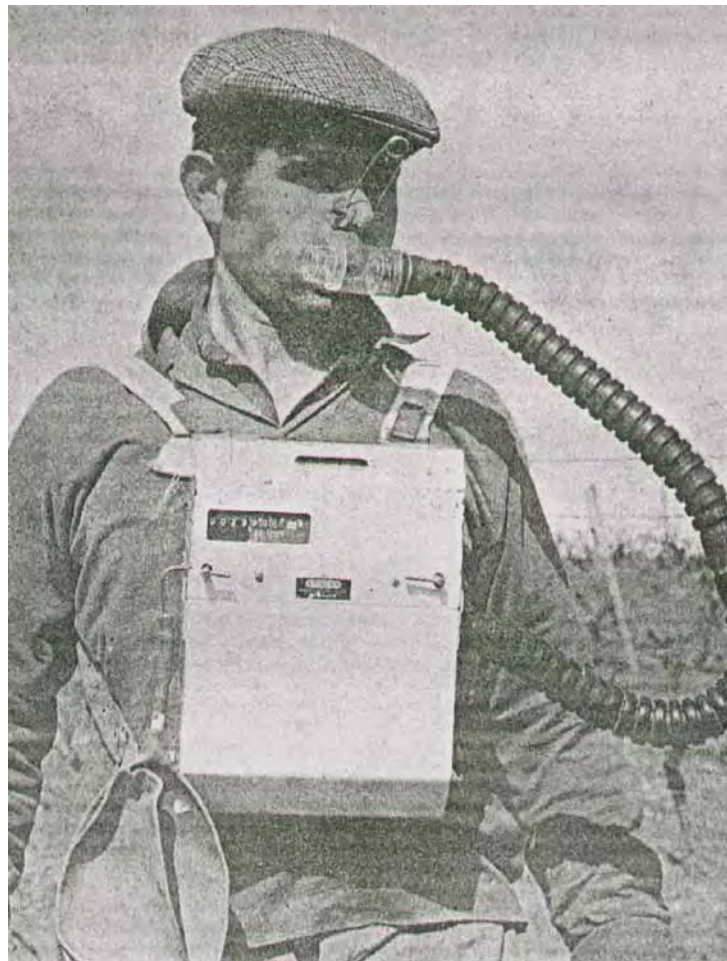


Figura 2.1. Respirômetro Max Planck.
Fonte: Carvalho et al. (1974).

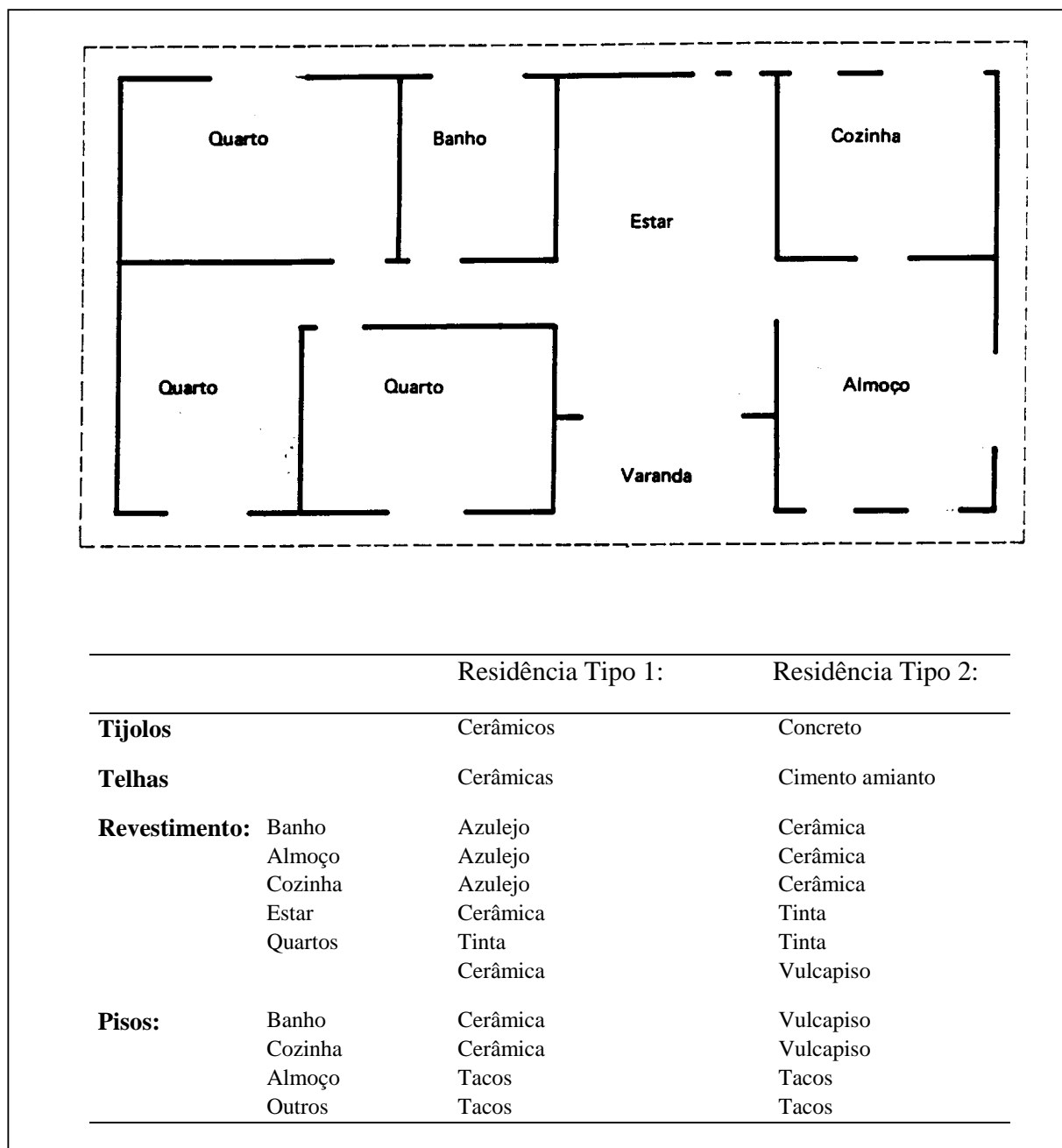


Figura 2.2. Lay-out da residência analisada pelo CETEC, destacando o material utilizado na “residência tipo 1” e na “residência tipo 2” (Fernandes & Souza, 1982).