

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MARCELO FERREIRA ORTEGA

**BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE FENO DA
FORRAGEIRA “MASSAI” NO CERRADO PARA ALIMENTAÇÃO
DE EQUÍDEOS**

BRASÍLIA

2015

MARCELO FERREIRA ORTEGA

**BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE FENO DA
FORRAGEIRA “MASSAI” PARA CRIAÇÃO DE EQUÍDEOS**

Trabalho de Conclusão em forma de dissertação para a obtenção do diploma de mestre no curso de Ciências Mecânicas da Universidade de Brasília (UNB).

Orientador: Prof.^o Dr. Mário Benjamim Baptista Siqueira.

BRASÍLIA

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

FOR77b FERREIRA ORTEGA, MARCELO
BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE FENO DA
FORRAGEIRA "MASSAI" NO CERRADO PARA ALIMENTAÇÃO DE
EQUÍDEOS / MARCELO FERREIRA ORTEGA; orientador Mário
Benjamim Baptista de Siqueira. -- Brasília, 2015.
72 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências
Mecânicas) -- Universidade de Brasília, 2015.

1. Balanço energético. 2. Eficiência energética.
3. Produção de feno no cerrado. 4. Forrageira
"massai". 5. Panicum maximum. I. Benjamim Baptista
de Siqueira, Mário, orient. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARCELO FERREIRA ORTEGA

BALANÇO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE FENO DA FORRAGEIRA
“MASSAI” NO CERRADO PARA ALIMENTAÇÃO DE EQUÍDEOS

Trabalho de conclusão para obtenção de diploma de mestrado no curso de Ciências Mecânicas da Universidade de Brasília (UNB), apresentado em 26 de fevereiro de 2016 e aprovado com nota _____

BANCA EXAMINADORA

1. Prof. Dr. Mário Benjamim Baptista de Siqueira (Orientador)
2. Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira Pires
3. Prof. Dr. Cleiton Mateus de Sousa

Dedico este trabalho aos
criadores e adestradores de
cavalos. Uma paixão que já nasce
com a pessoa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor e Orientador Mário pela paciência e compreensão pelos fatos ocorridos.

Ao Sr. Ricardo (Ricardinho), proprietário do Rancho Rick, onde teve toda paciência, presteza e abertura nas informações necessárias para esse trabalho.

A minha esposa Paula Renata que incentivou sempre nas horas de cansaço.

E a Deus por ter sempre me guiado nas idas e vindas na estrada a caminho de Brasília durante o período deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de determinar um balanço energético relativo à produção de feno utilizando a metodologia de levantamento e caracterização do consumo de energia em todas as etapas relacionadas desde a implantação, processos de fenação e o armazenamento da forrageira.

O trabalho foi realizado utilizando a produção de *Panicum maximum* cv. Massai, conhecido como capim “massai” da propriedade Rancho Rick localizado na zona rural da cidade de Carmo do Rio Verde – GO que trabalha com criação de cavalos.

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados dados informados pelo proprietário em uma média de três anos de produção em uma área de 24 hectares. Foi considerado o consumo de diversos insumos envolvidos no processo produtivo, assim como o emprego de máquinas e implementos, área de armazenamento e mão de obra humana.

Utilizamos coeficientes energéticos para todos os itens relacionados de diversos estudos anteriores realizados por diversos autores de diferentes épocas. Como já esperado, a energia direta – 87,29% - obteve maior relevância em relação a energia indireta – 12,71%. O principal consumidor de energia foi a energia empregada nos componentes da adubação, seguido pelo uso dos combustíveis.

Obtivemos uma eficiência energética de 21,22 que é considerada alta em relação a outros balanços pesquisados na literatura como o caso da alfafa e do capim “cost-cross” com coeficientes 3,16 3 4,28 respectivamente segundo Campos (2001). Fatores como modelo de armazenamento, proximidade da área plantada com as instalações, uso de maquinário novo, principalmente do trator que consome todo o combustível do processo, contribuíram para que essa eficiência chegasse a um valor muito positivo, demonstrando que essa produção de feno de capim “massai” do Rancho Rick é sustentável e eficiente na conversão de energia de acordo com a metodologia utilizada.

Palavras chave: Panicum maximim cv Massai, balanço energético, fenação, eficiência energética.

ABSTRACT

The objective of this study was to perform an energy balance on the hay production using the survey methodology and characterization of energy consumption in all of the steps from the deployment, haymaking process and forage storage.

The study was conducted using the production of *Panicum maximum* cv. Massai, known as grass "Masai" Rick Ranch property located in the countryside of the city of Carmo do Rio Verde - GO that works with horse breeding .

To develop this study, we used data reported by the owner in an average of three years of production in an area of 24 hectares. It was considered the use of various inputs involved in the production process as well as the use of machinery and implements, storage area and human labor.

We use energy coefficients for all items related to several earlier studies by several authors from different eras. As expected, the direct energy - 87,29% - got most relevant in relation to indirect energy - 12.71% . The main consumer of energy was used to power the components of the fertilizer, followed by the use of fuels.

We achieved an efficiency of 21.22 which is considered high relative to other statements found in the literature as the case of alfalfa and grass "cost-cross" with coefficients 3.16 3 4.28 respectively according to Campos (2001). Factors such as storage model, proximity of the area planted to the facilities, use of new machinery, mainly tractor that consumes all the fuel in the process, contributed to this efficiency came at a very good value, demonstrating that this grass hay production "Masai" Rancho Rick is sustainable and efficient in energy conversion in accordance with the methodology used.

Keywords: *Panicum maximim* cv Massai, energy balance, haymaking, efficiency energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A esquerda, armazenamento de feno solto. A direita, fenos em fardos armazenado em galpão.....	18
Figura 2 - Áreas aptas para a produção de biomassa no Brasil.....	21
Figura 3 - Agropecuária: consumo final energético, por fonte (milhões de tep).....	22
Figura 4 - Delimitação do sistema em estudo dentro do Racho Rick.....	35
Figura 5: Capim Panicum maximum BRA-7102 cv Massai.....	36
Figura 6. a) Ancinho Hybob Nogueira; b) Enfardadeira AP41 Nogueira	57
Figura 7: “Barracão do Curral”. Armazenamento de feno.....	60
Figura 8: “PaioI”. Armazenamento de feno.....	60
Figura 9: Armazenamento de feno envolvido em lona.....	61
Figura 10: 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 “massai”, no Rancho Rick.....	71
Figura 11: Participação dos diferentes insumos e mão-de-obra no consumo de energia para a implantação da cultura do capim “massai” no Rancho Rick.....	73
Figura 12: Participação percentual das etapas de corte e fenação na forrageira de capim “massai” no Rancho Rick.....	75
Figura 13: Participação percentual das máquinas, equipamentos e estrutura na composição da energia indireta na forrageira de capim “massai”.....	77
Figura 14: Síntese dos “inputs” na participação do consumo de energia de todo o processo de produção do feno.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo energético dos componentes utilizados na adubação para plantio	62
Tabela 2: Consumo energético para instalações de armazenamento do feno.....	68
Tabela 3: Peso, vida útil e demanda específica de energia estimados para as máquinas e implementos utilizados na cultura do “massai”	69
Tabela 4: Consumos de energia, em kJ, na forma de combustível e lubrificante para máquinas agrícolas, nas operações de preparo e correção de acidez do solo para a implantação da forrageira do capim “massai” no Rancho Rick	70
Tabela 5: Consumos de energia, em kJ, na forma de combustível e lubrificante para máquinas agrícolas, nas operações envolvidas no plantio e adubação da cultura do “massai” no Rancho Rick.....	71
Tabela 6: Consumos de energia, em kJ, na forma de combustível e lubrificante para máquinas agrícolas, na operação de aplicação de herbicida da cultura do “massai” no Rancho Rick.....	72
Tabela 7: Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, na implantação do capim “massai”.....	72
Tabela 8: Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas tratorizadas, na manutenção anual da cultura do capim “massai”.....	74
Tabela 9: Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, para a manutenção anual da cultura do capim “massai”.....	74
Tabela 10: Dispêndios de energia relativos ao consumo por hectare e total de dois cortes anuais da cultura do capim “massai”.....	75
Tabela 11: Energia dispendida para trabalho de um homem no trator e dois homens para armazenamento gastos por hectare por ano.....	76
Tabela 12: Composição da energia indireta aplicada em equipamentos e estruturas.	76
Tabela 13: Balanço energético consolidado para a produção de feno a partir da forrageira de capim “massai”.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al - Alumínio

Ca - Cálcio

CTC - capacidade de troca de cátions

Cu - Cobre

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

Fe - Ferro

GER - Gasto Energético no Repouso

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFIAS - International Federation of Institutes for Advanced Study Energia Embutida –EE

IRD - Institut de Recherche pour le Développement (Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento)

K - Potássio

Mg - Magnésio

Mn - Manganês

Mo – Molibdênio

N - Nitrogênio

NDT - Nutrientes digestíveis totais

P – fósforo

P₂O₅ – Pentóxido de fósforo

PNE - Plano nacional energético

PIB - Produto Interno Bruto

RTE - Requisitos Totais de Energia

S - enxofre

Zn - Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
1.1 PRODUÇÃO COM EFICIÊNCIA.....	15
1.2 FENAÇÃO.....	16
1.3 BALANÇO ENERGÉTICO.....	18
1.3.1 Energia.....	18
1.3.2 Definição de energia embutida.....	19
1.3.3 Consumo de energia no setor agropecuário.....	19
1.3.4 Entradas de energia em um balanço energético.....	22
1.3.5 Energia consumida pelo trabalho humano.....	23
1.3.6 Energia consumida relativa a fertilizantes e agrotóxicos.....	25
1.3.7 Energia empregada em edificações.....	27
1.3.8 Delimitação do sistema.....	28
1.3.9 Conversão energética.....	29
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1 ANÁLISE ENERGÉTICA.....	37
2.2 PRODUÇÃO DO FENO – CAPIM “MASSAI”.....	40
2.2.1 Áreas utilizadas para plantio do capim.....	40
2.2.2 Controle de invasores.....	40
2.2.3 Correção do solo.....	41
2.2.4 Preparo do solo.....	41
2.2.5 Adubação / Semeadura.....	42
2.2.6 Corte e produção e feno.....	43
2.3 CONVERSÃO ENERGÉTICA.....	44
2.3.1 Trabalho humano.....	44
2.3.2 Instalações para armazenamento.....	45
2.3.3 Insumos.....	47
2.3.3.1 Adubação e semeadura.....	47
2.3.3.2 Correção do solo.....	49
2.3.3.3 Defensivos.....	50
2.3.4 Máquinas e implementos.....	50
2.3.5 Combustíveis e lubrificantes.....	51

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
3.1 COMPOSIÇÃO ENERGÉTICA DO ARMAZENAMENTO DO FENO	53
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E DA PRODUTIVIDADE	54
3.3 CONSUMO DE ENERGIA NA IMPLANTAÇÃO DA FORRAGEIRA	54
3.3.1 Máquinas e implementos agrícolas	55
3.3.2 Consumo de energia de combustíveis e lubrificantes	55
3.3.3 Insumos e mão de obra	58
3.3.4 Consumo de energia na manutenção anual	60
3.3.6 Energia indireta	62
3.3.7 Síntese e consolidação do balanço energético	63
4. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS	68

INTRODUÇÃO

Os processos de produtividade agrícola de hoje foram profundamente afetados pelo desenvolvimento tecnológico e científico oriundo da revolução industrial. A produção agrícola aumenta a cada ano consideravelmente, máquinas mais modernas e robustas são desenvolvidas, grades extensões de novas terras são incorporadas a essa nova produção e o consumo de energia não renovável cresce nesta mesma proporção.

No agroecossistema, existe energia entrando em diversas formas. Seja na forma de radiação solar que incide sobre a área cultivada, no trabalho realizado por homens, animais ou máquinas e ainda incorporada aos diferentes insumos e materiais que consomem energia para sua obtenção.

As relações físicas dos processos produtivos não têm a energia como sua principal referência, estando antes fortemente determinadas por fatores econômicos, políticos e sociais. A análise energética deve, então, ser compreendida como procedimento que completa um sistema de avaliação. Deve-se levar em conta, ainda, que existe certa dificuldade na determinação de custos energéticos de alguns insumos, bem como ausência de controle sobre variáveis do tipo precipitação, insolação e clima que podem levar a disparidades entre análises realizadas em diferentes locais, tempo e método de sua aplicação. A análise energética de agroecossistemas capacita, entretanto, não apenas a estimar a energia investida na obtenção de um produto agrícola, mas também a de se compreenderem os fluxos de energia que compõem esse sistema, a se identificarem pontos de desperdícios energéticos e componentes que podem ser substituídos por outros que gerem maior eficácia energética, enfim, interferir no sistema no sentido de aprimorá-lo.

Entre os diversos fatores que concorrem para a modernização da agricultura, a intensificação do uso da energia é identificada como fator determinante. A incorporação de novas terras à produção é viabilizada com a disponibilidade de melhores ferramentas, de máquinas movidas a combustíveis, de meios de transporte mais eficientes e com o controle ambiental feito com uso de produtos químicos. Esses mesmos insumos químicos e máquinas são os

grandes vetores do aumento de produtividade, principalmente através da fertilização do solo, do uso de defensivos agrícolas e do aumento do trabalho realizado. Todos esses fatores implicam no incremento do dispêndio de energia.

Para mensurar essa quantidade de energia despendida nesses processos produtivos, veio o conceito do balanço energético que tem como objetivo principal obter a razão entre a quantidade de energia envolvida em toda a cadeia de produção de um item em questão pelo seu valor energético, a fim de determinar se essa produção se encontra suficientemente sustentável ou não.

OBJETIVO

Objetivo Geral

Determinar do balanço energético relativo a produção deste feno para identificar sua sustentabilidade energética e colaborar no sentido de fornecer dados que caracterizam a utilização de energia na produção da forrageira capim “massai” (*Panicum*) em forma de feno em fardos que é utilizada na alimentação volumosa para os equinos e para comercialização externa nas condições do cerrado brasileiro.

Objetivos específicos

Para atingir o Objetivo Geral descrito acima, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma metodologia de balanço energético aplicável ao estudo;
- Determinar as etapas de produção e seus equivalentes energéticos;
- Realizar o balanço de energia para um ciclo produtivo.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 PRODUÇÃO COM EFICIÊNCIA

Quando se fala em eficiência produtiva, trata-se, na verdade, de como utilizar os recursos disponíveis de forma racional, explorando todos os potenciais existentes. Podemos destacar algumas características principais de produção com eficiência:

- máxima produtividade com custos unitários mínimos;
- aproveitamento do potencial de economia;
- redução de tempos de ciclo;
- consumo de energia;
- material e pessoal empregado;
- tempos de processamento;
- etapas de produção;
- otimização do uso de máquinas e implementos;
- e rejeitos.

Em se tratando de forragens, 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.

1.2 FENAÇÃO

O propósito da fenação é obter uma forragem desidratada de alta qualidade. Qualidade é a combinação das propriedades química, física e biológica que afetam o consumo, digestão e utilização da forragem.

Para produzir um feno de alta qualidade pelo menos duas condições são necessárias: a forragem a ser cortada deve ser de boa qualidade e a secagem deve ser feita com um mínimo de perda de nutrientes, que se consegue com uma secagem rápida que leva a planta à sua inatividade.

O princípio básico da fenação resume-se na conservação do valor nutritivo da forragem através da rápida desidratação, uma vez que a atividade respiratória das plantas, bem como a dos microrganismos é paralisada. Assim, a qualidade do feno está associada a fatores relacionados com as plantas que serão fenadas, às condições climáticas ocorrentes durante a secagem e ao sistema de armazenamento empregado (REIS et al., 2001).

Para se produzir feno, basicamente três atividades devem ser programadas:

1 – Produção de forragem

2 – Fenação, propriamente dita pelos processos mecanizado e manual, em ambos envolvendo três etapas:

- corte da planta forrageira;
- secagem ou desidratação das plantas cortadas e
- enfardamento e recolhimento do feno.

3 – Armazenamento do feno.

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 (Andrighetto 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).

O feno pode ser armazenado, solto ou enfardado em locais ventilados e livres de umidade de acordo com a figura 1. Podem ser aproveitadas as construções já existentes ou construir galpões rústicos no campo, levando-se em consideração as facilidades encontradas na propriedade e o tempo que o feno deverá permanecer armazenado. As formas de armazenamento mais comuns são o armazenamento solto (medas) e em forma de fardos.

No armazenamento solto, o feno é levado a galpões reservados para este fim ou para as chamadas "medas", que são montes de feno organizados no próprio campo de produção, forma de armazenamento mais indicada para criações extensivas ou semi-extensivas.

Na forma de fardos, o armazenamento pode ser feito em galpões especiais ou a campo, cobertos com lona ou sapé. O material enfardado ocupa menor espaço, tem melhor conservação, facilita o transporte e possibilita o controle da disponibilidade de feno. Este método requer enfardadeira que pode ser manual ou mecânica, arame ou cordão apropriado para amarrar, sendo, portanto, mais caro e trabalhoso do que o armazenamento do feno solto.



Figura 1 - A esquerda, armazenamento de feno solto. A direita, fenos em fardos armazenado em galpão.

1.3 BALANÇO ENERGÉTICO

1.3.1 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 ideia 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.

1.3.2 Definição de energia embutida

A definição dos Requisitos Totais de Energia é um dos principais objetivos de uma análise energética. Entretanto, o cálculo preciso dentro das definições colocadas pela IFIAS - International Federation of Institutes for Advanced Study pode ser de extrema complexidade e, em muitos casos, ter seus resultados questionados por divergências metodológicas (WILTING, 1996). No sentido de se aperfeiçoar, e em muitos casos, viabilizar as análises energéticas, é aceito e difundido o conceito de Energia Embutida –EE –, qual seria o total dos requisitos energéticos nos dois primeiros níveis do esquema da IFIAS, porém sem totalizar as conversões energéticas a partir dos Requisitos Energéticos de Energia. A simplificação da obtenção dos dados e a precisão em torno de 90% do valor preciso dos RTE fazem esta conceituação ser bem utilizada e em muitos casos até ser igualada aos valores dos Requisitos Totais de Energia (BAIRD & CHAIN, 1983; TRELOAR, 2001).

1.3.3 Consumo de energia no setor agropecuário

O uso de energia agrícola pode ser definido como uma rede de energia fóssil mensurada em joules (J), usada para a produção de produtos agrícolas no setor “dentro da porteira”. Essa energia usada pode ser dividida em direta e indireta. A energia direta é aquele insumo (diesel, lubrificantes e eletricidade) usado na produção e convertido em unidade de energia. A energia indireta é aquele insumo (maquinários, fertilizantes e pesticidas) utilizado no processo de produção.

O uso de combustível fóssil também é justificado por quem controla esse mercado, como a única solução diante das diversas dificuldades de suprimento energético na zona rural. Uma publicação de Andrade et al. (1999), destaca como as principais dificuldades relacionadas ao atendimento no meio rural: grande dispersão geográfica dos consumidores; elevados investimentos necessários à implementação de redes de distribuição; longas extensões de linhas para o atendimento de cargas leves e dispersas; elevados custos de

operação e manutenção dos sistemas elétricos e pouca atratividade para os investidores por causa dos baixos níveis de rentabilidade dos investimentos.

O consumo total de energia do setor agropecuário brasileiro tem crescido a uma taxa média de 3% ao ano, desde 1984, acompanhando a evolução do PIB do setor, que apresentou uma taxa média anual de crescimento de 3,2% no mesmo período. Percebeu-se que a evolução do consumo de energia está atrelada ao crescimento do PIB, mas houve uma significativa mudança da composição da matriz energética do setor agropecuário. Ocorreu uma migração para fontes de energia mais modernas, como a eletrificação e o óleo diesel, em detrimento de fontes convencionais utilizadas no meio rural, como a lenha. Esse movimento é explicado pelo progresso técnico na produção agropecuária decorrente da automação de processos produtivos na década de 1980 (OLIVEIRA, 2001).

Na atividade agropecuária, o Brasil se destaca por apresentar competitividade em relação aos custos e disponibilidade de insumos (terra, mão de obra, fertilizantes etc.), produtividade e logística, tecnologia e inovação (relevante papel da EMBRAPA) e condições climáticas favoráveis. Como se pode observar na Figura 2, as áreas aptas para a produção de biomassa no país cobrem parcela significativa do território nacional.

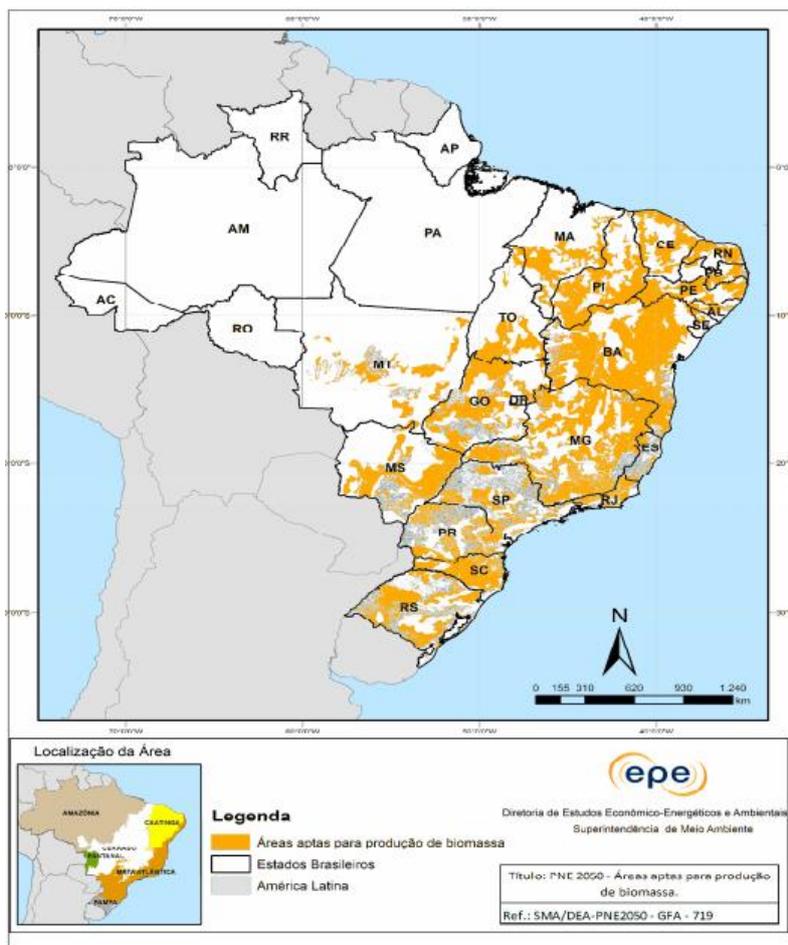


Figura 2 - Áreas aptas para a produção de biomassa no Brasil.
Fonte: Elaboração EPE

As vantagens comparativas do agronegócio brasileiro impulsionam o crescimento do setor agropecuário no longo prazo, resultando em um crescimento médio da demanda de energia a uma taxa de 2,0% a.a., no período 2013-2050. Neste período, o crescimento da participação da demanda de eletricidade se dá principalmente pelo avanço do grau de irrigação da agricultura brasileira.

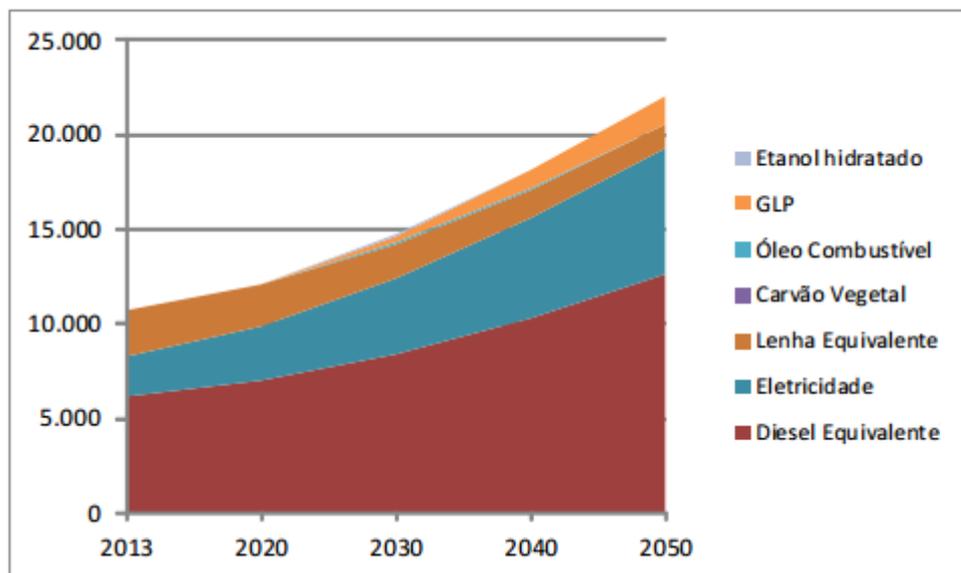


Figura 3 - Agropecuária: consumo final energético, por fonte (milhões de tep)
Fonte: Elaboração EPE

1.3.4 Entradas de energia em um balanço energético

Uma forma de classificação das entradas de energia, é a divisão nas categorias “Biológica”, “Fóssil” e “Industrial”, como se depara no trabalho de CARMO et al. (1988). Na primeira, consideraram-se as energias humana e animal, resíduos de animais e da agroindústria, sementes e mudas, alimentos para animais, adubação verde e cobertura morta; na segunda, os produtos e subprodutos do petróleo, tidos como fontes de energia primária, incluindo adubos químicos e agrotóxicos; e na terceira são incluídas as máquinas e equipamentos agrícolas à tração mecânica e animal e a energia elétrica. Este método foi seguido, por exemplo, por CARMO & COMITRE (1991) e BUENO (2002). COMITRE (1993) propôs uma divisão semelhante, tendo, porém, duas grandes matrizes de energia: Direta (biológica, elétrica e fóssil) e Indireta (Industrial, composta por máquinas, calcário, adubo formulado, inseticida e herbicida).

Conforme citação na literatura, a energia consumida na agricultura pode apresentar, ainda, a seguinte classificação: a) Energia que não é utilizada diretamente pelo processo produtivo. É aquela utilizada pelo homem para seu bem-estar (iluminação, aparelhos eletrodomésticos, etc.) e nos trabalhos após a

colheita (operações de beneficiamento, transporte, etc.); b) Energia utilizada em operações agrícolas que tornam possível o processo produtivo ou que o torna mais eficiente, mas não fazem parte do produto final, como a fornecida pela mão-de-obra, pelos animais de trabalho e pelas máquinas em operações de aração, gradagem, semeadura, adubação, aplicação de agrotóxicos, podas, capinas e colheita; c) Energia convertida em produto final, 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), conforme metodologia adotada por JUNQUEIRA et al. (1982), em trabalho no qual estudaram as formas de uso de energia na agricultura. Entretanto, a forma de classificação da energia mais utilizada tem sido a divisão em energia direta e energia indireta, como se observa nos trabalhos de DELEAGE et al. (1979), ZUCCHETTO & JANSSON (1979), ULBANERE & FERREIRA (1989), PELLIZZI (1992), CLEVELAND (1995), CAMPOS et al. (2000), CAMPOS (2001), CAMPOS et al. (2003), entre vários outros.

1.3.5 Energia consumida pelo trabalho humano

Considerado como clássico, o trabalho de PIMENTEL et al. (1973), além de vários aspectos importantes da utilização da energia no desenvolvimento da agricultura, também discorre sobre a questão da utilização do trabalho humano. Caracterizando energeticamente a agricultura, os autores apresentam vários dados relativos à evolução, de 1945 a 1970. A utilização de mão-de-obra na cultura do milho nos EUA reduziu de 57 para 22 horas para cada hectare cultivado.

Enquanto o emprego de energia na forma de trabalho humano decresceu 40%, na forma de trabalho mecanizado aumentou em 234%. O rendimento energético reduziu de 3,70 para 2,82, fato que instigou vários pesquisadores pelo mundo a desenvolverem estudos de balanços energéticos.

Uma interrogação que se faz é se seria lógico buscar a conversão do trabalho humano para unidades de energia. Entretanto, medidas da energia proveniente da mão-de-obra têm sido vastamente utilizadas 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 no sistema produtivo (FLUCK, 1981). O consumo de energia pelo trabalho humano é uma parte interessante e controvertida no contexto dos balanços energéticos da produção agrícola, uma vez que os autores na área, muitas vezes, possuem ideias e argumentos diferenciados. FLUCK (1981) já ressaltava que numerosos métodos e muita confusão existem com relação à avaliação da energia contida no trabalho. A dificuldade de avaliar o trabalho humano começa ainda na escolha da delimitação do sistema. De fato, diferentes limites do sistema podem promover diferentes definições de trabalho humano (GIAMPIETRO & PIMENTEL, 1990).

A energia consumida por trabalhadores pode ser estimada por meio de equipamento denominado “respirômetro Max Planck”, com o que se avalia somente a energia diretamente empregada nas atividades, no exato momento de sua execução. Em trabalhos realizados na produção de uvas, CARVALHO et al. (1974) determinaram que um homem de 39 anos, com 75,5 kg de peso, por exemplo, consome de 3,68 a 9,20J min⁻¹, em trabalho de conduzir trator. Um dia de trabalho é normalmente estimado, segundo FLUCK (1976), como consumidor de 2.000 a 3.500 kcal. Mas o autor alerta para o fato de 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.

As características da atividade agrícola a ser explorada também podem provocar diferenciação no nível de utilização de trabalho humano. PIMENTEL et al. (1983) depreenderam que os “inputs” relativos à mão-de-obra são substancialmente maiores para a tecnologia orgânica, quando comparada à “convencional”, afirmativa que é compartilhada por WAGSTAFF (1987). 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. O nível de potência (expressa em Watts) per capita de trabalho humano é dada por (GIAMPIETRO & PIMENTEL, 1990): Potência consumida per capita = $(x_m 90 + x_f 60)$; em que: x_m = percentual de trabalhadores adultos e x_f = percentual de trabalhadoras adultas. BANSAL et al. (1988), trabalhando em regiões semi-áridas, consideraram para a atividade braçal de humanos valores de $0,22 \text{ MJ h}^{-1}$ para homens adultos e $0,18 \text{ MJ h}^{-1}$ para mulheres.

Bueno (2002) em trabalho exaustivo na busca de referenciais energéticos para a conversão do trabalho humano citou inúmeras referências de autores nacionais e estrangeiros, não encontrando consenso. Para ele toda a variação observada nos coeficientes referentes ao gasto calórico do trabalho humano, no agroecossistema, deriva da aplicação de diferentes metodologias e análises, quando da sua quantificação.

O autor ressalta, ainda, autores que mensuraram esse gasto calórico com exclusividade à fase de trabalho (valores mais inferiores). Outros que incluíram atividades extra-laborativas, e outros que incorporaram o GER (Gasto Energético no Repouso). Além daqueles que incluíram outras variáveis (o custo energético da produção e reprodução da força-de-trabalho em várias escalas e limites). Somada a estas variações, existem outras dentro do próprio grupo de trabalhadores de uma mesma atividade, de culturas e localidades diferentes. Devido a isto, Bueno (2002) conclui: quanto mais próximos da realidade e detalhados forem os cálculos, maior exatidão apresentarão os coeficientes energéticos relativos ao dispêndio calórico do trabalho humano.

1.3.6 Energia consumida relativa a fertilizantes e agrotóxicos

A produção e aplicação de agrofármacos pode representar pequena parcela da energia empregada na agricultura. De acordo com MATUO (1984), nos EUA a produção e aplicação desses produtos representam pouco mais de 5% do total de energia utilizada e isto representa 0,2% do total de consumo de energia.

SEIXAS & MARCHETTI (1982) estimaram que a agricultura brasileira utilizava 21% de sua energia na forma de combustíveis, 58% na forma de fertilizantes, 14% na forma de agrotóxicos e 6,8% para irrigação, transporte e outros. Para estes dados, os autores não consideraram a energia embutida nas máquinas.

Além dos aspectos energéticos da utilização de fertilizantes químicos, há que se considerar também as implicações ambientais. BOYELDIEU (1975) adverte que a valorização de resíduos, principalmente os orgânicos, deve ser considerada em razão do melhor aproveitamento de adubos e corretivos.

A energia investida na propagação de produtos em análises energéticas pode ser quantificada de acordo com quatro métodos de acordo com Heichel (1980):

1 - 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 - O terceiro 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.

1.3.7 Energia empregada em edificações

Na determinação dos fluxos energéticos, principalmente nos grandes sistemas de produção, o pesquisador deve tipificar as instalações a serem utilizadas na composição dos balanços.

Trabalhando com dois tipos de residências, construídas com diferentes materiais, FERNANDES & SOUZA (1982) encontraram consumo energético de $0,5 \cdot 10^6$ kcal m^{-2} para o uso de tijolo cerâmico e $0,24 \cdot 10^6$ kcal m^{-2} de tijolo de concreto. Observaram que as paredes de tijolo cerâmico foram responsáveis por 66% do conteúdo energético total, valor este superior ao conteúdo total da residência que empregou tijolos de concreto. DOERING III (1980) afirmou que, até à época, não havia análises dos vários tipos de estruturas empregadas no meio rural, sugerindo a utilização dos valores de 1.496.232 kcal m^{-2} para residências e 409.041 kcal m^{-2} para construções de serviço. CAMPOS et al. (2003) determinaram o valor de 140.318 kcal m^{-2} para instalações destinadas à conservação de feno, em sistema intensivo de produção de leite da Embrapa Gado de Leite, em Juiz de Fora/MG. Tomando-se como base somente a área útil (capacidade estática) para armazenagem dos fardos, este coeficiente energético seria de 148.717 kcal m^{-2} . Em estudo de balanço de energia na produção de bovinos de leite e de suínos, QUESADA et al. (1987) se depararam com valores de 158.698 kcal por vaca ano⁻¹ e 829.530 kcal por 100kg de suíno, como coeficientes de energia empregada em instalações.

Uma análise da agricultura na ilha de Gotland, na Suécia, realizada por ZUCCHETTO & JANSSON (1979), revelou que o item construções participava com apenas 2,3% dentro da energia indireta. DELEAGE et al. (1979) contabilizaram o número e a área das construções e instalações rurais utilizadas

na França. Os autores utilizaram valores equivalentes energéticos de $3,3 \text{ GJ kg}^{-1}$ para trabalhos de alvenaria e $56,1 \text{ GJ kg}^{-1}$ para trabalhos com estruturas metálicas. Concluíram que, no ano de 1970, a agropecuária francesa utilizou um total de 41,2 TJ em construções e instalações. De acordo com PELLIZZI (1992), as construções rurais destinadas à produção de gado de leite contabilizam de 5 a 11% do consumo específico de energia global, enquanto para as atividades de gado de corte e exploração de leite de ovinos, o consumo específico de energia para as instalações representa apenas 1 a 2% e 3 a 5%, respectivamente.

1.3.8 Delimitação do sistema

Os limites de um sistema consumidor de energia podem ser determinados de várias maneiras, podendo incluir somente o poder calorífico de bens comerciais energéticos fornecidos diretamente para a atividade em estudo ou também podem incluir a energia comercial utilizada no suprimento de bens energéticos e outros “inputs”. O sistema energético pode também ser ampliado, incluindo fontes não-comerciais, o trabalho muscular humano ou a energia do alimento. Finalmente, pode-se optar por incluir todo fluxo de energia solar que incide sobre a superfície da terra, ou alguma porção desta (DOVRING, 1985; COSTANZA, 1980).

A energia solar pode ser considerada gratuita, apresentando custo de oportunidade zero e sua não-contabilização, como ressalta COMITRE (1993), não implica maiores restrições ao método. A análise pode também ser enfocada no conceito de energia disponível. Da mesma forma, o combustível no subsolo (carvão mineral) pode ser tratado como não tendo valor, até que seja extraído (DOVRING, 1985).

1.3.9 Conversão energética

Define-se balanço de energia como atividade ou instrumento destinado a contabilizar as energias produzidas e as energias consumidas em 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).

Observando a importância e utilidade deste instrumento, vários pesquisadores têm se utilizado dos balanços de energia para avaliação de sistemas e atividades agrícolas, nas mais diversas proporções, com distintas fronteiras (delimitações) do sistema. Esta preocupação com o emprego da energia na agricultura não é recente; SILVA & GRAZIANO (1977) alertaram as autoridades responsáveis pela fixação de políticas para a pesquisa agropecuária, para a necessidade de direcionamento na busca de modelos poupadores de energia. Trabalhando com respostas aos diferentes níveis de nitrogênio, para diferentes culturas, Schuffelen, citado por BOYELDIEU (1975), encontrou grandes variações nos balanços de energia, 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.

Avaliando os rendimentos energéticos dos vinte principais produtos agropecuários brasileiros entre as décadas de 1970 e 1990, COMITRE (1995) alega que, mesmo com o crescimento do uso de insumos, o rendimento energético aumentou. O autor atribui os resultados ao dinamismo, em termos de crescimento da produtividade, ocorrido na agricultura pelo processo de modernização, melhoramento genético e melhoria nos sistemas de produção.

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. Os índices encontrados indicaram que a agricultura se encontrava num estágio semelhante à de países desenvolvidos, como a França, mas mostraram a necessidade de se utilizar tecnologia menos dependente de fontes externas de energia. Um estudo no Estado de Santa Catarina revelou que os gastos energéticos são proporcionais ao grau de interferência mecânica e química nos ecossistemas, sendo que a tração motorizada e os insumos químicos (utilizados para fertilização e defesa da produção), segundo MELLO (1986), representaram os maiores custos energéticos.

O rendimento energético é dependente, outrossim, do nível tecnológico empregado. Analisando o cultivo de produtos diferenciados, CARMO et al. (1998) encontraram balanços muito diferentes entre as propriedades, sendo os grãos o produto de maior retorno por unidade calórica investida, e as hortaliças e produtos animais, exceto o mel, os menores. CARMO & COMITRE (1991) determinaram os gastos energéticos para as culturas de soja e milho em algumas safras, entre 1965 e 1990. Segundo estes autores, os valores crescentes para o balanço indicaram 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 substituídas pelas de origem fóssil, sendo o combustível o mais expressivo, seguido de fertilizantes e corretivos. Em estudo conduzido na região de Ribeirão Preto - SP, COMITRE (1993) avaliou o balanço energético nas fases agrícola, industrial e de distribuição da soja, obtendo valores de 5,77; 0,97; e 2,31; respectivamente.

Em três sistemas de produção de soja (semeadura com preparo convencional do solo, com preparo reduzido e direta), MESQUITA et al. (1982) observaram maior eficiência do sistema de semeadura direta no consumo de energia. A média de 717.000 kcal ha⁻¹ consumidas naquele sistema foi inferior em 39% e 20% àquelas dos sistemas convencional e reduzido, respectivamente.

Estudando o custo econômico e o custo energético, por meio de balanço de energia, na utilização de três sistemas de preparo do solo: preparo convencional, preparo com enxada rotativa e preparo conservacionista com escarificador, 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), BOLLER & GAMERO (1997) verificaram que o preparo efetuado com enxada rotativa implicou investimento energético menor e que o preparo do solo demandou maior consumo energético no pousio em relação às parcelas onde houve cultivo anterior de aveia preta, centeio e nabo forrageiro. SANTOS & REIS (1994), avaliando sistemas de rotação de culturas de cevada, propuseram um índice que relacionava o rendimento de grãos de cada espécie e a energia cultural despendida pelo uso de insumos e pelas operações realizadas: $Produtividade\ cultural\ (kgcal^{-1}) = \{[Rendimento\ de\ grãos\ (kg\ ha^{-1})] , [Energia\ cultural\ (cal\ ha^{-1})]\}$. Concluíram que a eficiência energética foi influenciada 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 que o milho foi mais eficiente energeticamente. SANTOS et al. (2001) avaliaram a conversão e o balanço energético de sete sistemas de rotação de culturas, durante nove anos, de forma intercalada, na região de Passo Fundo/RS. Verificaram que todas as rotações de culturas foram mais eficientes do que a monocultura.

Em balanços de energia determinados por TSATSARELIS (1993) para o cultivo de trigo na Grécia, concluiu-se que a energia injetada, de acordo com o sistema de produção, oscilava entre 16.000 e 26.000 MJ ha⁻¹, sendo necessário adicionar de 1.500 a 3.000 MJ ha⁻¹ quando se utilizava a irrigação. A maior parte da energia total inserida foi consumida pelos fertilizantes, incluindo aplicação. As intensidades energéticas calculadas situaram-se 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.

Em Botucatu, SP, SIQUEIRA et al. (1999) estimaram o balanço de energia na implantação de plantas de cobertura do solo (aveia preta, nabo forrageiro e tremoço azul), em preparo de solo convencional. Concluíram que, para a implantação e manejo da aveia e do nabo, o maior consumo de energia foi com combustível e fertilizantes; e, no caso do tremoço, foi com sementes e combustível.

Numa análise conduzida por ZUCCHETTO & JANSSON (1979), verificou-se que a agricultura de Gotland (região ao norte da Suécia) tinha custo

energético maior que a média dos Estados Unidos, porém representava pelo menos a metade do custo médio da agricultura de Israel. Nos custos de energia direta, incluíam-se 223TJ usados em combustíveis e 51,9TJ em eletricidade.

Em pesquisa delineando a distribuição de energia no sistema agrícola de toda a França, para o ano de 1970, DELEAGE et al. (1979) estimaram um consumo de energia de 569,5TJ naquele ano, correspondendo a 9,4% do consumo energético nacional, sendo 4,36% para participação no consumo indireto e 4,64% no consumo direto. Eles depreenderam também que somente 11,2% do total advinha de fontes de energia renováveis.

Apesar da grande tendência demonstrada na literatura, no intuito de chamar a atenção da má utilização e baixa eficiência energética na agricultura, alguns trabalhos têm demonstrado críticas no sentido contrário. Ainda na França, BONNY (1993) estudou a eficiência de utilização de energia na agricultura, entre 1959 e 1989 e notou que foi necessário incremento na quantidade de energia direta para um dado volume de produção; porém, desde 1977 esta quantidade vem diminuindo, o que levou o autor a crer que a agricultura se tornou mais eficiente no uso de energia naqueles últimos anos. Entretanto, ele admite ter utilizado somente dados de energia direta (combustíveis sólidos, eletricidade e gás, diretamente consumidos na agricultura), não levando em conta a energia indireta (empregada na manufatura de diferentes “inputs” utilizados, como fertilizantes, agrotóxicos, maquinário, etc.), restringindo os resultados deste trabalho.

Fluxos de energia e determinação do valor da eficiência energética visando à sustentabilidade da agricultura dinamarquesa foram o foco do estudo de SCHROLL (1994). O autor observou que a eficiência energética foi decrescendo à medida que problemas ambientais relativos à produção agrícola foram aparecendo no período estudado (1936 a 1990). O autor afirmou que, quando a saída de energia na alimentação humana se iguala à quantidade de energia fóssil despendida para produzi-la, não parece ser ecologicamente sustentável, e o autor argumentou que as duas principais maneiras para se aumentar a eficiência energética média do país seriam: 1) Encorajar maior produção de alimentos para os seres humanos em detrimento dos animais; 2)

Reduzir a entrada de energia fóssil, especialmente aquela relacionada à aplicação de fertilizantes. É importante destacar que as soluções são sempre locais, dependendo das características, onde se inclui até a extensão do país. Para o caso brasileiro, pode-se estudar medidas menos radicais, como tentativa de racionalizar a alimentação animal, utilizando-se maior quantidade de volumosos de alto valor nutritivo para buscar maior eficiência na utilização de fontes não renováveis de energia, contribuindo para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Um dos campos em que o método de cálculo de balanço de energia se mostra imperativo foi na produção de combustíveis. Nesses casos, deve-se investigar se um dado sistema produz mais energia (na forma de combustível) do que consome. HELENE et al. (1981) determinaram o balanço de energia para a produção de etanol a partir da hidrólise ácida da madeira. Perceberam que os gastos de energia na fase agrícola do processo corresponderam a aproximadamente 1% do total, enquanto para a cana de açúcar foi de 15% do total gasto. A relação entre a energia contida no combustível e a energia total gasta para produzi-lo, por meio de madeira de pinus, de eucalipto e de cana-de-açúcar, foram de 0,62; 0,45 e 0,80; respectivamente.

Destaca-se o fato de que os balanços energéticos foram úteis, mas deve-se procurar sempre aprimoramento nos métodos (DOVRING, 1985). Existe, ainda, uma infinidade de fatores que provocam variação nos resultados para um mesmo produto agrícola. No Brasil, existem distintas formas de conduzir uma dada cultura ou criar uma determinada espécie animal. Fatores tais como tipo de solo, topografia (inclinação, altitude, exposição solar) do terreno podem provocar diferenças consideráveis no consumo de energia. Somando-se todas estas fontes de variação, pode-se dizer que até mesmo a tradição local pode introduzir diferenças nos processos produtivos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A elaboração de um balanço energético é iniciada pela definição do agrossistema e a área a ser analisada definindo o espaço de tempo 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).

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados dados obtidos da produção de feno a partir do capim MASSAI (*Panicum maximum*) para a criação de cavalos no Racho Rick, situado na cidade de Carmo do Rio Verde, município brasileiro do estado de Goiás distante 168 km da capital Goiânia. Situado na região do Vale do São Patrício, está sobre uma altitude que varia de 557 à 630 metros. A vegetação cerrado é a que predomina com algumas zonas de transição.

O Ranho Rick possui uma área total de 53 ha, sendo destinados 24 ha apenas para a produção do capim massai para fenação tanto para consumo interno, de aproximadamente 20 equinos (variável em relação a entrada e saída de animais), quanto para demanda externa – vendas a varejo para pequenos criadores e atacado para outros haras.

A propriedade tem como principais atividades a acomodação de equinos do próprio plantel e de terceiros na modalidade “hotel”. São oferecidos serviços de doma racional, equitação básica, iniciação dos animais e cavaleiros em prova de tambores e laço em dupla.

A área geográfica do município é de 455,9 km² e topograficamente apresenta 70% de terras planas, 20% de terras acidentadas e 10% de várzeas, tendo sobre ela 5% de cascalho, 15% de pedras e rochas e 80% de terra pura.

Carmo do Rio Verde possui um clima fresco e seco no inverno, quente e seco na primavera, e quente e úmido no verão. No inverno, as mínimas podem chegar aos 11°C e as máximas passarem dos 30°C. Todo ano há ocorrências de acentuada queda das temperaturas que duram de 4 dias a 2 semanas. Dias em que as temperaturas mínimas podem cair para até 8°C-9°C, porém nas tardes as máximas podem passar os 30°C. Assim a umidade relativa do ar fica baixíssima, podendo cair para até 20%.

Diante dos argumentos apresentados no presente trabalho, é proposto como delimitação do sistema estudado, as atividades relativas à produção, fenação e armazenamento do capim “Massai”, incluindo todos os processos e gastos energéticos embutidos na atividade. Para melhor esclarecer o limite, é apresentado na Figura 4, desenho esquemático representando a zona delimitada pelos balanços.

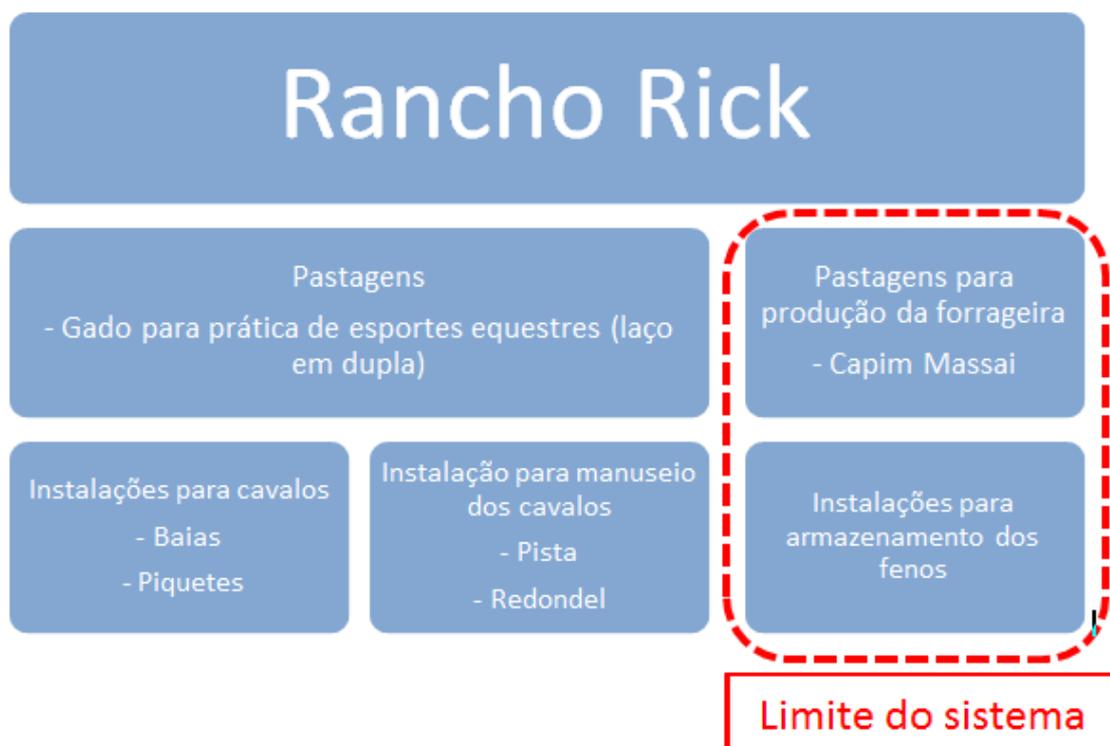


Figura 4 - Delimitação do sistema em estudo dentro do Rancho Rick

Em suma, usaremos uma metodologia empregada em vários estudos onde se deseja calcular o coeficiente energético de qualquer produto que seja. Faremos o levantamento de toda a energia utilizada para obtenção deste produto, no nosso caso, do fardo de feno. Calculamos o valor da energia efetiva de toda a produção e com esses valores poderemos chegar ao cociente desta divisão que será o nosso valor final que é a eficiência energética, onde saberemos se nosso produto está sendo produzido de forma sustentável ou não.

OBJETO EM ESTUDO

O cultivar “Massai” (figura 5) é um híbrido espontâneo entre *Panicum maximum* e *P. infestum* BRA-7102, sendo originária da África.



Figura 5: Capim *Panicum maximum* BRA-7102 cv Massai na fase vegetativa

Este híbrido entrou no Brasil em 1982, como resultado de um convênio entre o IRD – Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento, órgão francês, e a EMBRAPA, em um esforço de pesquisa buscando identificar novas gramíneas forrageiras para diversificar os sistemas de produção de forragem e intensificar a pecuária no País. Foi avaliado na EMBRAPA Gado de Corte em Campo Grande – MS, de 1984 a 1986 sob cortes e selecionado por sua morfologia e por ser um dos 25 acessos mais produtivos, com melhor rebrota após os cortes, porcentagem de folhas e produção de sementes (Savidan et al. 1990).

É uma planta que forma touceiras com altura média de 60 cm e folhas quebradiças, sem cerosidade e largura de 9 mm. As lâminas apresentam densidade média de pêlos curtos e duros na face superior.

O Massai possui excelente produção de forragem com grande velocidade de estabelecimento e de rebrota, com boa resistência ao fogo. Quando comparada às outras cultivares de *P. maximum*, o “Massai” apresenta melhor cobertura de solo; maior persistência em níveis baixos de fósforo; maior produção de parte aérea e de raízes em soluções com alta concentração de alumínio; sistema radicular mais adaptado às condições adversas do solo, como compactação, baixa fertilidade, alta acidez e déficit hídrico.

Outro aspecto importante é a sua resistência às cigarrinhas-das-pastagens. Foram verificados baixos níveis de sobrevivência e prolongados períodos ninfais, caracterizando-a como pouco adequada ao desenvolvimento do inseto. O percentual médio de sobrevivência foi de 10%, semelhante ao da cultivar Tanzânia e inferior ao constatado na cultivar Mombaça (39%) (COSTA, 2004).

O Massai, a exemplo de outras cultivares do gênero *Panicum*, requer níveis médios a altos de fertilidade do solo na implantação, porém é a menos exigente em adubação de manutenção e persiste maior tempo em baixa fertilidade com boa produção de forragem sob pastejo.

O primeiro pastejo deve ser realizado 90 a 120 dias após o plantio e deve ser iniciado quando as plantas atingirem entre 0,8 a 1,0 m de altura, as quais devem ser rebaixadas até cerca de 30 cm acima do solo.

2.1 ANÁLISE ENERGÉTICA

Para garantir alimentação, proteção, transporte, saúde, diversão e outras funções e bens de consumo, sempre se gasta muita energia, independente da forma em que ela se apresenta. Entretanto, energia não se transforma automaticamente em alimentos, fibras e resinas, mas flui em materiais que interagem e realizam trabalho. Ora esta se apresenta na forma de radiação solar que alimenta o processo fotossintético, ora como o trabalho humano ou animal, ou ainda contida em combustíveis, fertilizantes, ferramentas, sementes e demais insumos da agricultura. Para obter esses insumos, realiza-

se trabalho, o que demanda energia, que pode existir armazenada em seus materiais.

Um sistema produtivo qualquer processa matérias e energia com objetivo de torná-las disponíveis aos interesses do homem. Esse processamento dissipa energia na forma de aquecimento do meio ambiente, ruídos, desgastes de materiais, lixo etc. Ora, os recursos energéticos armazenados no planeta são finitos e a sua renovação com a entrada da radiação solar se dá de maneira muito lenta, contrária ao volume intenso de degradação desses recursos e ao baixo rendimento energético dos processos produtivos.

A energia utilizada nas operações de produção agrícola depende de vários fatores (Bridges & Smith, 1979). Existem diferentes formas de subdividir 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.

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 alimento forrageiro, na forma de feno. O problema que surge é o seguinte: sendo um sistema (ou atividade pecuária - produção de feno) inserido em um sistema maior (outras atividades do Rancho como transporte de fenos para piquetes e baias diariamente, uso do trator para locomoção do “boi mecânico” para treinamento dos cavalos na iniciação em laço, etc), 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 do capim “Massai” restritos a certos períodos do ano. Logicamente, não seria racional manter um trator e seus implementos somente para a produção da forrageira 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.

2.2 PRODUÇÃO DO FENO – CAPIM “MASSAI”

2.2.1 Áreas utilizadas para plantio do capim

No plantio do capim “Massai” para a produção de feno, que gerou as informações necessárias para este estudo, foram utilizadas duas áreas da propriedade: uma com 10 ha com uma produção já com 36 meses e outra maior de 14 ha em produção com 18 meses.

2.2.2 Controle de invasores

No sistema de plantio direto, o trabalho do arado e da grade é substituído pela aplicação de herbicidas capazes de inibir as plantas daninhas presentes e de formar uma massa vegetal de cobertura do solo, a chamada palhada. O período entre a aplicação do herbicida e a semeadura da cultura varia com as características do herbicida, a dose utilizada, a cobertura vegetal antecessora, a textura do solo e as condições ambientais. Os principais herbicidas utilizados para este fim são glyphosate, glyphosate potássico, 2,4-D, paraquat e glufosinato de amônio.

Os produtos à base de glyphosate são recomendados principalmente para áreas infestadas com plantas daninhas perenes, por serem herbicidas sistêmicos capazes de penetrar na planta pelas folhas e translocar-se via floema até às raízes.

Glyphosate potássico é um herbicida semelhante ao glyphosate, apresentando o mesmo modo de ação. Porém, por causa do radical trimetilsulfônio, penetra mais rápido nas folhas das plantas daninhas que o glyphosate, tornando-se uma boa opção no período chuvoso. O uso de 2,4-D ajuda no controle de folhas largas, principalmente trapoeraba, tolerante a glyphosate e glyphosate potássico.

Como foi constatada existência de alta infestação de ervas invasoras perenes, foi utilizado o herbicida 2,4-D, à base de glyphosate, com uma dosagem de 1,5 litros por hectare, para o controle destas ervas. Na operação, tratorizada, empregou-se pulverizador motorizado de barra, com a aplicação conduzida antes da aração.

2.2.3 Correção do solo

A alternativa mais viável para a correção da acidez do solo e suprimento dos nutrientes Ca e Mg é a calagem. Os principais efeitos da prática da calagem são a correção da acidez, o suprimento de Ca e Mg e, quando ocorre, a diminuição da toxicidade por Al e Mn. Além destes, a calagem também promove o aumento da capacidade de troca de cátions - CTC e da disponibilidade de N, P, S e Mo. Ao mesmo tempo, a elevação do pH promove a diminuição gradual da disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn, aumento da mineralização da matéria orgânica, aumento do volume de solo explorado pelas raízes, diminuição da fixação do fósforo, favorecimento da fixação simbiótica do nitrogênio e melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo.

Após realizada a análise do solo no Laboratório de Solos do Instituto Federal Goiano – Câmpus Ceres, foi recomendado a correção com 2,6 toneladas de calcário por hectare.

2.2.4 Preparo do solo

O solo bem preparado assegura melhor pegamento das mudas, facilita tratos culturais, semeadura, reduz a infestação de invasoras indesejáveis, favorece o crescimento das raízes, 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 o cultivo do capim “massai” do Rancho Rick, foi realizado uma aração de quatro discos seguido de duas gradagens invertidas.

2.2.5 Adubação / Semeadura

Uma das operações que se utilizam maiores consumos de energia direta oriundas do petróleo é a adubação e o plantio (Pimentel, 1973), procura-se a melhor acuracidade na medida do consumo deste importante insumo na composição da matriz energética do sistema. No caso do “massai” no Rancho Rick, a adubação foi realizada mecanicamente, aplicando-se o fertilizante, antes de se proceder à abertura dos sulcos.

O adubo utilizado foi o Superfosfato Simples que é um fertilizante mineral ou um formulado composto de 18% de P_2O_5 , 16% de Cálcio (Ca) e 8% de Enxofre (S). É um produto de alta eficiência agrônômica, principalmente por causa da presença do Enxofre, pois os solos brasileiros em geral, e notadamente o cerrado, apresenta grande deficiência deste mineral, que é muito benéfico para as plantas. Um dos efeitos positivos mais marcantes desse fertilizante fosfatado é o aprofundamento do sistema radicular dos vegetais. A quantidade aplicada foi de 270 Kg por hectare.

A melhor época da semeadura é quando as chuvas passam a ocorrer com maior frequência (outubro a fevereiro no Brasil Central).

Seja qual for o método escolhido, a semeadura deve possibilitar a distribuição uniforme das sementes por toda a área a ser formada. No caso de plantio em linhas ou em covas, que foi a metodologia usada no Rancho Rick, o espaçamento entre elas deve ser o menor possível.

Uma causa frequente de insucesso é a semeadura de quantidades insuficientes de sementes. A boa regulagem do equipamento de plantio é uma forma de garantir que a quantidade certa de sementes seja plantada. Essa quantidade, chamada de taxa de semeadura, varia de acordo com a cultivar, época do ano e o sistema de semeadura.

Como dito anteriormente, temos duas áreas de cultivo do capim “massai”: Uma com 10 hectares, foi plantada em novembro de 2012 e outra de 14 hectares de janeiro de 2014.

2.2.6 Corte e produção e feno

Após aproximadamente 90 dias do plantio, o capim “massai” já se encontrava com 0,6 m de altura. Começando então o corte para a produção do feno. Como não é utilizado irrigação nessas pastagens, foram realizados apenas dois cortes por ano.

As etapas para a produção de feno são as seguintes:

1. Corte do capim usando uma Cortadeira Nogueira SN 165 de dois tambores (3 facas por tambor);
2. Após o corte o capim foi mantido no próprio local, sendo espalhado, enleirado e revolvido por um implemento chamado de ancinho (figura 6). Isto se faz para melhorar a secagem e o recolhimento. Foi utilizado o *Haybob* da marca Nogueira para esta etapa.
3. Depois da secagem, o material é recolhido, enfardado, e deixado no campo, através de um implemento denominado enfardadeira. Nesse caso foi utilizado uma AP41 também da Nogueira.

Para todas estas etapas, foi utilizado um trator Massey Ferguson 4275 4x4 para tracionar os implementos citados acima.



(a)



(b)

Figura 6. a) Ancinho *Hybob* Nogueira; b) Enfardadeira AP41 Nogueira

Na sequência, o capim já devidamente seco e enfardado, foi 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.

2.3 CONVERSÃO ENERGÉTICA

No Brasil, pouca atenção se tem dado às formas e caminhos com que os fluxos energéticos se distribuem nos sistemas produtivos. Na agropecuária, a atenção tem sido voltada a novas fontes de energia ou em tecnologia alternativa, visando a racionalização do uso de energia fóssil. Uma das maneiras de serem avaliados a disponibilidade e o consumo de energia é por meio da conversão e do balanço energético.

A conversão energética resulta da divisão da energia disponível pela consumida. O balanço energético resulta da diferença entre a energia disponível e a consumida.

2.3.1 Trabalho humano

Zanini et al. (2003) e Campos et al. (1998) utilizaram o mesmo valor energético para o trabalho humano na agricultura. O valor considerado foi o do consumo médio de $2.196,60 \text{ J}\cdot\text{h}^{-1}$ por homem, para a energia empregada na produção de silagem.

Campos & Campos (2004) questionaram a lógica de se buscar uma conversão do trabalho humano para unidades de energia. Citaram que o consumo de energia pelo trabalho humano é uma parte interessante no contexto dos balanços energéticos da produção agrícola, porém controversa, uma vez que os autores na área, muitas vezes, possuem ideias e argumentos diferenciados; entretanto, os mesmos afirmam que medidas da energia proveniente de mão-de-obra têm sido vastamente utilizadas devido ao valor de

energia intrínseco que o trabalho muscular possui, ao conteúdo energético do alimento consumido pelo trabalhador, e a mão-de-obra, que em muitos casos, é substituída por outras fontes de entrada (inputs) de energia do sistema produtivo.

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. Este índice médio é de 386,40 kJ.h⁻¹.

2.3.2 Instalações para armazenamento

Um dos cálculos mais complexos e discutidos em um balanço energético é a composição da energia nas instalações e composições rurais. Por exemplo; Comitre (1993), 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.

De uma forma simplista, pode-se afirmar que o animal até suporta condições de desconforto ambiental, no que se refere ao microclima no interior das baias, 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 subdivide, ainda, em Silos (para armazenamento de silagens, etc.) e galpões para armazenamento de fenos que é o caso de nosso estudo.

No Rancho Rick existem dois galpões para armazenamento. Um chamado de “barracão do curral” com dimensões 6m de largura x 8m de comprimento x 3,0 de altura e outro de “paiol”, 4m x 6m x 4m.



Figura 7: “Barracão do Curral”. Armazenamento de feno.



Figura 8: “Paiol”. Armazenamento de feno.

Uma terceira opção de armazenamento utilizada do rancho é o empilhamento dos fardos sob a sombra de uma planta adulta e coberta com lona para proteção contra vento, sol e chuva. Esse método contribui para o aumento do coeficiente energético já que não é contabilizado nenhum valor de instalações.



Figura 9: Armazenamento de feno envolvido em lona.

2.3.3 Insumos

Serão desenvolvidos os cálculos de composição energética dos componentes da matriz segundo as recomendações contidas na literatura. Utilizaremos 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.

Temos que levar em consideração também os materiais de propagação que podem variar, segundo diferentes autores e diferentes culturas, de 3 a 31% do custo energético total da cultura (Mello, 1986).

2.3.3.1 Adubação e semeadura

Os valores energéticos adotados para os elementos dos fertilizantes utilizados para a adubação serão os informados por SALLA et. al. (2007):

Composição do adubo superfosfato simples:

- P_2O_5 3.105 kcal x kg^{-1} 13 MJ x kg^{-1}
- Ca.....1.873 kcal x kg^{-1}7,84 MJ x kg^{-1}
- S.....1.509 Kcal x kg^{-1}6,32 MJ x 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 *aN*, *bP* e *cK*, 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 (P_2O_5 , Ca e S em kg) pelo valor energético correspondente (13 MJ.kg⁻¹; 7,84 MJ.kg⁻¹ e 6,32 MJ.kg⁻¹, respectivamente).

Essa adubação foi realizada apenas uma vez antes do plantio e faremos a contabilização para apenas um ano de colheita, como dito anteriormente, foram realizados dois cortes durante esse período.

Desta forma, a composição destes nutrientes em suas porcentagens, seria distribuída da seguinte maneira:

Consumo total: 6.700 kg

- Composição:

Tabela 1: Consumo energético dos componentes utilizados na adubação para plantio

Elemento	Quantidade (kg)	Valor Energético (MJ.kg ⁻¹)	Valor Energético Total (MJ)
P ₂ O ₅ : 18%	1206	13	15.678,00
Ca: 16%	1072	7,84	8.404,48
S: 8%	536	6,32	3.387,52
	TOTAL		27.470,00

Distribuindo o valor energético total pela área plantada (24 ha) temos o valor energético para insumos de adubação 1.144,60 MJ.ha⁻¹.

O plantio foi mecanizado, utilizando uma semeadora adubadora. Utilizou-se uma taxa média de 10 kg de sementes por hectare, somando um total de 240 kg para toda a área.

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 interno 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.

Quanto às sementes adquiridas no mercado (*Panicum maximum* cv Massai), optou-se pelo método que avalia os custos energéticos pelos custos financeiros da matriz energética brasileira, segundo Mello (1989). A obtenção do valor energético da moeda se deu pela razão entre o consumo total de energia primária no Brasil, 236,7 Mtep (BEN 2013), que corresponde a $2.367.10^9$ kcal e o PIB (Produto Interno Bruto, em Reais), no ano de 2012 – R\$4,713 trilhões – (IBGE), que foi o primeiro plantio, ou seja, $502 \text{ kcal.Real}^{-1}$.

A média do preço do quilograma da semente em 2012 era de R\$30,00. Utilizando o coeficiente energético acima citado, para o total de 400 kg de semente usado para o plantio total da área informada, temos um valor de R\$12.000,00 chegando a 6.024.000 kcal, que corresponde a $251.000 \text{ kcal.ha}^{-1}$.

2.3.3.2 Correção do solo

A correção 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:

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

sendo d a distância percorrida, em km. Para o caso do Rancho Rick, o d é de 15, desta forma o coeficiente energético para o calcário é de 186 kJ.kg^{-1} .

2.3.3.3 Defensivos

Como informado no item 2.2.2, foi utilizado o herbicida 2,4-D para combate inicial de ervas daninhas ou plantas infestantes. Foi consumido 1,5 l/ha, totalizando 36 L para os 24 ha de plantação do capim “massai”.

Segundo Pimentel (1980), herbicidas a base de glifosato (que é o caso do 2,4-D), possui valor calórico de energia direta de $228,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Temos então um valor de 15.060 MJ consumido para toda a área com o uso apenas do defensivo.

2.3.4 Máquinas e implementos

Para se contabilizar a energia incorporada em uma determinada máquina agrícola, é necessário levantar uma grande quantidade de informações para tal. De acordo com Doering III (1980), as seguintes etapas deverão ser calculadas para se obter esses valores:

- Energia contida nos materiais que compõe a maquinaria, como aço, borracha, fibra de vidro, alumínio, etc;
- Energia utilizada em nível de manufatura, no tratamento e chapeação de materiais e na fabricação das peças que compõem as máquinas;
- Energia contida no material e na fabricação dos equipamentos de manutenção, que são aplicados em sua vida útil.

Neste trabalho utilizamos a metodologia estudada por Doering III (1977), que foi utilizada por diversos outros 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 $1,669 \text{ tep.t}^{-1}$, que pode ser convertido em $69,83 \text{ MJ.kg}^{-1}$;
- E para os outros equipamentos, o consumo de energia é de $1,367 \text{ tep.t}^{-1}$, ou $7,20 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

2.3.5 Combustíveis e lubrificantes

Para a contabilização dos combustíveis e lubrificantes temos que contabilizar, além de seus coeficientes energéticos, o custo que o mesmo possui para sua produção. Para a obtenção dos produtos derivados do petróleo é consumido 1,14 vezes seu poder calorífico (Cervinka, 1980; Serra et al., 1979). Foi utilizado apenas dois derivados do petróleo para este estudo: óleo diesel e óleo lubrificante, que possuem poderes caloríficos respectivamente 38.535 kJ.l^{-1} , 38.516 kJ.l^{-1} .

Para o processamento, Serra et al. (1979) propõe como “input” energético para estes componentes os seguintes valores na mesma ordem citada: 43.930 kJ.l⁻¹, 43.908 kJ.l⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como a análise energética quantificou a energia diretamente consumida e a indiretamente utilizada nos pontos previamente estabelecidos do sistema produtivo em estudo, inicialmente os resultados foram apresentados conforme a divisão da matriz energética: “entradas” (inputs) e “saídas” (outputs) de energia.

Os dados serão apresentados de acordo com a produtividade/produção, consumo de energia para cada fase da cultura, de acordo com as operações e tipos de insumos utilizados e balanços energéticos para a produção do feno de capim “massai”.

3.1 COMPOSIÇÃO ENERGÉTICA DO ARMAZENAMENTO DO FENO

Como dito anteriormente no item 2.3.2, o Racho Rick possui 3 locais de armazenamento do feno. Um “barracão do curral” com 48m², um paiol com 24m² e um terceiro que seria o armazenamento coberto por lona em ambiente aberto.

Para contabilização do índice energético, utilizaremos apenas as duas primeiras, visto que a terceira não dispõe de parâmetros para esse cálculo.

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), 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.

Para o nosso caso, utilizaremos então dados fornecidos por Beber (1989):

Tabela 2: Consumo energético para instalações de armazenamento do feno

Estrutura	Área (m²)	Índice energ (MJ.m⁻²)	Total (MJ)
Barracão	48	58,89	2.826,72
Paioi	24	58,89	1.413,36
TOTAL			4.240,08

Esse valor resultante de 4.240,08 MJ.m⁻² é bem favorável ao resultado final, sendo que se fosse construído um galpão de alvenaria utilizando tijolos, concreto e estruturas metálicas, teríamos um resultado muito superior a esse, sendo assim, a utilização de estruturas utilizando madeiramento é ponto favorável em relação ao consumo de energia quando comparamos a energia despendida dos locais de armazenamento de outros trabalhos.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E DA PRODUTIVIDADE

No Rancho Rick, como não dispõe de irrigação, são feitos apenas dois cortes anuais, nos meses de março e outubro. A produção por corte é contabilizada através de fardos de feno. São 18.000 fardos por corte. Apuramos uma amostragem de peso dos fardos e chegou-se a uma média de 14kg por fardo, totalizando então uma produção de 252 toneladas de feno, em uma área de 24 ha, dando uma produção de 10,5 t.ha⁻¹.

3.3 CONSUMO DE ENERGIA NA IMPLANTAÇÃO DA FORRAGEIRA

Vale lembrar nesse estudo que a implantação inicial do capim necessita de uma grande quantidade de operações com um gasto relevante de energia no manuseio das máquinas e acoplada aos insumos. Entretanto, vale ressaltar 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, na composição final do balanço.

3.3.1 Máquinas e implementos agrícolas

A transformação estimada em demanda específica de energia (DEE) indireta das máquinas e implementos agrícolas para a fase de fenação se encontra na tabela abaixo:

Tabela 3: Peso, vida útil e demanda específica de energia estimados para as máquinas e implementos utilizados na cultura do “massai”

Equipamento	Peso (kg)	Vida útil (h)	DEE (MJ.h⁻¹)
Trator Massey Ferguson 4275 4x4	4125	12.000	26,67
Enfardadeira Nogueira AP 41	980	6.750	8,30
Cortadeira Nogueira SN 165	365	3.600	5,80
Enleirador e batedor HAYBOB Nogueira	370	6.750	3,14
Arado de 4 discos	1.200	3.000	22,88
Distribuidor de calcário	280	2.250	7,12
Pulverizador de barra 400 litros	195	1.200	9,30
Carreta de transporte 4m ³	590	5.600	5,97

3.3.2 Consumo de energia de combustíveis e lubrificantes

Uma das partes mais importantes da constituição da energia direta aplicada na implantação da cultura, a energia utilizada pelas máquinas, para locomoção e conservação, com o uso de óleo diesel e lubrificantes, foi determinada a partir de períodos de tempo, em horas de trabalho para o trator e seus implementos em cada operação do processo.

Iremos dividir em 3 fases a implantação da forrageira, sendo essa etapa a que mais emprega operações mecanizadas: 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, apresentados na Tabela 4, foram determinados de acordo com o tempo de trabalho por operação informado pelo

proprietário e operador da implantação da forrageira no Rancho Rick, sendo os valores de consumo do lubrificante, ponderados por coeficientes de consumo, específicos para cada implemento, informados por Macedônio & Picchioni (1985). Considerando o total de insumo energético utilizado, para todas as operações tratorizadas realizadas no preparo e correção de acidez do solo, percebe-se, pela Tabela 4, que o derivado de petróleo, diretamente empregado em máquina agrícola, de uso mais intensivo, é o combustível óleo diesel.

Tabela 4: Consumos de energia, em kJ, na forma de combustível e lubrificante para máquinas agrícolas, nas operações de preparo e correção de acidez do solo para a implantação da forrageira do capim “massai” no Rancho Rick.

Operação	Óleo Diesel (l)	Óleo Lub. (l)	Coeficiente energético kJ.ha ⁻¹		Total por operação
			Óleo Diesel	Óleo Lub.	
Distribuição do calcário	23,5	0,18	905.572,50	6.932,88	38.021,05
Aração 4 discos	51,7	0,41	1.992.259,50	15.791,56	83.668,79
Gradagem (2 vezes)	37,6	0,3	1.448.916,00	11.554,8	60.852,95
Herbicida	23,5	0,18	905.572,50	6.932,88	38.021,05
Total	136,3	1,07	5.252.320,50	41.212,12	220.563,84

Pelo gráfico da Figura 10 nota-se que as operações de revolvimento de solo, a saber, 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, reparo 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 “massai”, 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.

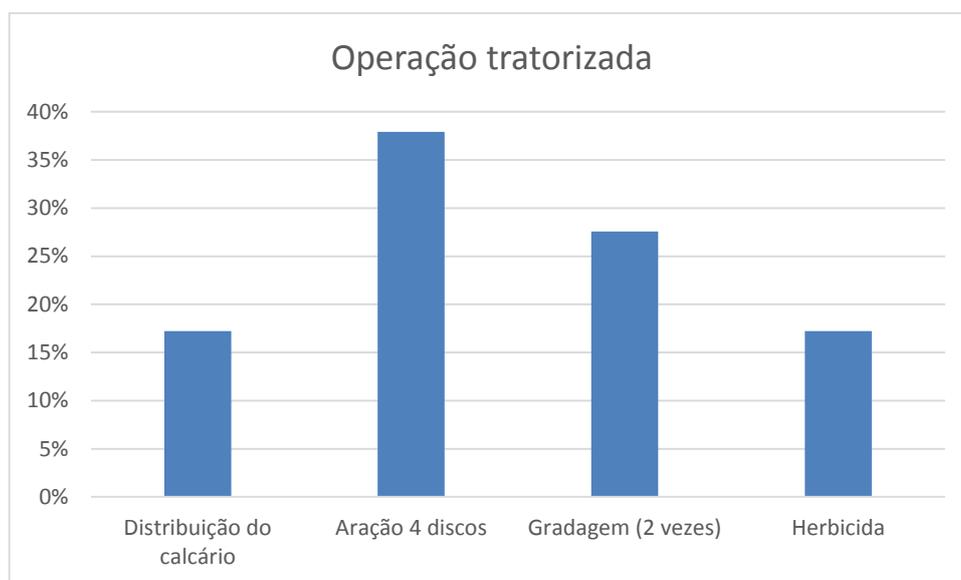


Figura 10: Participação das diferentes operações tratorizadas no consumo de energia direta relativa a combustíveis e lubrificantes, no preparo e correção de acidez do solo para a cultura do “massai”, no Rancho Rick.

B) PLANTIO

Na Tabela 5 temos as operações para o plantio e os consumos energéticos relativos a combustíveis e lubrificantes.

Tabela 5: Consumos de energia, em kJ, na forma de combustível e lubrificante para máquinas agrícolas, nas operações envolvidas no plantio e adubação da cultura do “massai” no Rancho Rick.

Operação	Coeficiente energético kJ.ha ⁻¹				Total por operação
	Óleo Diesel (l)	Óleo Lub. (l)	Óleo Diesel(kJ.l ⁻¹)	Óleo Lub.	
Plantio e adubação	56	0,45	2.157.960,00	17.332,20	90.637,18
Total	56	0,45	2.157.960,00	17.332,20	90.637,18

Nesta etapa consta apenas promover o plantio que é feito juntamente com a adubação através de uma semeadora-adubadora em uma mesma operação.

C) TRATOS CULTURAIS NA PLANTAÇÃO

No Rancho Rick, utilizou-se apenas uma vez a aplicação de herbicidas após o plantio. Podemos ter os seguintes valores:

Tabela 6: Consumos de energia, em kJ, na forma de combustível e lubrificante para máquinas agrícolas, na operação de aplicação de herbicida da cultura do “massai” no Rancho Rick.

Operação	Óleo Diesel (l)	Óleo Lub. (l)	Coeficiente energético kJ.ha ⁻¹		Total por operação
			Óleo Diesel(kJ.l ⁻¹)	Óleo Lub.	
Aplicação de herbicida	18,8	0,15	724.458,00	5.777,40	30.426,47
Total	18,8	0,15	724.458,00	5.777,40	30.426,47

3.3.3 Insumos e mão de obra

Os dispêndios energéticos relativos aos insumos e mão-de-obra para a implantação da cultura do capim “massai”, incluindo as etapas de preparo e correção do solo, plantio e tratos culturais, são reportados na Tabela 7, onde não se incluem os valores de energia empregados na forma de combustíveis e lubrificantes, apresentados anteriormente.

Tabela 7: Dispêndios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, na implantação do capim “massai”

	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
A) Preparo e correção do solo			
Calcário	kJ.kg ⁻¹	186,00	483.600,00
Herbicida	kJ.l ⁻¹	228.000,00	68.400,00
Mão-de-Obra	kJ.h ⁻¹	386,40	1.159,00
A) Plantio			
Sementes	kJ.kg ⁻¹	8.336,70	251.000,00
P2O5	kJ.kg ⁻¹	13.000,00	653.250,00
Ca	kJ.kg ⁻¹	7.840,00	350.187,00
S	kJ.kg ⁻¹	6.320,00	141.147,00
Mão-de-Obra	kJ.h ⁻¹	386,40	1.932,00

C) Tratos culturais

Herbicida	kJ.l^{-1}	228.000,00	68.400,00
Mão-de-Obra	kJ.h^{-1}	386,40	1.932,00
		2.021.007,00	

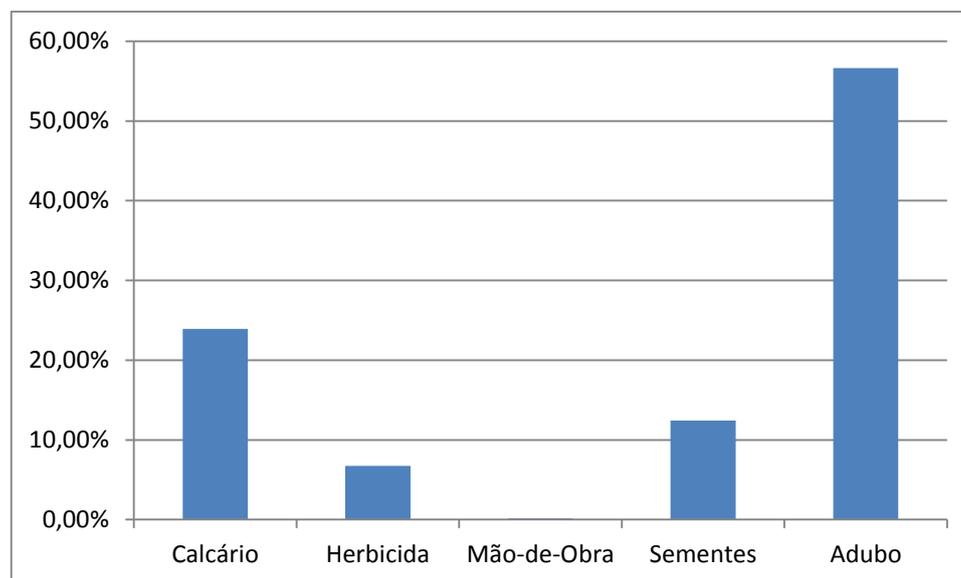


Figura 11: Participação dos diferentes insumos e mão-de-obra no consumo de energia para a implantação da cultura do capim "massai" no Rancho Rick.

De forma bem expressiva, os insumos da adubação foram preponderantes para a formação do custo energético. Este resultado é apresentado de forma similar em toda literatura pesquisada em diferentes culturas. As sementes, que, como afirma Ulbanere (1988), são as responsáveis reprodutoras por toda massa de produção, tiveram baixo custo energético relativo. A mão-de-obra foi composta apenas por um tratorista que realizou todo o trabalho e somando todas as horas de todos esses processos apresentou valor insignificante perante os demais itens.

3.3.4 Consumo de energia na manutenção anual

Como estamos calculando os dados deste balanço energético sobre a produção anual de feno, tivemos apenas um processo para a manutenção que foi uma cobertura de herbicida sobre a área plantada. Foi informado que o Rancho Rick utiliza deste procedimento apenas uma vez ao ano, devido a característica da forrageira em questão.

Tabela 8: Consumos de energia, em kJ por hectare, na forma de combustível e lubrificantes para máquinas agrícolas tratorizadas, na manutenção anual da cultura do capim “massai”.

Operação	Coeficiente energético kJ				Total por operação
	Óleo Diesel (l)	Óleo Lub. (l)	Óleo Diesel	Óleo Lub.	
Aplicação de herbicida	18,8	0,15	724.458,00	5.777,40	730.235,40
Total	18,8	0,15	724.458,00	5777,4	730.235,40

Tabela 9: Dispendios de energia relativos a serviços e insumos, excluindo gastos relativos a máquinas tratorizadas, para a manutenção anual da cultura do capim “massai”.

	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético	
Herbicida	kJ.l ⁻¹	228.000,00	68.400,00
Mão-de-Obra	kJ.h ⁻¹	386,40	1.545,60
			69.945,60

3.3.5 Consumo de energia na colheita e fenação

Na Tabela 10 abaixo estão os dados relacionados as parcelas de energia associadas a combustíveis e lubrificantes que foram consumidos nas operações tratorizadas relacionadas a colheita e o processo de enfardamento do capim “massai”.

Estes valores são referentes a produção anual, como informado anteriormente, em relação a dois cortes.

Tabela 10: Dispendios de energia relativos ao consumo por hectare e total de dois cortes anuais da cultura do capim “massai”.

	Valor energético do trator (kJ.ha ⁻¹)		Total da Operação
	Óleo Diesel	Óleo lubrificante	
Corte do capim	385.350,00	3.610,88	388.960,88
Esparramação (bater)	61.656,00	577,74	62.233,74
Enleiramento	61.656,00	577,74	62.233,74
Enfardamento	385.350,00	3.610,88	388.960,88
Total por operação	894.012,00	8.377,23	902.389,23

De acordo com levantamento dos dados informados pelo Rancho Rick, os gastos de combustível e tempo das etapas de corte e enfardamento são semelhantes, assim como a etapa de (esparramar) bater e enleiramento do capim também. Foi descartado o cálculo do consumo com o transporte pelo fato da área plantada situar a aproximadamente 100 m das instalações de armazenamento.

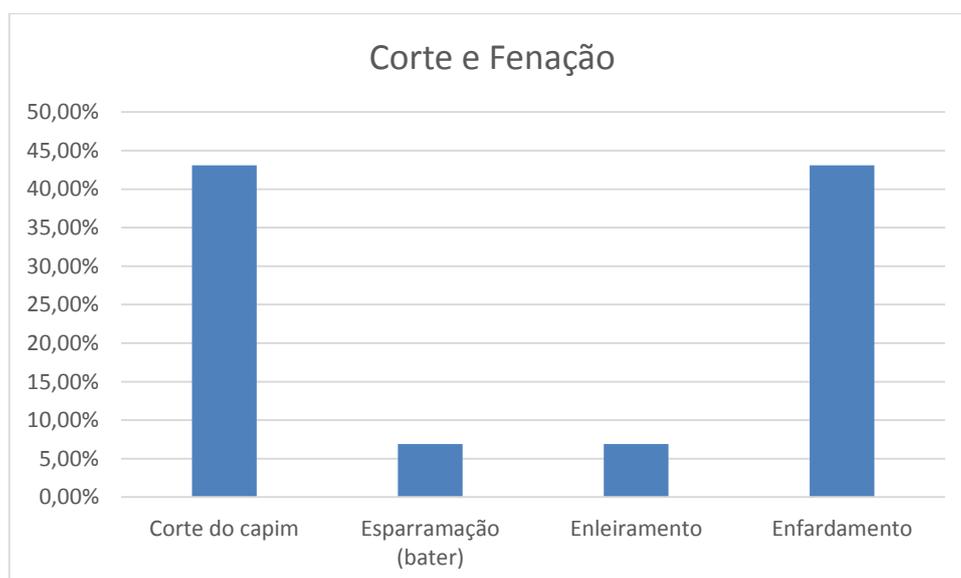


Figura 12: Participação percentual das etapas de corte e fenação na forrageira de capim “massai” no Rancho Rick.

A Tabela 11 nos mostra o dispendio de energia gasto no serviço braçal do tratorista nas etapas de corte e fenação e de dois ajudantes para o armazenamento dos fardos.

Tabela 11: Energia dispendida para trabalho de um homem no trator e dois homens para armazenamento gastos por hectare por ano.

	Coeficiente Energético		Consumo de Energia (kJ.ha ⁻¹)
	Unidade	Conteúdo Energético (kJ.h ⁻¹ .homem)	
Mão-de-Obra			
Processos de corte e fenação	5,8 h	386,40	2.241,12
Armazenamento	4 h	386,40	1.545,60

3.3.6 Energia indireta

A Tabela 12 em seguida, apresenta a energia empregada nas diversas máquinas, equipamentos e estruturas envolvidas em todas as etapas da implantação, manutenção e fenação do capim “massai”. Procurou-se agrupar o consumo de todas os itens envolvidos para um hectare em um ano de produção.

Tabela 12: Composição da energia indireta aplicada em equipamentos e estruturas.

Equipamento	DEE (kJ.h ⁻¹)	Implantação da Cultura	Manutenção Anual	Fenação 2 cortes	Total (kJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Trator Massey Ferguson 4275 4x4	26.670,00	32.004,00	5.334,00	309.372,00	346.710,00
Enfardadeira Nogueira AP 41	8.300,00	-	-	41.500,00	41.500,00
Cortadeira Nogueira SN 165	5.800,00	-	-	11.600,00	11.600,00
Enleirador e batedor HAYBOB Nogueira	3.140,00	-	-	5.024,00	5.024,00
Arado de 4 discos	22.880,00	10.296,00	-	-	10.296,00
Distribuidor de calcário	7.120,00	1.424,00	-	-	1.424,00
Pulverizador de barra 400 litros	9.300,00	1.860,00	1.860,00	-	3.720,00
Carreta de transporte 4m3	5.970,00				0,00
Galpões para armazenamento	-	-	-	176.670,00	176.670,00
					596.944,00

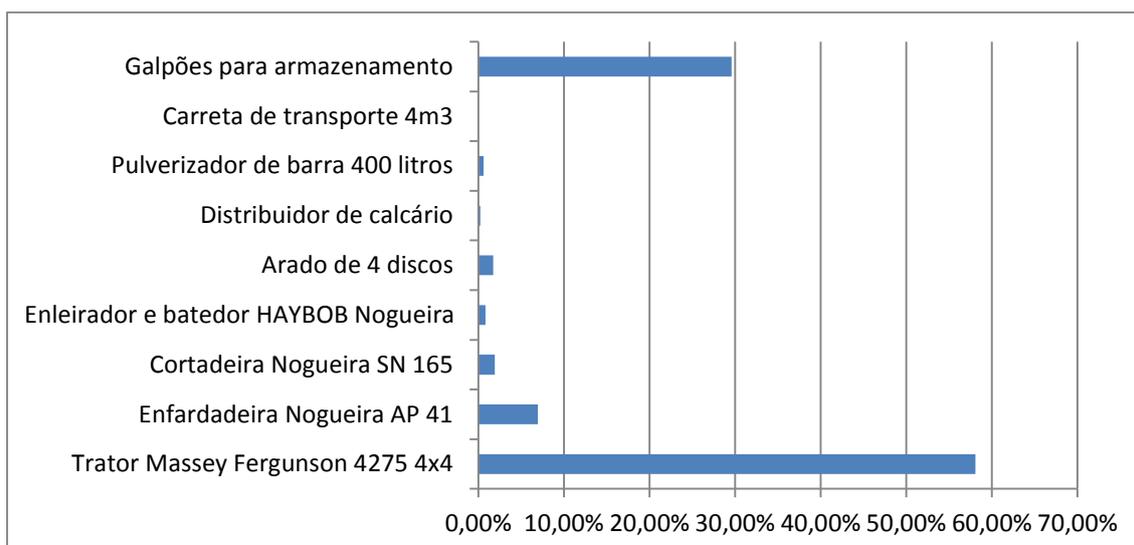


Figura 13: Participação percentual das máquinas, equipamentos e estrutura na composição da energia indireta na forrageira de capim "massai" no Rancho Rick.

Analisando o percentual de energia indireta através da figura 13, podemos notar que mais uma vez o trator teve seu valor de energia bem relevante em relação aos demais itens, pelo fato dele estar presente em todas as etapas da produção.

3.3.7 Síntese e consolidação do balanço energético

A contabilidade geral de energia utilizada em toda a produção do feno está relacionada na Tabela 13 logo abaixo.

Tabela 13: Balanço energético consolidado para a produção de feno a partir da forrageira de capim "massai".

"Inputs" de energia	Consumo MJ.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
ENERGIA INDIRETA	
Máquinas e equipamentos	420,30
Instalações	176,70
SUB-TOTAL ENERGIA INDIRETA	597,00
ENERGIA DIRETA	
Fertilizantes	
P ₂ O ₅	653,25

Ca	350,18
S	141,15
Calcário	483,60
Combustíveis e lub.	
Óleo diesel	1.263,40
Óleo lubrificante	11,07
Herbicidas	136,80
Sementes	1.050,00
Mão-de-obra	10,35
SUB-TOTAL ENERGIA DIRETA	4.099,80
TOTAL	4.696,80

Energia efetiva contida no feno de Capim "massai"	99.664,60
Eficiência energética	21,22

Segundo estudo realizado pela Sociedade Brasileira de Zootecnia, (Roston & Andrade, 1996), o valor calórico do NDT (nutrientes digestíveis totais) para volumosos secos e verdes foi de 4,633 kcal.g⁻¹. Convertendo para MJ.kg⁻¹ temos o valor de 21,22 kJ/kJ de feno de Capim massai seco como valor energético de referência para o capim "massai". A produção do Rancho Rick informada foi de 10,5 t.ha⁻¹. De acordo com a literatura pesquisada podemos obter como referência para o capim *Panicum Maximum*, 49% de matéria seca produzida, ou seja, teremos 5,14 t.ha⁻¹ de NDT. Chegamos então ao valor da energia despendida no processo produtivo de 99.664,60 MJ por hectare. Utilizando o conceito de eficiência energética tendo a relação "produção de energia utilizada pelo homem / inputs energéticos não gratuitos", chegamos ao valor de 21,22.

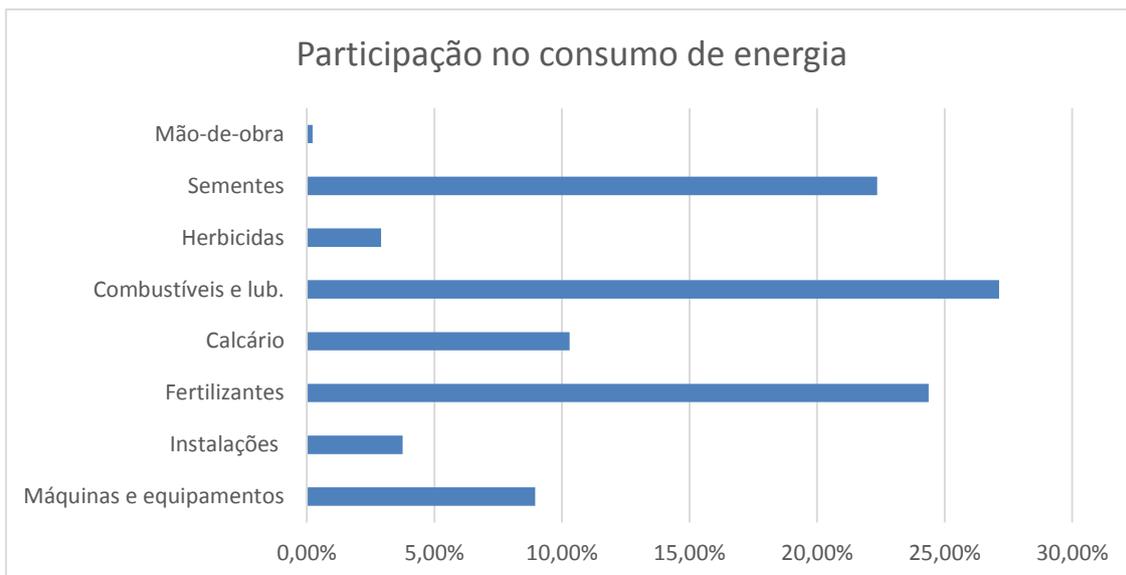


Figura 14: Síntese dos “inputs” na participação do consumo de energia de todo o processo de produção do feno.

O maior consumo de energia observado foi da energia direta, com 84,23% contra 15,77% da energia indireta. Pelo gráfico da figura 14 podemos destacar também o valor mais relevante dos combustíveis. Este valor só não foi mais elevado, devido ao trator utilizado em toda a produção ser um modelo recente (nova aquisição) e econômico em relação ao outro antigo pertencente a propriedade.

Itens como mão-de-obra, calcário, instalações e até mesmo os herbicidas, que têm uso essencial à produtividade da cultura, apresentaram valores de consumo energético desprezíveis na composição da matriz.

Em primeiro lugar no consumo energético, se apresentam os combustíveis seguido dos fertilizantes assim como citado no referencial teórico de outros vários estudos realizados.

4. CONCLUSÕES

Podemos destacar as seguintes conclusões de acordo com os resultados obtidos neste trabalho:

1. A cultura de capim “massai” apresentou alto nível de produtividade e de características nutricionais quando comparamos com outras forrageiras na literatura;
2. Podemos ver nitidamente o valor mais relevante para esse balanço durante todo o processo de produção, foi a energia empregada no uso de combustíveis. Juntos obtiveram 51,5% da energia empregada durante o ano por hectare.
3. Com base na literatura estudada, esperava-se um maior gasto de energia em relação ao consumo de óleo diesel, porém, este representou 27,13% de acordo com as informações do proprietário e operador do maquinário durante os processos produtivos. Este valor menor que o esperado se dá pelo fato do trator utilizado na produção ser novo e bem econômico em relação aos demais que a propriedade possui.
4. A produção de feno apresentou uma eficiência energética bem relevante e positiva em relação a outros estudos, 21,22. Vários fatores influenciaram neste resultado, como baixa manutenção entre cortes – apenas uma cobertura de herbicida, não irrigação – apenas dois cortes por ano, maquinário novo, armazenamento dos fardos em estruturas de madeira ou coberta com lonas ao ar livre. Todos estes itens citados foram relevantes na contabilização positiva da eficiência energética.

Como comparação de resultados podemos ter os seguintes valores de outras forrageiras como capim “cost-cross” com eficiência energética 4,28 e alfafa 3,19. (Campos, 2001).

5. Podemos finalizar então dizendo que esta produção se mostrou bastante eficiente, evidenciando a sustentabilidade energética da produção.

REFERÊNCIAS

- ALCORN, J.A.; BAIRD, G. Use of a hybrid energy analysis method for evaluating the embodied energy of building materials. *Renewable Energy*. Volume 8, (1-5), p. 319-322. May 1996.
- 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.
- EVANGELISTA, A.R., ROCHA, G.P. *Produção e utilização do feno*. Lavras: Coordenadoria de Extensão, 1995. 18p. (Circular Técnica, 35).
- 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.
- 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.
- BONNY, S. Is agriculture using more and more energy? A French case study. *Agricultural Systems*, Essex, UK, v.43, n.1, p.51-66, 1993.
- BOYELDIEU, J. *Rendement énergétique de la production agricole: les bilans d'énergie*. *Agriculture*, Paris, v.386, p.124-128, 1975.
- BUENO, O. C. *Eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá/SP*. Botucatu, 2002. 147f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- 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.
- CAMPOS, A. T. *Balanço energético relativo à produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite*. Botucatu, 2001. 267f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- CAMPOS, A. T. de; FERREIRA, W. A.; YAMAGUCHI, L. C. T.; REZENDE, H.; ALMEIDA, F. M. *Eficiência energética na produção de silagem de milho*. In:

Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 35, 1998, Botucatu. Anais... Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p. 293-95.

- CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. de. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-85, novembro, 2004.
- CAMPOS, A.T. et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, n.4, p.667-672, 2003.
- 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.; GONÇALVES, G. G.; RIBEIRO, J. J. C. Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de Torres. Oeiras: Instituto Gulbenkian de Ciência – Centro de Estudos de Economia Agrária, 1974. 79p.
- CHEN, T.Y. et alli. Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong. *Energy* 26 p. 323–340. Elsevier Science Ltd. 2001.
- 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
- 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.
- 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”).
- COSTA, NEWTON DE LUCENA (Editor). Formação, manejo e recuperação de pastagens em Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 219p.
- COSTANZA, R. Embodied energy and economic valuation. *Science*, N.Y. (USA), v.210, p.1219-1224, 1980.
- DELEAGE, J.P. et al. Eco-energetics analysis of an agricultural system: the French case in 1970. *Agro-ecosystems*, Amsterdam, v.5, p.345-365, 1979.

- 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. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton : CRC, 1980. p.9-14.
- DOVRING, F. Energy use in Unites States agriculture: a critique of recent research. *Energy in Agriculture*, v.4, p.79-86, 1985
- EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota Técnica: “Cenário econômico 2050”. Rio de Janeiro/RJ. 2014.
- FLUCK, R.C. Net energy sequestered in agricultural labor. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.24, n.6, p.1449-55, 1981.
- FLUCK, R.C. To evaluate labor energy in food production. *Agric. Eng.*, v.57, n.1, p.31-2, 1976.
- GIAMPIETRO, M, G., PIMENTEL, D. Assessment of the energetics of human labour. *Agric., Ecosyst. Environ.*, v.32, n.3-4, p.257-72, 1990.
- 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.
- HELENE, M.E.M.; GRAÇA, G.M.; GOLDEMBERG, J. Etanol de madeira – balanço energético. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.33, n.9, p.1183-1191, 1981.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., 1984, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal : FCAV/UNESP, 1984. p.113-130.

- 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.
- OLIVEIRA, L. C. Perspectivas para eletrificação rural no novo cenário econômico-institucional do setor elétrico Brasileiro. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001. 116 p. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Silsoe, v.52, n.2, p.111-119, 1992.
- 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., 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.
- QUESADA, G.M.; COSTA BEBER, J.A.; SOUZA, S.P. Balanços energéticos: uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.39, n.1, p.20-28, 1987.
- REIS, R.A., MOREIRA, A.L., PEDREIRA, M.S. Técnicas para produção e conservação de fenos de forrageiras de alta qualidade. In: *Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas. Anais do Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas*. JOBIM, C. C.; CECATO, U.; DAMASCENO, J. C.; SANTOS, G. T. dos. (eds) – Maringá : UEM/CCA/DZO, 2001. 319P.
- SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.51, n.3, p.301-310, 1994.
- SALLA, D. A.; CABELLO, C. Análise de desempenho energético dos cultivos da mandioca, cana-de-açúcar e milho em função da extração/exportação de macronutrientes para produção sustentável de etanol. Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2007.
- SANTOS, H.P. et al. Conversão e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, n.2, p.191-198, 2001.
- 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. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.29, n.7, p.1075-1081, 1994.
- SAVIDAN, Y. H. ; JANK, L.; COSTA, J. C. G. Registro de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum*. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC. 1990. 68p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 44).
- SEIXAS, J.; MARCHETTI, D. Produção e consumo de energia na agricultura. Planaltina: EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1982. 15p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 3).
- SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.19, n.1, p.80-89, 1999.
- 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.
- TRELOAR, G.J. et al. Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities. Facilities, vol. 19, number 3/4, p. 139-149. Emerald, Bradford. ISSN 0263-2772, UK, 2001.
- TSATSARELIS, C.A. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v.43, n.2, p.109-118, 1993.
- 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.
- WILTING, H.C. An energy perspective on economic activities. Doctoral Thesis, Rijksuniversiteit Groningen, Holanda, 1996. ISBN 90-367-0679-3.
- ZANINI, A.; CAMPOS, A. T.; PRESTES, T. M. V.; DALMOLIN, M. F. S.; CAMPOS, A. T. de; KLOSOWSKI, E. S. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. Acta Scientiarum Animal Sciences, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.
- ZUCCHETTO, J.; JANSSON, A-M. Total energy analysis of Gotland's agriculture: a northern temperature zone case study. Agro-ecosystems, Amsterdam, v.5, p.329-344, 1979.