

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO NA  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA ADUBAÇÃO INORGÂNICA  
SINTÉTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**ANDRÉIA FRANCO INNOCENTE**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutora  
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Fevereiro - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO NA  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA ADUBAÇÃO INORGÂNICA  
SINTÉTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**ANDRÉIA FRANCO INNOCENTE**

**Orientador:** Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Fevereiro – 2015

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

I58a Innocente, Andréia Franco, 1983-  
Análise energética da aplicação de torta de filtro na substituição parcial da adubação inorgânica sintética da cana-de-açúcar / Andréia Franco Innocente. - Botucatu : [s.n.], 2015  
xi, 126 f. : ils. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2015  
Orientador: Osmar de Carvalho Bueno  
Inclui bibliografia

1. Bagaço de cana. 2. Adubação. 3. Resíduos como fertilizantes. 4. Análise energética. I. Bueno, Osmar de Carvalho. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ANÁLISE ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO NA  
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA ADUBAÇÃO INORGÂNICA SINTÉTICA  
DA CANA-DE-AÇÚCAR"

ALUNA: ANDREIA FRANCO INNOCENTE

ORIENTADOR: PROF. DR. OSMAR DE CARVALHO BUENO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. OSMAR DE CARVALHO BUENO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. OSMAR DELMANTO JUNIOR

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. GERSON HENRIQUE DA SILVA

  
\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. CARMEM OZANA DE MELO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOSÉ ROBERTO CORREA SAGLIETTI

Data da Realização: 03 de fevereiro de 2015

*Dedico este trabalho aos meus amados filhos Heitor e Maria Luísa, que me mostraram que não há nada maior e mais verdadeiro do que o amor de uma mãe por seu filho. Obrigada, meus anjos, pela oportunidade de experimentar a mais pura forma de amor.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente em minha vida, e pela graça de ter me permitido concluir este trabalho.

Aos meus pais Fernando Odair e Maria Aparecida, sempre presentes, dando-me todo amor e carinho. Obrigada por dividir este sonho comigo e ajudar-me a conquista-lo.

Ao meu marido André, meu companheiro incondicional, que sempre me deu força e coragem nos momentos de dificuldade.

A toda minha família (irmãos, cunhadas, sogros e sobrinhos), pelo apoio para que eu concluísse esta etapa da minha vida, em especial a minha cunhada e amiga Miriam, pela ajuda na obtenção dos dados junto à usina.

Ao meu orientador Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno, pelos ensinamentos, apoio e confiança durante a realização do trabalho.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Usina São Manoel, por permitir a realização do trabalho, e a seus funcionários, em especial ao Engenheiro Guilherme Guine Pinto Ferreira, pela disponibilização dos dados necessários.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE APÊNDICES.....	XI
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1 A cultura da cana-de-açúcar.....	8
4.2 Nutrição e adubação da cana-de-açúcar.....	11
4.3 Os subprodutos da indústria sucroenergética.....	20
4.3.1 Bagaço.....	22
4.3.2 Levedura.....	23
4.3.3 Vinhaça.....	23
4.3.4 Torta de filtro.....	24
4.4 O uso da torta de filtro na adubação da cana-de-açúcar.....	25
4.5 Análise energética.....	36
4.5.1 Classificação das energias.....	39
4.5.2 Entradas energéticas.....	41
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
5.1 Área de estudo.....	59
5.2 Descrição do itinerário técnico.....	62
5.2.1 Sistema de adubação sem aplicação de torta de filtro (STF).....	62
5.2.2 Sistema de adubação com aplicação de torta de filtro (CTF).....	64
5.3 Análise energética.....	65
5.3.1 Cálculo das entradas energéticas.....	67
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
6.1 Entradas energéticas por etapa do itinerário técnico.....	75
6.1.1 Adubação sem torta de filtro.....	76
6.1.2 Adubação com torta de filtro.....	79
6.2 Matriz energética dos sistemas de adubação.....	87

7 CONCLUSÕES.....	96
8 REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE.....	115



## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1 - Principais constituintes da cana-de-açúcar.....	10
Tabela 2 - Produção e produtividade da cana-de-açúcar.....	11
Tabela 3 - Adubação de plantio com base na análise de solo visando altas produtividades.....	13
Tabela 4 - Adubação mineral de cana-soca em função da expectativa de produtividade.....	14
Tabela 5 - Recomendação de adubação para cana-soca, baseada nas análises de solo.....	14
Tabela 6 - Composição média da torta de filtro.....	27
Tabela 7 - Composição mineral da matéria seca da torta de filtro.....	31
Tabela 8 - Características químicas e teor de umidade da torta de filtro.....	32
Tabela 9 - Características químicas da torta de filtro.....	35
Tabela 10 - Contribuição energética da mão de obra no cultivo de algumas matérias-primas usadas para a produção de biocombustível.....	44
Tabela 11 - Coeficientes energéticos relativos a mão de obra adotado por alguns pesquisadores.....	47
Tabela 12 - Coeficientes energéticos relativos ao óleo diesel e lubrificante adotados por alguns pesquisadores.....	49
Tabela 13 - Coeficientes energéticos relativos ao biodiesel adotados por alguns pesquisadores.....	50
Tabela 14 - Coeficientes energéticos relativos a máquinas e implementos adotados por alguns pesquisadores.....	52
Tabela 15 - Energia necessária para produzir, embalar, transportar e aplicar os fertilizantes inorgênicos.....	55
Tabela 16 - Coeficientes energéticos relativos a fertilizantes inorgânicos sintéticos adotados por alguns pesquisadores.....	57
Tabela 17 - Produção e aplicação de torta de filtro e adubo IS líquido na usina São Manoel.....	61
Tabela 18 - Porcentagem média de importação de alguns fertilizantes no Brasil, 2012/2013.....	68

Tabela 19 - Valor calórico total por hectare dos fertilizantes utilizados na adubação da cultura da cana-de-açúcar sem e com aplicação de torta de filtro.....	69
Tabela 20 - Valor calórico total por hectare dos fertilizantes contidos na torta de filtro.....	72
Tabela 21 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha <sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético STF.....	76
Tabela 22 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha <sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de sulcação e adubação STF.....	78
Tabela 23 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha <sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético CTF....	80
Tabela 24 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha <sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de sulcação e adubação CTF.....	82
Tabela 25 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha <sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de transporte de torta de filtro.....	84
Tabela 26 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha <sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de aplicação da torta de filtro.....	86
Tabela 27 - Estrutura de dispêndios por tipo, fonte e forma de energia para os sistemas de adubação STF e CTF na cultura de cana-de-açúcar.....	89

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1 - Produtividade da cana-de-açúcar em função das doses de $K_2O$ .....	17
Figura 2 - Produtos e subprodutos da cana-de-açúcar.....	21
Figura 3 - Subprodutos da agroindústria canavieira e seus respectivos usos alternativos.....	25
Figura 4 - Aplicação de torta de filtro no sulco de plantio.....	28
Figura 5 - Diferença no desenvolvimento da cana-de-açúcar com e sem aplicação de torta de filtro.....	29
Figura 6 - Localização e área dos talhões estudados.....	60
Figura 7 - Áreas de aplicação da torta de filtro de acordo com a variedade da cana- de-açúcar na usina São Manoel.....	61
Figura 8 - Operações realizadas na adubação inorgânica sintética da cana-de- açúcar.....	63
Figura 9 - Operações realizadas na aplicação da torta de filtro na cana-de-açúcar.....	65
Figura 10 - Classificação das entradas energéticas.....	66
Figura 11 - Etapas do itinerário técnico para os sistemas de adubação STF (sem aplicação da torta de filtro) e CTF (com aplicação de torta de filtro).....	67
Figura 12 - Conjunto do calorímetro: (A) agitador elétrico, (B) fonte que faz a ignição da pastilha no interior da bomba, (C) recipiente isolante térmico, (D) recipiente com água, (E) bomba calorimétrica, (F) termômetro de mercúrio.....	70
Figura 13 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético STF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.....	77
Figura 14 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de sulcação e adubação STF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.....	79
Figura 15 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético CTF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.....	81

Figura 16 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de sulcação e adubação CTF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.....	83
Figura 17 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de transporte de torta de filtro. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.....	85
Figura 18 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de aplicação da torta de filtro. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.....	87
Figura 19 - Estrutura de dispêndios por tipo, fonte e forma de energia para os sistemas de adubação (a) STF e (b) CTF na cultura de cana-de-açúcar.....	90
Figura 20 - Comparação das participações percentuais das entradas energéticas para os sistemas STF e CTF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.....	93
Figura 21 - Dependência dos sistemas de adubação STF e CTF de energia de fonte fóssil em função da porcentagem de biodiesel no combustível utilizado para abastecimento dos equipamentos.....	95

## LISTA DE APÊNDICES

	<b>Página</b>
Tabela AP1 - Jornada de trabalho, coeficientes de tempo de operação, mão de obra utilizada, modelo de máquina e/ou implemento, consumo de óleo diesel, lubrificante, e outros dados de referência por operação do itinerário técnico da adubação sem aplicação de torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar. (ÁREA DE 34,47 ha).....	116
Tabela AP2 - Jornada de trabalho, coeficientes de tempo de operação, mão de obra utilizada, modelo de máquina e/ou implemento, consumo de óleo diesel, lubrificante, e outros dados de referência por operação do itinerário técnico da adubação com aplicação de torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar. (ÁREA DE 35,63 ha).....	117
Tabela AP3 - Peso de embarque dos tratores e pesos dos caminhões, implementos e pneus utilizados no transporte e aplicação de adubo e torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar.....	119
Tabela AP4 - Número, localização e massa dos contrapesos.....	120
Tabela AP5 - Locais de lubrificação, volume utilizado, especificação do lubrificante e momento de troca por caminhão e trator utilizado no itinerário técnico do transporte e aplicação de adubo e torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar.....	121
Tabela AP6 - Vida útil e horas de uso por ano dos caminhões, máquinas e implementos agrícolas.....	123
Tabela AP7 - Determinação do consumo de óleo diesel, biodiesel e lubrificante no transporte e aplicação de adubo e torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar.....	124
Tabela AP8 - Composição química da torta de filtro.....	126

## 1 RESUMO

Os fertilizantes inorgânicos sintéticos possuem elevada dependência de energia externa de fonte não renovável. O uso indiscriminado dessa energia esgotável ameaça a sustentabilidade dos sistemas de produção e colabora para a degradação do meio ambiente. Como forma de minimizar o consumo de energia de fonte fóssil e aumentar a eficiência energética de sistemas agrícolas, a torta de filtro, subproduto do processamento industrial da cana-de-açúcar, pode ser usada para substituição parcial da adubação inorgânica sintética na cultura da cana-de-açúcar. O presente trabalho teve como objetivo analisar os fluxos energéticos envolvidos na aplicação da torta de filtro para fertilização da cultura de cana-de-açúcar na usina São Manoel e compará-los aos mesmos fluxos quando utilizados somente fertilizantes inorgânicos sintéticos sem a aplicação da torta de filtro. Foram utilizados neste estudo dados de fontes primárias e secundárias. As entradas energéticas foram classificadas e quantificadas conforme o seu tipo (energias diretas e energias indiretas), sendo a direta dividida em energia biológica e fóssil e, a indireta, energia industrial. A energia direta de origem biológica foi composta por mão de obra, biodiesel e torta de filtro; como energia direta de origem fóssil foram quantificados óleo diesel, lubrificante e adubo inorgânico sintético nitrogenado; a energia indireta de origem industrial foi obtida para máquinas, implementos, equipamentos e adubos inorgânicos sintéticos (NPK). Parte do custo energético com o adubo inorgânico sintético nitrogenado (34,2%) foi realocado para fonte de origem fóssil para que a classificação das entradas energéticas se tornasse mais próxima da realidade. Os resultados apontaram que o sistema de adubação sem torta de filtro possui menor dependência de combustíveis provenientes de fontes externas

fósseis. Para o sistema de adubação com torta de filtro, algumas alternativas poderiam ser adotadas pela usina em estudo para reduzir o uso de combustíveis fósseis, especificamente o óleo diesel, que é o maior colaborador para as entradas energéticas não renováveis neste sistema: (a) Reduzir o volume de torta de filtro aplicada por meio da sua compostagem ou condicionamento para redução da umidade; (b) Substituir o óleo diesel por outro combustível com menor impacto ambiental e de fonte não esgotável como, por exemplo, biodiesel com porcentagens superiores a 55 % de biodiesel e inferiores a 45 % de óleo diesel.

---

**Palavras-chaves:** análise energética, cana-de-açúcar, torta de filtro, adubo inorgânico sintético.

ENERGY ANALYSIS OF FILTER CAKE USE ON THE PARTIAL SUBSTITUTION OF SYNTHETIC INORGANIC FERTILIZERS IN SUGARCANE. Botucatu, 2015. 126 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANDRÉIA FRANCO INNOCENTE

Adviser: OSMAR DE CARVALHO BUENO

## **2 SUMMARY**

Synthetic inorganic fertilizers highly depend on external energy from nonrenewable resources. The indiscriminate use of these finite energy resources threatens the sustainability of production systems and contributes to environmental degradation. As a means to minimize fossil fuels consumption and improve energy efficiency of agricultural systems, filter cake, a by-product of sugarcane processing, can be used for the partial substitution of synthetic inorganic fertilizers in sugarcane cultivation. The current work aims at analyzing the energy flows involved in the use of filter cake for sugarcane fertilization at Usina São Manoel and at comparing it with the same flows when only synthetic inorganic fertilizers are used without filter cake. We used primary and secondary data for this study. The energy inputs were classified and quantified according to their types (direct energy or indirect energy), considering that direct energy is divided in biological or fossil and indirect energy as industrial energy. The direct energy from biological origin was composed of manpower, biodiesel and filter cake; as direct energy from fossil origin, we quantified diesel oil, lubricant and synthetic inorganic fertilizers with nitrogen; the indirect energy from industrial origin was obtained for machines, implements, equipment and synthetic inorganic fertilizers (NPK). Part of the energy cost with the synthetic inorganic fertilizers with nitrogen (34.2%) was relocated to a fossil resources for the classification of the energy inputs to become closer to reality. It was obtained as a result that fertilization systems without filter cake depend less on fuels from external fossil resources. For the filter cake fertilization system, some alternatives could be adopted by the factory under study for reducing the use of fossil fuels, specifically diesel oil, which is the biggest contributor to nonrenewable energy inputs in this system: (a) To reduce the amount of filter cake through its composting or its conditioning for humidity reduction; (b) To substitute diesel oil for another fuel with less environmental



impact and from renewable resources, as biodiesel with biodiesel percentages bigger than 55% and diesel oil percentages smaller than 45%.

---

**Keywords:** energy analysis, sugarcane, filter cake, synthetic inorganic fertilizers.

### 3 INTRODUÇÃO

Segundo a UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar, 2014a), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Porém, o setor sucroenergético atravessa um período de crise econômica (financeira). Essa crise está levando os usineiros a utilizarem cada vez mais os subprodutos do processamento da cana-de-açúcar que têm ganhado destaque no mercado. Um dos subprodutos de grande disponibilidade gerado no processamento da cana-de-açúcar é a torta de filtro, que pode ser usada como fertilizante. Esse produto teve seu uso aumentado a partir de 1999 devido a uma elevação significativa no preço dos adubos inorgânicos sintéticos.

A torta de filtro é um subproduto proveniente da fabricação de açúcar e álcool, mais especificamente do processo de tratamento e clarificação do caldo da cana-de-açúcar, sendo composta por bagaço moído e lodo da decantação. São produzidos cerca de 30 a 40 kg de torta de filtro para cada tonelada de cana-de-açúcar moída, e a elevada quantidade de matéria orgânica e de outros elementos essenciais à nutrição das plantas fornecidos pela torta de filtro permitem que a mesma seja rotineiramente usada na substituição parcial de adubos inorgânicos sintéticos.

Trabalhos têm mostrado um aumento na produtividade da cana-de-açúcar advindo do uso da torta na adubação, que pode ser realizada tanto no plantio quanto na soqueira (FRAVET et al., 2010; MOURA FILHO; SILVA e MOURA, 2011; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011; SOUZA, 2013). Sua produção é diretamente proporcional à quantidade de cana-de-açúcar moída e à quantidade de impurezas do caldo. Assim, não é possível utilizar o composto em toda a área de produção apenas com as quantidades produzidas em

cada unidade industrial. Desse modo, seu uso é restringido a cortes mais novos (primeiro e segundo corte) e aos plantios, bem como em áreas mais pobres em termos de matéria orgânica.

A torta de filtro contém umidade elevada, de 75% a 80%, imediatamente após sair do filtro rotativo, característica essa que é vantajosa para a manutenção da umidade e da temperatura do sulco de plantio, principalmente em épocas de inverno nas Regiões Sul e Sudeste, promovendo um ambiente adequado à brotação da cana.

Outra vantagem atribuída ao uso da torta de filtro refere-se ao fornecimento de nutrientes ao solo devido a sua composição química. O fósforo, elemento essencial para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, é predominante na composição química da torta, que contém também cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio e micronutrientes.

Atualmente, a agricultura brasileira, assim como qualquer outra atividade econômica, vem passando pela crise energética. A população vem crescendo e aumentando a necessidade de produção de alimentos, o que constitui um grande problema, visto que um aumento na produtividade demanda, na maior parte dos casos, um maior consumo de energia. Essa energia requerida é normalmente proveniente de fonte fóssil, sendo consumida por meio da utilização de insumos como adubos inorgânicos sintéticos, pesticidas, herbicidas, máquinas e equipamentos. O uso indiscriminado dessa energia e sua possível escassez no futuro ameaçam a sustentabilidade dos sistemas de produção e causam a degradação do meio ambiente, já que sua queima libera vários gases responsáveis por poluição atmosférica, efeito estufa, contaminação de recursos hídricos, entre outros fatores nocivos ao meio ambiente.

Nesse sentido, é importante reordenar os sistemas de produção agrícola de modo a diminuir sua dependência de fontes de energia não renovável buscando novas fontes de energia que não ameacem o meio ambiente.

Uma forma de minimizar o consumo de energia de fonte não renovável e conseqüentemente aumentar a eficiência energética dos sistemas agrícolas se dá com a redução da aplicação de adubo inorgânico sintético, visto que o mesmo possui elevada dependência de energia externa de fonte fóssil.

A substituição parcial do adubo inorgânico sintético pela torta de filtro na cultura de cana-de-açúcar pode trazer balanços energéticos positivos, evidenciando a importância de realizar a avaliação energética das alternativas de adubação da cana-de-

açúcar com e sem a torta de filtro. Essas análises permitirão constatar a sustentabilidade dos sistemas no âmbito energético bem como verificar seus impactos ambientais, pois mostra o fluxo de energia não renovável, avaliando-se a possibilidade do uso contínuo da torta de filtro em substituição parcial ao adubo inorgânico sintético.

A Usina Açucareira São Manoel S.A., localizada no município de São Manuel, estado de São Paulo, cultiva, atualmente, aproximadamente 41,5 mil hectares de cana-de-açúcar para produção de: a) açúcar cristal branco; b) álcool etílico hidratado carburante; c) levedura seca inativa. A torta de filtro, subproduto da produção industrial, sempre foi incorporada ao solo agrícola na cultura de cana-de-açúcar. Na safra 2013/2014, 3.350 ha de cana-de-açúcar foram cultivados com a aplicação de 68.450 toneladas de torta de filtro (aproximadamente 20 toneladas de torta por hectare) que substituíram, na adubação da cana-de-açúcar, 90 toneladas de amônia anidra (82% de N) e 580 toneladas de fosfato monoamônico (MAP – 52% de  $P_2O_5$ ). Isso mostra que o aproveitamento da torta de filtro por essa usina é significativo.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar os fluxos energéticos envolvidos na aplicação da torta de filtro para fertilização da cultura de cana-de-açúcar na usina São Manoel e compará-los aos mesmos fluxos quando utilizados somente fertilizantes inorgânicos sintéticos sem aplicação da torta de filtro. A hipótese do trabalho é que a substituição parcial da energia indireta de fonte industrial (adubos inorgânicos sintéticos) por energia direta de fonte biológica (torta de filtro) trará redução na entrada de energia não renovável para o sistema, visto que diminui a utilização de adubos inorgânicos sintéticos.

Analisados os principais fatores, foram verificados os pontos de desperdícios energéticos, propondo para que sejam aprimorados ou substituídos por componentes que gerem maior eficiência para os distintos sistemas produtivos.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta perene pertencente à família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum*. Atualmente, seus cultivares tem passado por melhoramentos genéticos a fim de encontrar híbridos de boa qualidade que resultem em maiores lucros. As espécies participantes da constituição genética desses híbridos são *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi* e *S. robustum*. Nas novas variedades, procura-se associar a rusticidade de espécies como a *S. spontaneum* às boas qualidades das variedades nobres de *S. officinarum* (FREIRE, 2001). A cana-de-açúcar pertence ao grupo de plantas C4, que possuem elevada eficiência fotossintética, sendo comumente cultivada nas regiões tropicais e subtropicais, pois necessita de uma época quente e chuvosa para o desenvolvimento vegetativo e de uma época fria e/ou seca para o enriquecimento em açúcares (PAOLIELLO, 2006).

A cana-de-açúcar apresenta melhor desenvolvimento e crescimento em regiões mais quentes; sua implantação e manejo são relativamente simples, de baixo custo e com produtividades que atingiram 120 t/ha/ano em 2012 (TOWNSEND, 2000; BRASIL, 2013). O Brasil, devido a sua extensão territorial, apresenta as mais variadas condições climáticas, sendo o único país produtor que realiza duas colheitas por ano: uma na região Norte-Nordeste, de dezembro a maio, e outra na Centro-Sul, de abril a novembro.

A cana-de-açúcar se desenvolve caracteristicamente na forma de touceiras com aproximadamente três metros de altura. Na parte aérea se encontram: a) os colmos, com nós e entrenós visíveis, casca lisa e cerosa, b) as folhas, com até 1,5 metro de comprimento, cerca de seis centímetros de largura e com disposição dística, nascem dos nós do caule, possuem a bainha que os envolve entre nós e têm uma nervura central distinta, saliente na parte inferior e c) inflorescências, reunidas em enormes pendões terminais, de coloração cinzento-prateada. A parte subterrânea é formada por raízes e rizomas (CANA-DE-AÇÚCAR..., 2014).

A cana-de-açúcar pode ser chamada de cana-planta no período que corresponde do plantio até o primeiro corte. O crescimento ocorre durante 12 ou 18 meses, de acordo com a época em que foi plantada. Ela pode ser denominada cana-de-açúcar de ano quando for plantada de setembro a outubro e colhida com cerca de 12 meses e, se for plantada de janeiro a março, ela cresce por volta de 18 meses e, portanto, pode ser denominada cana-de-açúcar de ano e meio. A cana-de-açúcar de segundo corte, que sofre rebrota, é chamada de cana soca. O canavial é colhido em média mais quatro vezes a partir da rebrota da cana-de-açúcar (ressocas), quando então ocorre a reforma da lavoura com uma cana-de-açúcar de ano ou de ano e meio (RUDORFF, 1995 apud ADORNA, 2011).

De acordo com Câmara (1993 apud ALMEIDA JÚNIOR, 2010), a alta produção de fitomassa por unidade de área, a riqueza em açúcar dos colmos industrializáveis e manutenção ao longo do tempo da produtividade e a qualidade da matéria-prima obtida são fatores importantes a serem considerados no processo produtivo da cana-de-açúcar.

Um dos componentes mais valiosos da cana-de-açúcar, segundo Rodrigues (1995), é a sacarose; assim, o rendimento econômico da cultura é dado principalmente pela sua produção. A produção de açúcares não redutores utilizados para formar o melaço e a fibra usada como fonte de energia para a própria indústria também podem compor o rendimento econômico. Considera-se também o processamento industrial da cana-de-açúcar voltado à produção de etanol, que pode ser usado como combustível ou como insumo da indústria química. Alguns países utilizam a produtividade, dada pelo peso dos colmos por área de terreno, para calcular o rendimento da cana-de-açúcar. Outros países fazem esses cálculos por meio da quantidade de açúcar obtido por hectare de cana-de-açúcar plantada, sendo estes valores comumente situados entre 7% a 13%.

Os principais constituintes da cana-de-açúcar são representados na Tabela 1. A substância mais importante presente na cana-de-açúcar, conforme mencionado, é a sacarose, que é um dissacarídeo formado por uma molécula de glicose e uma de frutose (LANZOTTI, 2000).

Tabela 1 – Principais constituintes da cana-de-açúcar.

<b>Constituintes</b>	<b>Sólidos solúveis (%)</b>
<b>Açúcares</b>	<b>75 a 93</b>
Sacarose	70 a 91
Glicose	2 a 4
Frutose	2 a 4
<b>Sais</b>	<b>3 a 5</b>
De ácidos inorgânicos	1,5 a 4,5
De ácidos orgânicos	1 a 3
<b>Proteínas</b>	<b>0,5 a 0,6</b>
Amido	0,001 a 0,05
Gomas	0,3 a 0,6
Ceras e graxas	0,05 a 0,15
Corantes	3 a 5

Fonte: Copersucar (2010).

A cana-de-açúcar, quando moída, produz de 60% a 75% de suco doce e potável (garapa ou caldo de cana-de-açúcar), rico em açúcares vegetais como glicose, sacarose e sais minerais. Para a produção de açúcar, o caldo é limpo por meio de decantação e as impurezas (torta de filtro) são retiradas por filtro prensa. O caldo limpo, quando submetido à evaporação, produz um melaço ou xarope, que, por meio de diferentes tratamentos, dá os diversos tipos de açúcar encontrados no comércio: refinado, cristal, mascavo, demerara, rapadura, etc. A torta de filtro é transportada em caminhões para a lavoura e é usada como adubo. A garapa fermentada também pode produzir o vinho que, através da destilação, fornece aguardente ou álcool combustível, de acordo com a regulagem na destilação, além de diversos outros componentes. O líquido que sobra no processo de destilação, chamado de vinhaça, é usado na fertirrigação da própria lavoura de cana-de-açúcar. O bagaço obtido após a moagem dos colmos pode ser usado na fabricação de papel; as cinzas desse bagaço, usadas como adubo potássico-fosfatado (CRISPIM; VIEIRA, 2009; SOUZA, 2005).

No Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada desde a época da colonização. Por volta de 1515, as primeiras mudas foram trazidas da Ilha da Madeira (Portugal). Em 1532, construiu-se o primeiro engenho de açúcar na capitania de São Vicente

(região sudeste). Historicamente, a cana-de-açúcar sempre foi um dos principais produtos agrícolas do Brasil e o continua sendo até hoje. Na economia do país, a cultura de cana-de-açúcar também foi importante desde o período dos engenhos coloniais, fazendo com que técnicos busquem, a todo instante, maneiras de aperfeiçoar o cultivo da planta para torná-la mais produtiva e resistente, entre outras vantagens agronômicas (LERAYER, 2009). Assumindo importância nos cenários econômicos, políticos, sociais e ambientais brasileiros, a cana-de-açúcar é uma das culturas mais significativas da agroindústria nacional.

Em 2012, o setor sucroalcooleiro representou 2% do PIB nacional e 31% do PIB da agricultura no Brasil (BIOSEV, 2013). O país é hoje o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com 658,82 milhões de toneladas na safra 2013/2014 e uma estimativa de 671,69 milhões de toneladas na safra 2014/2015, ou seja, estima-se um aumento de 2,0 % (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014). É também o maior produtor mundial de açúcar, responsável por 25% da produção mundial e 50% das exportações mundiais, além de ser o segundo produtor mundial de etanol, responsável por 20% da produção mundial e 20% das exportações mundiais. O parque industrial compreende cerca de 430 unidades produtoras, gerando cerca de 1,2 milhões de empregos diretos (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2014b).

As principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do país são a Centro-Sul, sendo o Estado de São Paulo responsável por mais de 50% da produção, e a região Norte/Nordeste, conforme dados da Tabela 2 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014).

Tabela 2 – Produção e produtividade da cana-de-açúcar.

Região	Produção (milhões de toneladas)	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )
	2014/2015	2014/2015
Centro-Sul	612,91	75,85
Norte/Nordeste	58,78	55,99

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento (2014).

#### 4.2 Nutrição e adubação da cana-de-açúcar

Para Faquim (2005), a adubação das espécies vegetais tem como finalidade adicionar os nutrientes que a planta precisa para sua sobrevivência, fazendo com



que as colheitas sejam compensadoras e com produtos de boa qualidade nutritiva e/ou industrial. Tudo isso aliado à mínima perturbação do meio ambiente. O uso de fertilizantes sempre será necessário quando o fornecimento dos nutrientes pelo solo for menor que o requerido pela cultura.

Difícilmente o solo fornece às plantas todos os nutrientes para que elas se desenvolvam adequadamente, portanto a adubação é uma atividade importante para a agricultura. De acordo com Santiago e Rossetto (2014b), a fim de aumentar a produtividade da cultura, a adubação orgânica sempre deverá ser a primeira opção do agricultor, seguida da adubação mineral quando a primeira for impossibilitada.

Segundo Lima et al. (2006) e Rossetto e Dias (2005), a adubação é capaz de melhorar o desempenho das culturas e de aumentar as produtividades, pois atua como fonte de reposição dos nutrientes à fertilidade natural do solo.

A utilização de fertilizantes deve ser feita de forma criteriosa e equilibrada, sendo que o solo deve ser usado conservando sua fertilidade em equilíbrio com o meio ambiente (FAQUIM, 2005). A máxima produtividade técnica da cultura deve ser obtida adicionando os nutrientes necessários e em quantidades adequadas durante a adubação. O cálculo da quantidade de nutrientes e conseqüentemente de fertilizantes que o solo necessita para o bom desenvolvimento da cultura pode ser feito pela diferença estabelecida entre os nutrientes requeridos pela planta e os nutrientes fornecidos pelo solo multiplicado pelo chamado fator  $F$  (SANTIAGO; ROSSETTO, 2014a). O fator  $F$  corresponde à eficiência do uso do fertilizante pelas raízes da planta devido a algumas perdas que podem ocorrer entre a aplicação do fertilizante e a absorção dos nutrientes pela planta. Erosão, lixiviação, fixação no caso do fósforo, volatilização no caso da uréia e desnitrificação biológica do nitrato são processos que envolvem as possíveis perdas que podem ocorrer. Em um sistema convencional, o fator  $F$  para  $N$ ,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  é de 2; 3 a 5 e 1,5, respectivamente, considerando um aproveitamento de 50 a 60% de  $N$ , 20 a 30% de  $P_2O_5$  e 70% de  $K_2O$  (VITTI, 2010; VITTI et al., 2005).

De acordo com Vitti et al. (2005), para a cultura de cana-de-açúcar, o primeiro parâmetro da equação deve levar em conta de quais nutrientes a planta necessita, as quantidades de nutrientes necessárias para um determinado nível de produtividade, a época de aplicação e a localização de nutrientes.

Para Rossetto e Dias (2005), a análise química do solo colabora para conhecer o teor de nutrientes do mesmo e, conseqüentemente, a disponibilidade desses para

a cana-de-açúcar, sendo importante, portanto, que a amostragem de solo que representará toda a área que se pretende adubar seja feita com bastante critério. Além da análise do solo, conhecer o histórico da área – o manejo realizado anteriormente e respectivo desempenho da(s) cultura(s) – também é interessante visto que aponta indícios que contribuem para a recomendação da adubação.

Os nutrientes que devem ser fornecidos para o desenvolvimento da cana-de-açúcar por meio da adubação são os macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; também os micronutrientes: boro, cobre, manganês, molibdênio e zinco.

A cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Coelho e Verlengia (1973 apud SILVA, C. T. S. et al., 2009), requer pequena quantidade de nutrientes até o quinto mês de idade. Ocorre, então, um aumento significativo entre o quinto e o nono mês, atingindo o conteúdo de 50% de potássio, cálcio e magnésio e um pouco mais de 30% de nitrogênio, fósforo e enxofre do total que absorve durante o ciclo vegetativo. Nos três meses subsequentes, a absorção do nitrogênio aumenta acentuadamente acumulando 90% do total extraído pela planta. O fósforo é absorvido durante todo o ciclo da planta. Uma tonelada de colmos frescos extraem 1,32 kg de nitrogênio, 0,17 kg de fósforo, 1,33 kg de potássio, 0,19 kg de cálcio, 0,31 kg de magnésio e 0,12 kg de enxofre.

Segundo Vitti e Mazza (2002) e Vitti et al. (2005), a adubação no plantio é realizada no sulco e deve levar em consideração a análise de solo para determinar os teores de P e K que necessitam ser aplicados. Em relação ao N, considera-se o histórico da área para a recomendação, sendo essa em média de 30 a 40 kg de N ha<sup>-1</sup> (Tabela 3).

Tabela 3 – Adubação de plantio com base na análise de solo visando altas produtividades.

<b>N</b> <b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>P-resina</b> <b>mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> <b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>K</b> <b>mmolc dm<sup>-3</sup></b>	<b>K<sub>2</sub>O<sup>(2)</sup></b> <b>kg ha<sup>-1</sup></b>
40	0-6 <sup>(1)</sup>	170	<0,7	170
40	7-15 <sup>(2)</sup>	150	0,8-1,5	140
40	16-40	100	1,6-3,0	110
40	>40	70	3,1-5,0	80
			>5,0	0

(1) Em solos com teor de argila < 25% utilizar 100 a 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> em área total, acrescidos de 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> no sulco de plantio.

(2) Em Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos) e Latossolos aplicar no máximo 100 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> no sulco de plantio, e o restante em cobertura, antes do fechamento do canavial.

Fonte: Vitti e Mazza (2002).

Para a fase da cultura compreendida como cana-soca, é recomendado aproximadamente 1,0 kg de nitrogênio por tonelada de colmos esperada. A quantidade de potássio deve ser decidida de acordo com as expectativas de produtividade e com os teores de potássio da análise de solo (amostragem da soqueira), quando disponíveis. A relação N:K<sub>2</sub>O da adubação deve sempre se manter na faixa de 1:1 a 1:1,5 (Tabela 4 e Tabela 5) (VITTI et al., 2005 e VITTI e MAZZA, 2002).

Tabela 4 – Adubação mineral de cana-soca em função da expectativa de produtividade.

<b>Produtividade esperada</b> <b>t ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b> <b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b> <b>kg ha<sup>-1</sup></b>
65-80	80	100
81-100	100	130
>100	120	160

Fonte: Vitti e Mazza (2002).

Tabela 5 – Recomendação de adubação para cana-soca, baseada nas análises de solo.

<b>K</b> <b>mmolc dm<sup>-3</sup></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b> <b>kg ha<sup>-1</sup></b>
<1,5	150
1,6-3,0	110
>3,0	80

Fonte: Vitti e Mazza (2002).

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela maioria das culturas. No caso da cana-de-açúcar, geralmente é o segundo elemento mais absorvido pela planta, depois do potássio (ZENERATTO, 2009; MENDES, 2006). A adubação nitrogenada está comumente relacionada com maior vegetação e perfilhamento da cana-de-açúcar e, portanto, maior umidade (FAQUIM, 2005 e DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008). De acordo com Faquim (2005), o aumento da umidade devido à adubação nitrogenada pode diminuir o teor de sacarose dos colmos.

O potássio é o nutriente de maior necessidade na cultura de cana-de-açúcar e tem grande influência na síntese de açúcar, aumentando os teores de sacarose e possibilitando maior resistência das plantas a doenças (aumenta a espessura da cutícula) e pragas, evitando, por fim, o acamamento (ZENERATTO, 2009; FAQUIM, 2005 e DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008).

O fósforo é requerido pelas plantas em menores quantidades que o nitrogênio e o potássio, porém pode ser o nutriente que mais limita a produtividade da cana-

de-açúcar (ZENERATTO, 2009). Assim, a maneira de aplicação, a fonte de fósforo, a época de sua aplicação, dentre outros fatores, tornam-se fatores importantes.

Os fertilizantes, juntamente com os corretivos, influenciam fortemente a produtividade da cultura e, por isso, de acordo com Santiago e Rossetto (2014a), podem ser classificados como os insumos de maior importância para a produção de cana-de-açúcar. Desse modo, é importante a realização de estudos que mostrem os benefícios que a adubação pode trazer para cultura da cana-de-açúcar, considerando a redução dos custos e aumento da produtividade aliado à mínima degradação dos recursos ambientais.

Sampaio, Salcedo e Bettany (1984) instalaram um experimento de campo com três tratamentos: a) sem nitrogênio; b) 60 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio; c) 20 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N três meses após. Nesse trabalho, determinou-se a eficiência de utilização do nitrogênio da uréia em função de sua aplicação única ou parcelada. Determinaram-se as quantidades de N, totais e provenientes do fertilizante nas folhas verdes e secas, colmos e raízes, aos 3, 6, 11 e 16 meses após o plantio. Com os resultados obtidos, confirmaram que a cana-planta não responde à adubação nitrogenada, visto que em nenhuma época do ano houve efeito significativo dos tratamentos, nas produções de matéria seca das várias partes da planta e quantidades de N absorvido pela planta. Em continuação ao trabalho anterior, Sampaio, Salcedo e Cavalcanti (1987) determinaram a massa de matéria seca (raízes e colmos) e o conteúdo de macro e micronutrientes do sistema radicular da cana-de-açúcar ao longo de seu ciclo e a influência da adubação nitrogenada nesses parâmetros. O experimento foi realizado sem e com aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N e, após 3, 6, 11 e 16 meses do plantio, foram recolhidas por peneiramento todas as raízes, colmos subterrâneos e rebolos de um volume de 1 m<sup>3</sup> de solo. Não houve diferença nas massas totais das partes subterrâneas e nos teores de nutrientes com relação aos tratamentos com e sem N, porém verificou-se que a matéria seca atingiu um máximo de 6,5 t ha<sup>-1</sup> aos onze meses, sendo que de 30% a 40% correspondiam a raízes e cana-de-açúcar adubada com N que tiveram maiores massas radiculares aos seis e dezesseis meses.

Franco et al. (2007) realizaram um experimento em vasos contendo 250 kg de terra de textura arenosa afim de avaliar o acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea e na parte subterrânea da cana-de-açúcar (cana-planta) em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo. O experimento constou de quatro doses de N (0, 900, 1800 e 2700 mg vaso<sup>-1</sup>) aplicados em restos culturais

da última soca incorporados ao solo simulando a reforma do canavial, contendo folhas secas ou não. Foi observado o efeito sinérgico do nitrogênio no acúmulo dos demais macronutrientes, principalmente na parte subterrânea (raízes e rizomas) da cultura. Segundo os autores, tal acúmulo é importante, pois pode implicar maior longevidade da lavoura canavieira, aliada a ganhos significativos em produtividade de colmos nas rebrotas subsequentes.

Segundo Vitti e Trivelin (2011), a cana-de-açúcar, sendo considerada perene por apresentar vários ciclos agrícolas (cana planta e rebrotas) entre os plantios (reformas de canaviais), possui uma longevidade dos canaviais que depende de vários fatores. Um dos fatores se refere à adubação, que traz benefícios à cultura de cana-de-açúcar ao longo dos ciclos agrícolas. Alguns resultados do trabalho de Vitti e Trivelin (2011) demonstraram que se a adubação nitrogenada de canaviais é realizada muito abaixo da dose recomendada. Em um ano-safra isso pode resultar na redução da produtividade da cana-de-açúcar, justificando, em parte, o que o setor canavieiro sofreu no ciclo agrícola 2011/2012. Nos anos 2008, 2009 e 2010, com o preço baixo da matéria prima associado também à elevação de preços dos fertilizantes, muitos canaviais receberam doses de adubos abaixo do que deveria ser aplicado e, em condições mais drásticas, determinadas áreas não foram adubadas e/ou mesmo o solo não foi corrigido. Nessas condições, a cana-de-açúcar foi nutrida em grande parte com as reservas existentes no solo e sistema radicular (raízes e rizomas).

Lima et al. (2006) utilizaram quatro doses de adubação mineral (NPK (0-0-0 kg ha<sup>-1</sup>); (0-80-50 kg ha<sup>-1</sup>); (45-80-50 kg ha<sup>-1</sup>); (90-80-50 kg ha<sup>-1</sup>)) e 3 cultivares de cana-de-açúcar (NA 56-79, SP 79-1011 e CB 45-3) a fim de avaliar o comportamento de algumas variáveis de produção da cana-de-açúcar de acordo com a dose de adubo mineral. Não foram verificadas melhorias na produção de colmo, no teor de sacarose e no perfilhamento das cultivares de cana-de-açúcar, realizada em agricultura de sequeiro, mediante doses crescentes de nitrogênio na adubação mineral com fósforo e potássio.

De acordo com Rossetto et al. (2005), o potássio, nutriente mais extraído pela cultura da cana-de-açúcar, possui potencial de perdas por lixiviação em condições de alta acidez do solo. A elevação do pH, realizada pela calagem do solo, melhora a sua capacidade em adsorver alguns nutrientes, reduzindo assim suas perdas por lixiviação. Como efeito da adubação potássica sobre a produtividade da cana-de-açúcar, Rossetto et al. (2005)

verificaram uma resposta praticamente linear, como mostra a Figura 1, na qual em sete das dez avaliações foi observado ganho significativo.

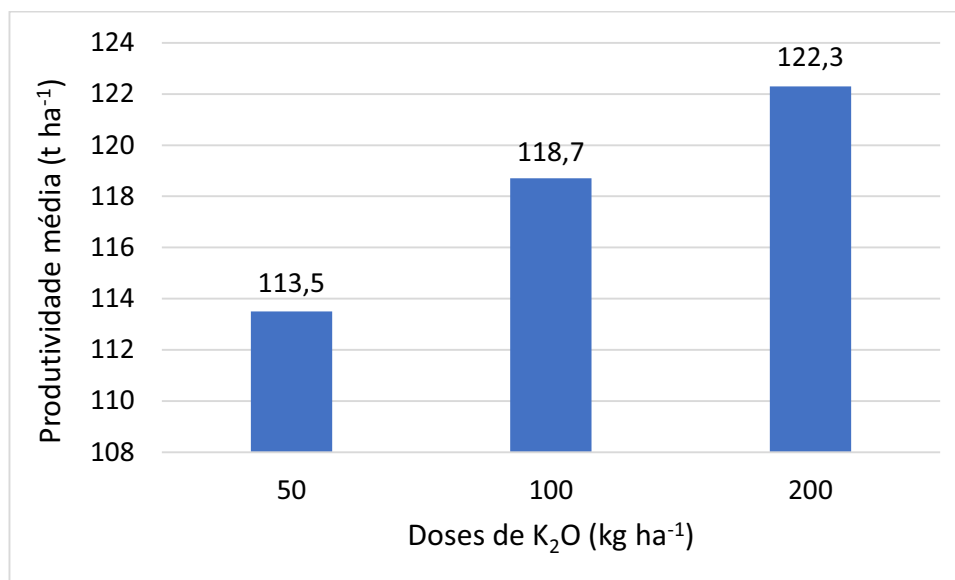


Figura 1 – Produtividade da cana-de-açúcar em função das doses de K<sub>2</sub>O.  
Fonte: Rossetto et al. (2005).

Rossetto et al. (2004) estudaram os efeitos da calagem e da adubação potássica na produtividade da cana-de-açúcar por meio de seis experimentos instalados em diversas regiões do Estado de São Paulo. Foram avaliadas as produtividades da cana planta e, em dois experimentos, a das soqueiras. Observou-se efeito positivo na produtividade da cana-de-açúcar em relação à aplicação de potássio. Essa resposta foi de natureza linear e significativa em sete das dez avaliações tanto na cana-planta como nas soqueiras.

Espironelo et al. (1987) acreditam que diferentes quantidades de fertilizantes e diferentes espaçamentos influenciam o comportamento de variedades de cana-de-açúcar. Maiores produtividades de açúcar ou álcool poderão ser obtidas quando em maior densidade populacional e/ou com quantidades adequadas de fertilizantes. Assim, os autores estudaram as interações espaçamentos x variedades x adubação com o objetivo de explorar ao máximo o potencial produtivo de três variedades de cana-de-açúcar de diferentes características agrotecnológicas. Foram obtidos efeitos significativos da adubação nitrogenada sobre a produtividade de colmos de cana-planta dos experimentos localizados em latossolo roxo e latossolo vermelho-escuro de textura argilosa. Para a adubação potássica o efeito foi significativo somente em latossolo roxo. Utilizando doses mais elevadas de N e, especialmente, de K, verificou-se um decréscimo de sacarose, mostrando que para a

produtividade máxima de sacarose, a necessidade de fertilizantes é menor do que aquela verificada na produtividade de colmos.

Espironelo et al. (1986) realizaram a determinação de macronutrientes nas folhas de cana-soca em complemento a estudos anteriores de adubação NPK aplicada em três profundidades de cana-soca da variedade CB41-76 (ESPIRONELO et al. 1981). Foram realizadas determinações de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas +3, aos cinco meses de idade, com a finalidade de estabelecer os teores adequados de macronutrientes nas folhas de cana-de-açúcar. Dentre doze experimentos anteriormente realizados em diferentes solos do Estado de São Paulo para verificação de efeitos da adubação NPK, em três profundidades, na variedade CB41-76 (ESPIRONELO et al., 1981), oito, com resposta da planta às adubações, foram usados neste trabalho. Notou-se que as variações dos teores de macronutrientes foram mais acentuadas entre localidades do que entre doses dos respectivos adubos. Observou-se também correlações positivas e significativas entre os teores de potássio nas folhas e as produções de cana-de-açúcar. Mediante os resultados obtidos, os autores propuseram faixas de teores de nutrientes que consideraram adequadas provisoriamente: nitrogênio (1,53 a 2,22 %); fósforo (0,14 a 0,20 %); potássio (1,24 a 1,59 %); cálcio (0,38 a 0,71 %); magnésio (0,11 a 0,20 %) e enxofre (0,11 a 0,31 %).

No trabalho de Moura et al. (2005), foram avaliados os efeitos de diferentes doses de N e K<sub>2</sub>O aplicados em cobertura, no desenvolvimento, rendimento e na qualidade da cana-soca (*Saccharum* spp, cultivar SP79 1011) cultivada com e sem irrigação. A lâmina de irrigação usada, 27,5 mm, foi aplicada em intervalos de irrigação de 12 dias. As adubações de cobertura (AC) foram compostas dos elementos N e K<sub>2</sub>O, aplicando-se respectivamente: AC1, 44 e 41; AC2, 86 e 81; AC3, 157 e 148 e AC4, 236 e 222 kg ha<sup>-1</sup>. Os autores concluíram que a dose de adubação influenciou significativa e positivamente os rendimentos de colmos, açúcar e álcool nas parcelas irrigadas, enquanto que nas parcelas não irrigadas esse efeito só foi verificado para o rendimento dos colmos. A dose máxima de adubação de cobertura (236 kg ha<sup>-1</sup> de N e 22 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) não foi suficiente para atingir picos máximos de rendimento de colmos, seja no regime irrigado ou não. Em outro trabalho realizado por Silva, C. T. S. et al. (2009), o rendimento do número de colmos da cana-de-açúcar (variedade SP-791011) cultivada com irrigação complementar é influenciado positivamente pelos níveis de adubação de cobertura. Neste trabalho, estudou-se o efeito de diferentes níveis de adubação sob os parâmetros de crescimento da terceira folha de cana-de-açúcar cultivada com e sem irrigação complementar. A lâmina de irrigação foi a mesma

do trabalho anterior (27,5 mm), porém modificando-se a proporção dos elementos: N<sub>0</sub>, 28 e 44; N<sub>1</sub>, 68 e 106; N<sub>2</sub>, 112 e 164 e N<sub>3</sub>, 156 e 222 kg ha<sup>-1</sup>. Verificou-se que, usando a irrigação complementar e N<sub>3</sub>, o número máximo de colmos por hectare foi de 91.944; valor esse superior ao limite mínimo ideal de 90.000 colmos ha<sup>-1</sup> registrado na literatura.

Dalri e Cruz (2008) estudaram os efeitos da fertirrigação por gotejamento superficial nos índices tecnológicos da cultura de cana-de-açúcar (rendimento de colmos (t ha<sup>-1</sup>)), números de colmos industrializáveis por metro, massa seca total, qualidade da matéria-prima avaliada por meio da análise tecnológica de brix%, pol% caldo, pureza, fibra, pol% cana e açúcar teórico recuperável (ATR kg ha<sup>-1</sup>). As avaliações foram realizadas no segundo ciclo (soca) e no terceiro ciclo (ressoca) da cultura. Para o segundo ciclo (cana-soca), a adubação-padrão foi de 120 kg de N ha<sup>-1</sup>, na forma de uréia e 120 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> na forma de nitrato de potássio. No terceiro ciclo, a quantidade de nitrogênio e potássio aplicada foi 150 kg de N ha<sup>-1</sup> e 180 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> na forma de uréia e nitrato de potássio, respectivamente; no início do crescimento, 30 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> na forma de superfosfato simples. As maiores produtividades de cana-de-açúcar obtidas foram nas parcelas irrigadas por gotejamento superficial. Nos dois ciclos da cultura estudados houve resposta significativa da irrigação por gotejamento subsuperficial. A soca e a ressoca tiveram incremento de produção de colmos de 43,5% e 67,2%, respectivamente. Os incrementos na produção de ATR foram 38,4% e 72,9% para a soca e a ressoca, respectivamente. A irrigação por gotejamento subsuperficial não alterou as características tecnológicas avaliadas da cana-de-açúcar nos dois ciclos estudados.

Do Vale et al. (2011), em trabalho sobre o crescimento, a produção de massa de matéria seca, o teor e o acúmulo de nutrientes em plantas de cana-de-açúcar em solução nutritiva submetidas à omissão de macronutrientes, verificaram que N e P foram os nutrientes que proporcionaram os menores crescimentos das plantas de cana-de-açúcar, com reduções na planta inteira de 91 e 57%, respectivamente. Entretanto, em relação ao crescimento das raízes, as omissões de N e Ca promoveram as maiores limitações, de 83% e 48%, respectivamente. Neste trabalho, foram avaliados o número de perfilhos, o número de folhas totalmente desenvolvidas, a altura, o diâmetro dos perfilhos, a matéria seca da planta e os teores de macronutrientes da parte aérea e das raízes da cana-de-açúcar para sete adubações (completa com todos os nutrientes e com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S), no qual foi confirmado que a deficiência de nutrientes pode limitar a nutrição, o crescimento e a produção da cana-de-açúcar.



Ao avaliarem as características agronômicas da cana-de-açúcar em função do sistema de plantio direto (SPD) comparativamente ao convencional (PC) com e sem a aplicação de adubo, Duarte Júnior e Coelho (2008) constataram que para SPD sobre as leguminosas houve produtividade média, número e diâmetro de colmos superiores à da cana-de-açúcar convencional com vegetação espontânea incorporada, porém não houve diferença significativa quando comparadas às diferentes leguminosas utilizadas no trabalho. Segundo os pesquisadores, a maior produtividade da cana-de-açúcar SPD sobre as leguminosas, quando comparada com a cana-de-açúcar convencional, deve-se a fatores como: maiores teores foliares de nitrogênio e potássio e, também, ao maior número e diâmetro de colmos obtidos na cana-de-açúcar cultivada em SPD sobre adubos verdes. Com relação à adubação, obteve-se produtividade superior para cana-de-açúcar SPD sobre as leguminosas e a cana-de-açúcar PC com aplicação de adubo em relação às mesmas sem adubo; porém, o decréscimo de produtividade devido à ausência de adubação foi agravado quando não se empregou o SPD com a adubação verde.

### **4.3 Os subprodutos da indústria sucroenergética**

O setor sucroenergético tem um papel fundamental na economia brasileira, pois o beneficiamento da cana-de-açúcar permite a produção de diversos produtos utilizados pela população, sendo os principais o álcool, combustível normalmente utilizado como fonte de energia, e o açúcar, produto base para a alimentação.

O processo de fabricação do etanol e do açúcar gera subprodutos e resíduos em quantidades significativas. Alguns desses subprodutos têm se destacado por sua importância comercial ou por substituir produtos dentro da própria indústria, o que reduz custos. De acordo com Mezaroba, Meneguetti e Groff (2010), quase todos esses resíduos podem ser reaproveitados e aumentar os lucros da própria indústria, diminuindo os custos de produção e os impactos ambientais. A Figura 2 mostra os produtos e subprodutos provenientes do processamento industrial da cana-de-açúcar.



Figura 2 – Produtos e subprodutos da cana-de-açúcar.  
Fonte: Lerayer (2009).

Segundo Tommaselli et al. (2011) e Nogueira e Garcia (2013), encontrar maneiras de utilização de resíduos industriais tornando-os apenas subprodutos e ainda agregar valor tornou-se uma busca incessante de todas as cadeias produtivas. Desse modo, produtos que antes eram considerados problemas podem se estabelecer hoje como fontes de renda importantes para todas as empresas. Na indústria sucroenergética há uma gama de subprodutos que agregam valores e que antes eram denominados resíduos indesejáveis (MACHADO et al., 2010).

A utilização de subprodutos da indústria sucroenergética como fonte de adubos orgânicos tem se tornado bastante interessante e viável no setor agrícola brasileiro. O país vem passando por grandes dificuldades econômicas e escassez de recursos, consequentemente há elevação nos preços do insumo “adubo mineral”, fazendo com que o produtor busque alternativas para aumentar o rendimento da produção, minimizando os

custos. A vinhaça e a torta de filtro são alternativas para adubação orgânica como complemento ou substituição parcial do adubo mineral (SAMPAIO, 1987).

Pesquisas em algumas usinas sugeriram que a substituição de adubos químicos por subprodutos do processamento industrial da cana-de-açúcar acarreta uma economia média de US\$ 60 por hectare nos custos de plantio, além de reduzir a poluição ambiental, já que os produtos eram anteriormente despejados nos rios (SUBPRODUTOS..., 2013a).

Os subprodutos mais importantes gerados no processamento industrial da cana-de-açúcar são: bagaço, vinhaça (também chamada de vinhoto ou restilo), torta de filtro e levedura (CORTEZ; MAGALHAES; HAPPI, 1992).

#### **4.3.1 Bagaço**

O bagaço, subproduto fibroso resultante do esmagamento da cana-de-açúcar para extração do caldo, é constituído por lignina e celulose e representa um terço da biomassa da cana-de-açúcar, enquanto outro terço é formado pelas folhas e pelo ponteiro, que ficam no campo após a colheita (LERAYER, 2009). A quantidade produzida depende do teor de fibra da cana-de-açúcar processada, apresentando, em média, 46% de fibra e 50% de umidade, resultando, aproximadamente, em 250 a 260 kg de bagaço por tonelada de cana-de-açúcar processada. Esse subproduto apresenta-se como o mais significativo resíduo sólido gerado na indústria sucroenergética, em virtude da sua composição e da quantidade em que é produzido, tendo necessidade de grandes áreas para armazenamento (MEZAROBA; MENEGUETTI; GROFF, 2010 e PAOLIELLO, 2006). Inicialmente, o bagaço era considerado um resíduo industrial, que era queimado nas próprias usinas para a geração de calor, porém com a principal finalidade de evitar os transtornos que trazia para indústria. Posteriormente, devido a crises do petróleo e para diminuir os custos de produção no setor sucroalcooleiro, o bagaço começou a ser usado como subproduto, especialmente como insumo energético (INNOCENTE, 2011). De acordo com Lerayer (2009), o uso mais habitual do bagaço é como combustível para alimentar caldeiras, ocasionando a geração concomitante de energia térmica e mecânica através do vapor (cogeração). A energia térmica é usada no processo de fabricação do açúcar e do etanol e a energia mecânica move a moenda da cana-de-açúcar ou se converte em bioeletricidade por meio de um gerador, seja para uso

na própria usina, seja para venda do excedente às concessionárias de energia elétrica. Para Rebelato, Madaleno e Rodrigues (2013), o bagaço também pode ser utilizado na produção de ração animal, na indústria química, na produção de papel, papelão e aglomerados como sólido alternativo na construção civil e na produção de biomassa.

#### 4.3.2 Levedura

A levedura (*Saccharomyces Cerevisiae*) é um subproduto da indústria sucroenergética proveniente da fermentação anaeróbica do caldo de cana-de-açúcar. Primeiramente, ocorre a fermentação do mosto (cana-de-açúcar mais o melaço) para transformação em açúcar e etanol. Posteriormente, esse material é centrifugado para a separação em vinho e creme de levedura. O creme de levedura excedente do processo sofre uma secagem instantânea por meio de um secador do tipo *spray dried*, conservando ao máximo as propriedades nutricionais do produto obtido. Esse material é vastamente utilizado na fabricação de ração para animais e na indústria alimentícia devido à elevada quantidade de proteínas e concentração de vitaminas do complexo B (REBELATO; MADALENO; RODRIGUES, 2013; SILVA, J. W. P. et al, 2009).

Cortez, Magalhaes e Happi (1992) relatam que a maior parte das indústrias de álcool brasileiras não vem trabalhando no sentido de produzir um excedente de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) no processo. A técnica de “sangria” de até 10 % da população de microorganismos usada para recuperação de levedura pode render entre 25 e 40 g de levedura seca por litro de álcool produzido, pois esse processo força uma maior reprodução celular, obtendo-se, conseqüentemente, uma população mais "jovem".

#### 4.3.3 Vinhaça

A vinhaça é um líquido de cor marrom escuro e natureza ácida proveniente do processamento industrial para a obtenção do etanol e sai da bica de destilação a aproximadamente 107°C. Possui um cheiro forte desagradável, característica relacionada com o teor de açúcar residual que provoca um processo de putrefação assim que a vinhaça é descarregada. É formada por uma suspensão de sólidos e é rica em substâncias orgânicas e

minerais, principalmente potássio. A quantidade de vinhaça produzida pela destilaria é em função do teor alcoólico obtido na fermentação, de modo que a proporção pode variar de 10 a 18 litros de vinhaça por litro de álcool produzido (LEITE, 1999). Algumas opções de uso da vinhaça incluem a produção de proteínas por fermentação anaeróbica; a produção de gás metano; o tratamento para a concentração a 60° Brix e posterior emprego na formulação de ração animal; in natura como adubo na lavoura; a queima para a produção de fertilizante (LERAYER, 2009).

Segundo Van Haandel (2000), a vinhaça tem um enorme potencial para geração de biogás pelo processo de digestão anaeróbia e o metano produzido pode ser usado para a geração de energia elétrica e vapor. Acredita-se que a vinhaça pode ter uma capacidade de geração de energia elétrica de 600 a 700 MW de potência, sendo que aproximadamente metade seria consumida pelas usinas e a outra metade ficaria disponível para venda.

A maioria das usinas ainda utiliza a vinhaça *in natura* na fertirrigação, substituindo parcial ou totalmente a adubação mineral na cultura da cana-de-açúcar. Segundo vários autores, a fertirrigação com vinhaça tem como benefícios a melhoria da fertilidade do solo e o aumento da produtividade da cana-de-açúcar (SILVA et al., 2010; SILVA; BONO; PEREIRA, 2014; OLIVEIRA et al., 2014). De acordo com Glória e Orlando Filho (1983 apud SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007), a aplicação da vinhaça no solo possui os seguintes efeitos benéficos: a) elevação do pH; b) aumento da disponibilidade de alguns íons; c) aumento da capacidade de troca catiônica (CTC); d) aumento da capacidade de retenção de água e; e) melhoria da estrutura física do solo.

#### **4.3.4 Torta de filtro**

A torta de filtro é composta pela mistura de bagaço moído e lodo de decantação. A purificação do caldo obtido após o processo de moagem da cana-de-açúcar é denominada “clarificação”. Na clarificação, adiciona-se uma suspensão de hidróxido de cálcio ao caldo já aquecido com a finalidade de elevar seu pH. Posteriormente, ocorre a floculação de colóides orgânicos bem como a precipitação de sais de cálcio, sobretudo fosfato. Após a decantação da suspensão, obtêm-se um caldo límpido por cima e uma borra ou lodo por baixo. O lodo é formado por compostos orgânicos e inorgânicos que não foram

solubilizados e ainda contém certa quantidade de caldo clarificado que deve ser recuperado por um processo de filtração ou prensagem. O lodo não possui consistência adequada para passar por filtração, assim é misturado a bagaço de cana-de-açúcar finamente moído (chamado na indústria de “bagacinho”) e esta mistura é submetida à filtração a vácuo, resultando num material com umidade em torno de 75%, que se denomina torta de filtro. A torta de filtro é produzida de forma contínua, sendo que cada tonelada de cana-de-açúcar produz de 30 a 40 kg de torta (CORTEZ; MAGALHAES; HAPPI, 1992).

A torta de filtro é usada predominantemente para fertilização da cultura da cana-de-açúcar, mas também tem mostrado resultados satisfatórios na produtividade de outras culturas (SANTI et al., 2013; SANTANA et al., 2012; NASCIMENTO; NEVES; CORRÊA, 2013; PEREIRA et al., 2005). Outra opção de uso desse subproduto em estudo é a extração de cera como alternativa às ceras comerciais (VIEIRA, 2003).

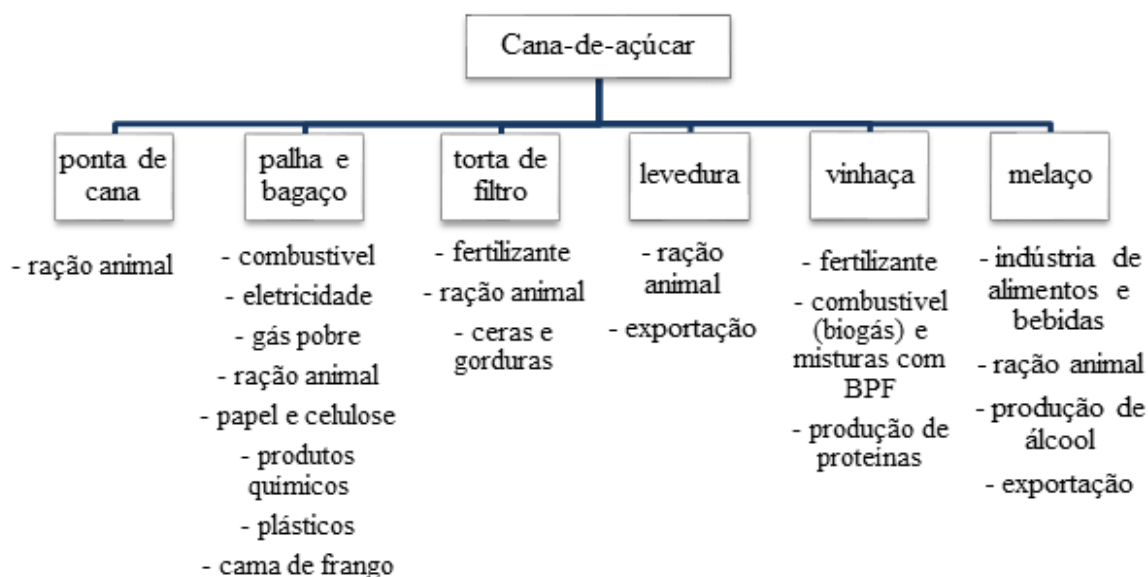


Figura 3 – Subprodutos da agroindústria canavieira e seus respectivos usos alternativos.  
Fonte: Cortez, Magalhaes e Happi (1992).

#### 4.4 O uso da torta de filtro na adubação da cana-de-açúcar

A torta de filtro, segundo Cortez, Magalhaes e Happi (1992), tem sido uma fonte de matéria orgânica intensamente utilizada em substituição aos adubos

minerais anteriormente adquiridos. Vários fatores podem alterar as características da torta de filtro: estágio de maturação da cana-de-açúcar, variedade da cana-de-açúcar, tipo de solo utilizado no cultivo, variações no processo de clarificação do caldo, entre outros (REBELATO; MADALENO; RODRIGUES, 2013). Dentre os nutrientes principais, nota-se uma predominância de CaO, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e pouco de K<sub>2</sub>O. A adição de produtos que auxiliam na floculação das impurezas durante o processo de clarificação do caldo pode aumentar o teor de alguns minerais, especialmente P e Ca (ALMEIDA JÚNIOR, 2010).

O fósforo contido na torta resulta da adição de produtos auxiliares para a floculação das impurezas do caldo e sua liberação no solo ocorre gradativamente por mineralização e ataque de microorganismos do solo (NUNES, 2005 apud FRAVET, 2007). Para Nardin (2007), por volta de 30% do conteúdo total de fósforo está na forma orgânica e o nitrogênio predomina na forma proteica, ocasionando liberação lenta desses elementos e, conseqüentemente, alto aproveitamento pelas plantas. Já o cálcio apresenta-se em grande quantidade, sendo proveniente da chamada caleação do caldo durante o processo de tratamento do mesmo para a fabricação do açúcar (NUNES, 2005 apud FRAVET, 2007).

Santos et al. (2009) relatam que os resíduos industriais (torta de filtro, bagaço e cinzas de caldeira) são fontes significativas de fósforo, podendo suprir parcialmente sua demanda pela cultura ao longo de seu ciclo e ocasionar alterações profundas nos atributos químicos e físicos do solo, disponibilizando nitrogênio, fósforo e cálcio e aumentando a sua capacidade de retenção de água. A quantidade desses resíduos produzidos por safra em uma única unidade industrial de pequeno porte pode ser suficiente para se plantar de 300 a 500 ha. Utilizando-se uma dosagem 20 t ha<sup>-1</sup> desse material na base de massa fresca; utilizando-se um nível de adubação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 120 kg ha<sup>-1</sup>, seria possível uma redução em torno de 36 a 60 t de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por ano em cada unidade industrial.

A composição química média da torta de filtro, segundo Ferreira et al. (1988 apud ALMEIDA JÚNIOR, 2010), pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição média da torta de filtro.

Componentes	Teor na matéria seca (%)	
	Mínimo	Máximo
N	1,10	1,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,04	2,55
K <sub>2</sub> O	0,30	0,96
CaO	4,07	5,46
MgO	0,15	0,56
S	2,70	2,96
Matéria orgânica	77	85

Fonte: Ferreira et al. (1988 apud ALMEIDA JÚNIOR, 2010).

De acordo com Moura Filho, Silva e Moura (2011), apesar dos valores nutricionais da torta de filtro serem conhecidos desde a década de 1950, o início de sua utilização foi apenas na década de 1970 e se intensificou em 1999, quando a mudança cambial e a elevação dos preços dos fertilizantes químicos oneraram a adubação e a questão ambiental ganhou mais espaço. Ainda segundo Moura Filho, Silva e Moura (2011), a resposta na produtividade da cana-de-açúcar nas doses crescentes de torta é positiva, podendo substituir total ou parcialmente, dependendo da dose de torta empregada na área, os nutrientes N, P, Ca, Mg, S e os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn. A torta pode ser aplicada em área total ou no fundo do sulco de plantio quando se tratar de áreas de renovação do canavial (Figura 4); para áreas de cana-soca, o emprego da torta ocorre em cobertura (próximo da linha de cana). A aplicação de torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar é uma prática usual, facilitada pelo desenvolvimento de implementos próprios como carretas para aplicação e, mais recentemente, plantadeiras mecanizadas com compartimento para a torta (ROSSETTO; SANTIAGO, 2014). Com o objetivo de melhorar a qualidade da torta em relação aos nutrientes e diminuir o teor de umidade do material, tem-se produzido um composto por meio da mistura de torta de filtro e outros materiais tais como gesso, cinzas de caldeiras e bagaço. O composto reduz ainda os custos de transporte e também permite a aplicação em áreas mais distantes da indústria (MOURA FILHO; SILVA; MOURA, 2011).





Figura 4 - Aplicação de torta de filtro no sulco de plantio.  
Fonte: Rossetto e Santiago (2014).

No Brasil, a torta é importante pelo grande volume em que é gerada (30 a 40 kg de torta por tonelada de cana-de-açúcar moída) durante o processamento industrial da cana-de-açúcar e também pela economia de insumos que se obtêm com a prática do seu aproveitamento na forma de fertilizante e/ou como condicionadora de solos (ALMEIDA JÚNIOR, 2010).

De acordo com Malavolta, Gomes e Alcarde (2002), a torta de filtro é obtida como resíduo da fabricação do açúcar logo após a extração da sacarose residual das borras resultantes da clarificação e há duas maneiras de utilizá-la: na dose de 40 a 50 t ha<sup>-1</sup> por meio de distribuição a lanço e incorporação como o esterco de curral, misturada a outros adubos no sulco de plantio. Há grande variação na sua composição química, mas, em geral, possui teores razoáveis de nitrogênio e fósforo e pequena quantidade de potássio, assim é necessário corrigir a composição com cloreto de potássio no caso da adubação somente com a torta de filtro.

A matéria orgânica da torta de filtro, segundo Beuclair (1994 apud FRAVET, 2007), tem um importante papel, tal como a vinhaça, na melhoria da fertilidade do solo e nas suas propriedades físicas, pois: a) aumenta a capacidade de retenção de água, já que é hidrocópica, chegando a reter água em até 6 vezes o seu próprio peso; b) reduz a densidade aparente do solo e aumenta sua porosidade total; c) forma agregados capazes de reduzir a erosão e aumentar a capacidade de absorção do solo; d) aumenta a capacidade de troca catiônica pela ação de micelas húmicas coloidais com atividade superior às argilas; e)

aumenta os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre a partir da decomposição e mineralização da matéria orgânica, além de aumentar o teor da própria matéria orgânica; f) reduz a fixação do fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio, bloqueando os sítios de fixação com os radicais orgânicos; g) forma quelatos solúveis de ferro, manganês, zinco e cobre, disponibilizando-os às raízes; e h) favorece a atividade microbiológica e a adição de novos microorganismos. Todas essas propriedades, quando reagem no solo, formam húmus, que proporciona um excelente ambiente radicular mesmo em solos mais pobres e potencializa, assim, a absorção de nutrientes.

De acordo com Rossetto e Santiago (2014), a aplicação da torta deve ser priorizada em solos mais arenosos e com baixo teor de matéria orgânica. É importante salientar que a aplicação de torta de filtro não substitui totalmente a adubação inorgânica sintética da cana-de-açúcar, pois ela não contém todos os nutrientes necessários para o pleno desenvolvimento da planta, tornando-se importante avaliar uma complementação mineral. Sua utilização pode resultar em um melhor desenvolvimento da planta (Figura 5).



Figura 5 - Diferença no desenvolvimento da cana-de-açúcar com e sem aplicação de torta de filtro.

Fonte: Rossetto e Santiago (2014).

Segundo Pereira et al. (2005), a torta de filtro é capaz de melhorar estruturalmente o solo, favorecendo sua fertilidade e capacidade produtiva, e também impede que a mesma seja acumulada no pátio da indústria, poluindo as áreas vizinhas.

Pereira et al. (2005) determinaram a melhor dose de torta de filtro no crescimento e produção de algodoeiro, tendo como resultado maior crescimento e aumento de produção do algodoeiro em resposta às doses de torta aplicadas. A aplicação de 80 t ha<sup>-1</sup> de torta foi capaz de contribuir com aproximadamente 520, 304, 376, 1.008 e 840 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO e MgO, respectivamente. Ainda segundo os autores, os resultados mostraram que a torta de filtro é capaz de melhorar as propriedades físicas do solo devido à maior retenção de água pelo acréscimo de matéria orgânica no solo utilizado. O trabalho foi realizado no primeiro ano de plantio. No entanto, é possível que parte dos nutrientes da torta permaneça no solo para mineralização completa nos anos seguintes, causando um efeito residual considerável, mas necessitando de estudos adicionais para estimar tal efeito.

Para Sampaio (1987), a torta de filtro é uma dentre várias alternativas de utilização de adubo orgânico na cultura do café. Sua produção média é de 30 kg t<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar moída possuindo grande potencial para retenção de água a baixas tensões pelo fato de ser um material orgânico de ótima qualidade. Esse material possui grandes quantidades de cálcio, fósforo, nitrogênio e ferro, porém é pobre em potássio e magnésio. Sampaio (1987) estudou o uso da torta de filtro como substituto ou complemento da adubação mineral de formação na cultura do café, concluindo que a torta de filtro pode substituir metade do adubo mineral recomendado, fósforo e potássio, na dose de 10 kg cova<sup>-1</sup>, ou ser usada como complemento desse, na dose de 5 kg cova<sup>-1</sup>.

Miranda et al. (2003) mencionam que, nas décadas de 1970 e 1980, vários trabalhos já demonstravam os efeitos positivos sobre a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente quando cultivada em solos arenosos, decorrentes do uso da torta de filtro no plantio. Avaliando-se o efeito da torta de filtro aplicada isoladamente ou em associação com nematicidas no plantio de cana-de-açúcar em áreas infestadas por nematóides, Miranda et al. (2003) observaram que a torta não apresentou efeito nematicida, porém colaborou para o aumento de produtividade de 20 t ha<sup>-1</sup>. Aumento esse atribuído somente ao efeito nutricional da torta de filtro.

Segundo Nunes Júnior (2005 apud FRAVET et al., 2010), 20 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro na base úmida ou 5 t ha<sup>-1</sup> na base seca podem fornecer até 100% do nitrogênio, 50% de fósforo, 15% de potássio, 100% de cálcio e 50% de magnésio, além de poderem ser aplicadas em área total em pré-plantio, no sulco ou nas entrelinhas de plantio. Fravet et al. (2010) avaliaram a resposta de diferentes doses de torta de filtro e o modo de aplicação (superficial na linha e incorporado na entrelinha) sobre as variáveis tecnológicas

(BRIX, POL, TCH e TPH) e a produtividade da cana soca. Segundo os autores, o precipitado (lodo) formado na etapa de clarificação do caldo de cana-de-açúcar (resíduos solúveis e insolúveis) compreende a composição da torta de filtro. O lodo formado, composto orgânico e inorgânico insolubilizado, passa por um processo de filtração a vácuo, recebendo, então, a denominação de torta de filtro. A Tabela 7 mostra as características físico-químicas da torta de filtro da Usina Jalles Machado S.A.

Tabela 7 – Composição mineral da matéria seca da torta de filtro.

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
pH	4,5
Relação C/N	20,9
Relação C/P	17,65
MO (%)	20,1
Umidade (%)	71,4
Ca (%)	2,43
Mg (%)	0,26
S (%)	0,39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (H <sub>2</sub> O) (%)	0,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (CNA+H <sub>2</sub> O) (%)	0,92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Ácido Cítrico 2%) (%)	0,92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (total) (%)	2,25
K <sub>2</sub> O (%)	0,3

Fonte: Fravet et al. (2010).

Como resultado, Fravet et al. (2010) obtiveram que os diferentes modos de aplicação da torta de filtro não mostraram diferença significativa sobre as variáveis em estudo (BRIX, POL, TCH e TPH). Portanto, não influenciaram a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar e a produtividade de colmos. Já a aplicação de torta de filtro na cana-soca na dose de 70 t ha<sup>-1</sup> proporcionou a maior produção de colmos de cana-de-açúcar, independentemente do modo de aplicação, sendo justificada pela alteração da fertilidade do solo e uma nutrição mais adequada da cana-de-açúcar proporcionada pelos nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, contidos na torta de filtro.

Almeida Júnior et al. (2011) avaliaram o efeito de diferentes doses de fertilizantes orgânico e mineral na cultura da cana-de-açúcar e nos atributos químicos do solo e determinou a melhor combinação dessas fontes na produção de massa seca de planta de cana-de-açúcar em condições controladas. A Tabela 8 mostra o resultado da análise química da torta de filtro do trabalho de Almeida Júnior et al. (2011).

Tabela 8 – Características químicas e teor de umidade da torta de filtro.

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
pH em água 1:2,5	6,8
N (g.kg <sup>-1</sup> )	14,2
P (g.kg <sup>-1</sup> )	17,3
K (g.kg <sup>-1</sup> )	1,45
Na (g.kg <sup>-1</sup> )	0,34
Ca (g.kg <sup>-1</sup> )	25,3
Mg (g.kg <sup>-1</sup> )	3,4
Cu (g.kg <sup>-1</sup> )	Nd
Fe (g.kg <sup>-1</sup> )	7,45
Zn (g.kg <sup>-1</sup> )	0,2
Mn (g.kg <sup>-1</sup> )	1,06
C (%)	44,5
C/N (%)	31,3
Umidade (%)	59,7

Fonte: Almeida Júnior et al. (2011).

Em relação ao solo, Almeida Júnior et al. (2011) evidenciaram que a aplicação de torta de filtro promoveu melhoria na sua fertilidade em virtude de aumentar seus teores de macro e micronutrientes e reduzir os teores de alumínio, promovendo, dessa forma, uma ação corretiva da acidez do solo enquanto os fertilizantes minerais promoveram uma acidificação. Para a produção de massa seca de plantas de cana-de-açúcar, obteve resposta satisfatória à adubação orgânica devido, segundo os autores, à disponibilidade de nutrientes ao solo por meio da mineralização da torta de filtro, ocasionando ganhos na biomassa da cultura. Ao combinar a torta de filtro com 50% de fonte mineral, houve aumento na produção de matéria seca da parte aérea, sendo, por isso, recomendada essa combinação. A aplicação da torta também mostrou tanto melhoria na fertilidade do solo (aumentou seus teores de macro e micronutrientes e reduziu os teores de Al) quanto aumento no acúmulo de fósforo, potássio e cobre na parte aérea das plantas. Dessa maneira, recomendaram o uso de torta de filtro associada à adubação mineral como maneira de maximizar o efeito sobre a produtividade e reduzir custos com fertilizantes minerais (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011).

Santos et al. (2011) avaliaram a qualidade do caldo e a produtividade de açúcar em função da adubação no plantio da cana-de-açúcar com diferentes doses de torta de filtro enriquecida com diferentes doses de uma fonte solúvel de fósforo. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a RB867515, em função da recomendação regional. Foi realizada a análise de fertilizante orgânico (torta de filtro), que apresentou os seguintes resultados expressos em matéria seca: pH de 5,4; 70,7% de umidade perdida a 65 °C; 57,25% de MO; 9,5 g kg<sup>-1</sup> de N; 3,3 g kg<sup>-1</sup> de P; 4,6 g kg<sup>-1</sup> de K; 9,1 g kg<sup>-1</sup>

de Ca; 2,5 g kg<sup>-1</sup> de Mg; 7,2 g kg<sup>-1</sup> de S; 124 mg kg<sup>-1</sup> de Cu; 758 mg kg<sup>-1</sup> de Mn; 282 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 23.808 mg kg<sup>-1</sup> de Fe. Verificaram que a torta de filtro aplicada no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parcialmente a adubação química fosfatada visando à melhoria na qualidade e na produtividade de açúcar. Os melhores resultados foram obtidos pela combinação de torta de filtro em dose entre 2,6 e 2,7 t ha<sup>-1</sup> associada à 160 e 190 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os autores, diante dos resultados positivos, acreditam que a utilização da torta de filtro associada ao fertilizante fosfatado pode ser adotada como prática pelos produtores, visando aos ganhos de produtividade, com benefícios do menor uso do fertilizante mineral e melhor utilização do resíduo orgânico da indústria do açúcar. No entanto, sugerem que outros estudos sejam realizados a fim de se obter informação da cultura em ciclos consecutivos de colheita, pois pode haver algum efeito residual em diferentes anos agrícolas e tipos de solo.

Souza (2013) avaliou o desenvolvimento radicular, a qualidade tecnológica e a produtividade de colmos por hectare de cana-soca em função do efeito residual de adubações formuladas a partir da combinação de duas fontes de fósforo (torta de filtro e superfosfato simples), duas doses (150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e 5 proporções (0, 25, 50, 75 e 100%). Observaram um efeito residual sobre a massa seca de raiz (incremento de 41,53% na produção em relação à testemunha) no tratamento cujo fósforo foi 100% vindo da torta de filtro. De modo geral, o autor verificou que as plantas de cana-de-açúcar responderam satisfatoriamente à adubação orgânica apresentando efeito residual, o que pode ter ocorrido devido à característica que a torta de filtro apresenta em mineralizar os nutrientes ao solo e, assim, disponibilizar nutrientes para a cultura, propiciando ganhos na massa seca de raiz da cultura. No segundo ano de cultivo da cultura, foi constatado um efeito residual da adubação de plantio na produtividade da cana-soca e na produção de sacarose. Para a produtividade da cana-soca, medida em tonelada de colmos por hectare (TCH), houve acréscimo no tratamento em que a fonte de todo fósforo aplicado foi a torta de filtro. Nesse caso, a produtividade foi superior ao tratamento 100% mineral e à testemunha (em que não foi aplicada nenhuma fonte de fósforo). Diante dos resultados obtidos com a aplicação da torta de filtro em comparação à adubação mineral, Souza (2013) recomendou o uso de torta de filtro como fonte total do fósforo para a cana-de-açúcar em áreas próximas à Usina de modo a minimizar os custos com fertilizantes minerais.

Santos et al. (2012) avaliaram e compararam a eficiência da adubação na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em quatro tratamentos: 1) com vinhaça; 2)

com torta de filtro; 3) com adubo químico e 4) com vinhaça mais torta de filtro. A pesquisa foi realizada com cultivo de cana-soca (SP79-1011) e foram avaliados a massa seca da folha, a massa seca do colmo, o comprimento e o diâmetro do colmo. Os autores obtiveram os melhores resultados no desenvolvimento da variedade com o uso de vinhaça + torta de filtro na adubação.

Vila (2011) estabeleceu recomendações de dosagens para a fertilização da cana-de-açúcar com torta de filtro e vinhaça, além de estimar a produtividade da cultura submetida a dosagens isoladas e combinações dos resíduos orgânicos em solos arenosos. Foram avaliadas a massa verde, a altura de planta, a produtividade de colmos e a qualidade tecnológica. Avaliaram-se também pH-H<sub>2</sub>O, alumínio trocável, cálcio, magnésio, potássio e fósforo em amostras de solo até a camada de 0,80 metros. Em relação à aplicação isolada de torta de filtro, verificaram-se aumentos significativos no desenvolvimento da cana-de-açúcar. Para a altura total e o comprimento de colmos, foram obtidos incrementos de 30,98 e 16,16 cm. Para a massa verde total e a produtividade de colmos, os ganhos, para a aplicação da dosagem máxima de torta de filtro, foram recomendadas dosagens de 0,34 e 0,23 kg planta<sup>-1</sup>, respectivamente, em relação à testemunha – 0,90 e 0,73 kg planta<sup>-1</sup>. Até a camada de 0,40 m de solo, houve aumento nos teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio, o que favoreceu a produtividade de colmos, sendo a dosagem 37,5 t ha<sup>-1</sup> atribuída à máxima performance da cultura.

Santos, Tiritan e Foloni (2012) avaliaram a brotação de soqueiras da cana-de-açúcar (primeira soca) em função da adubação com torta de filtro enriquecida com fontes solúveis de fósforo, realizada no fundo do sulco, no plantio. A dose de 4,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro aplicada com fósforo mineral no sulco de plantio apresentou a maior porcentagem de brotação da primeira soqueira. Para as doses de 0; 0,5; 1,0; 2,0 t ha<sup>-1</sup> não houve diferenças significativas em relação à testemunha. Segundo os autores, a liberação do fósforo da torta de filtro para o solo é gradativa, proporcionando um efeito residual médio de dois a três cortes, dependendo do clima da localidade. Desse modo, esperava-se diferença entre as doses de torta de filtro e a testemunha.

Nardin (2007) comparou os diferentes sistemas de aplicação de torta de filtro e seu impacto na produtividade agrícola, qualidade tecnológica e no sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar em argissolos com restrição física e de baixa fertilidade. O estudo utilizou três formas de aplicação do composto de torta-de-filtro, duas variedades de cana-de-açúcar e duas épocas de corte. O autor verificou que a torta de filtro

aumentou a fertilidade do solo na camada de 20-40cm com acréscimos significativos de Ca e P. Entretanto, essa melhoria na fertilidade não foi suficiente para que ocorressem diferenças significativas na produtividade da cana-de-açúcar, independentemente da forma de aplicação da torta de filtro. Para as condições de restrição física do solo e condição hídrica do período estudado, a torta não promoveu maior aprofundamento do sistema radicular. O fato da torta de filtro não proporcionar os efeitos desejados no primeiro corte também pode estar associado à época de aplicação, trazendo efeitos diferenciados para outras épocas de plantio ou para os demais cortes.

Resultados das amostras da torta de filtro utilizadas no experimento de Nardin (2007) podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características químicas da torta de filtro.

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg <sup>-1</sup>					
Média	6,8	1,9	5,7	4,3	3,9	0,9

Fonte: Nardin (2007).

Vicente, Maia e Oliveira (2008) analisaram a produção de plantas medicinais utilizadas pela medicina popular brasileira utilizando a torta de filtro como adubo orgânico. A torta foi aplicada no plantio de babosa, capim-limão, erva-cidreira-brasileira e hortelã na dose de 2,5 kg m<sup>-2</sup>. Foram considerados cinco parâmetros: sobrevivência de mudas, altura da planta, biomassa fresca e seca da parte aérea e rendimento de óleo essencial. Exceto pela hortelã, não observaram diferenças quanto à sobrevivência de mudas. A maior altura foi observada em erva-cidreira-brasileira, seguindo-se capim-limão, babosa e hortelã. A biomassa fresca e seca do capim-limão foi a mais alta e, em seguida, a da erva-cidreira-brasileira e da hortelã. A babosa, o capim-limão e a erva-cidreira-brasileira podem ser produzidos utilizando-se torta de filtro como adubo orgânico. Desse modo, os autores concluíram que a torta de filtro pode ser usada no cultivo de plantas medicinais, favorecendo o crescimento das plantas, a produção de biomassa e melhorando as propriedades químicas do solo agrícola devido a sua composição química.

Silva et al. (2013) avaliaram o desempenho de cultivares de alface com o uso da torta de filtro como complemento da adubação. Segundo os autores, devido ao crescimento de tendências naturais no consumo de alface, é importante buscar novas alternativas sustentáveis tais como minimização do uso de adubos minerais. O estudo foi realizado utilizando-se duas cultivares de alface (Júlia e Tainá) e quatro doses de torta de



filtro (0, 10, 20 e 40 t ha<sup>-1</sup>), em que pôde-se considerar viável a aplicação de torta de filtro na dose de 30 t ha<sup>-1</sup> como alternativa de suplementação do adubo químico no cultivo de alface americana, sendo a cultivar Tainá a mais indicada.

De acordo com Barros et al. (2014), a torta de filtro é uma alternativa promissora como material orgânico na complementação dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento de mudas de hortaliças. Na produção de mudas de tomate industrial, Barros et al. (2014) aplicaram diferentes doses de torta de filtro como biofertilizante em substrato comercial e solo para avaliar o desenvolvimento das mudas. O experimento foi realizado com seis doses de torta de filtro (0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg ha<sup>-1</sup>) incorporadas a copos com capacidade de 200 mL. A melhor resposta à adubação com torta de filtro foi de 6,5 mg ha<sup>-1</sup> quando essa for adicionada ao substrato comercial. Existindo ainda a possibilidade de melhor resposta com a adição de maiores doses ao solo.

#### **4.5 Análise energética**

Atualmente, inúmeros trabalhos sobre análise energética de sistemas agrícolas têm sido desenvolvidos. Desse modo, esta revisão da literatura contempla apenas uma pequena parte desses trabalhos, dos mais clássicos até os mais atuais.

De acordo com Mobtaker et al. (2010) e Erdal et al. (2007), um dos principais requisitos para a agricultura sustentável é o uso eficiente da energia. Ainda segundo estes autores, o aumento da população juntamente com a oferta limitada de terras cultiváveis e o aumento do padrão de vida tem elevado a utilização da energia na agricultura na forma de fertilizantes químicos, pesticidas, máquinas agrícolas e outros recursos naturais. No entanto, o uso intensivo de energia fóssil pode causar problemas à saúde pública e ao meio ambiente, sendo que o aumento do uso eficiente de energia seria uma alternativa para a redução destes problemas. A análise das entradas e saídas energéticas é, portanto, normalmente utilizada para avaliar a eficiência e os impactos ambientais dos sistemas de produção e também para comparar os diferentes sistemas de produção (UNAKITAN; HURMA; YILMAZ, 2010).

A análise energética permite determinar a energia consumida para produzir determinado produto, ou seja, a energia “embutida” nesse produto e, no caso de combustíveis, determinar a quantidade de energia líquida entregue pelo produto comparada

a seu custo energético. Essa análise, quando usada como critério para a escolha de sistemas com menor custo energético, colabora com programas de redução no consumo de energia ou que visem à utilização de fontes renováveis (CAPAZ, 2009).

Para Mello (1989), a análise energética de sistemas de produção deve fazer parte de um sistema que englobe também análises econômico-financeiras, sociais e implicações políticas. A realização da análise de um sistema de produção agrícola por meio de seus fluxos de energia inclui a determinação do custo energético de cada um de seus fatores físicos de produção, da energia gasta na aquisição de tais fatores e ainda o conhecimento de como esses fatores inter-relacionam-se.

Campos (2001) diz que diversos pesquisadores, em todo mundo, acreditam na importância de dados relacionados a consumo e eficiência energética como instrumento de avaliação de sistemas e atividades agrícolas nas mais diversas proporções, com distintas delimitações do sistema.

De acordo com Cleveland (1995), a maior parte das análises energéticas consiste em converter unidades físicas dos “inputs” (toneladas de fertilizantes ou toneladas de aço contidas em tratores, por exemplo) em unidades energéticas, utilizando o custo energético para a produção de uma unidade de cada “input” ( $\text{MJ t}^{-1}$  de fertilizante ou aço, por exemplo). Ainda segundo esse autor, a vantagem do uso de unidades físicas para o cálculo do consumo de energia é que existem informações técnicas nas publicações na área de engenharia que podem ser utilizadas para avaliar produtos ou processos específicos como a produção de fertilizantes ou tratores.

Para Bueno, Campos e Campos (2000), a análise energética se refere basicamente à realização do balanço energético da atividade em estudo por meio do computo das entradas e saídas energéticas, realizado através dos seguintes passos:

- a) definição do agrossistema e área, caracterizando-se o período a ser focado;
- b) detalhamento do itinerário técnico percorrido;
- c) elaboração das rubricas operacionais;
- d) transformação dos itens referentes às exigências físicas da cultura em coeficientes energéticos tomando por base informações primárias e secundárias e determinando seus respectivos consumos energéticos.

Bueno (2002) destaca a importância da abordagem energética de agroecossistemas, que pode ser definida como a mensuração e construção de índices capazes de captar as diversas relações de fluxos de energia que permeiam determinado sistema

agrícola. Esse autor acredita que a abordagem energética complementa, juntamente com prismas diferenciados (sociais, culturais, políticos, dentre outros), análises mais aprofundadas sobre os agroecossistemas, principalmente no que corresponde à sustentabilidade.

Uma grande dificuldade verificada para a efetiva realização de análises energéticas se refere à metodologia, pois, segundo Capaz (2009), não há uma metodologia consolidada de análise energética e que seja utilizada largamente, fazendo com que, para um mesmo produto ou um mesmo processo, diferentes resultados sejam obtidos. Esses resultados são atribuídos a vários fatores tais como as fronteiras do sistema, os níveis de regressão dos insumos contabilizados, a mão-de-obra, o transporte, entre outros.

Ainda assim, a análise energética de sistemas agrícolas é um instrumento de extrema importância, conforme destaca Comitê (1993), citando que a análise e o balanço energético fornecem informações que permitem mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas. Considerando os dispêndios energéticos, pode-se obter a dependência de um sistema em relação aos recursos naturais renováveis ou não, como o petróleo, e suas consequências no aspecto da vulnerabilidade econômica brasileira em comparação a outros países. Ainda neste sentido, Basso (2007) afirma que através da avaliação energética de agroecossistemas pode-se obter o nível de dependência desse sistema e as diferentes formas de energia, inclusive aquelas não renováveis, permitindo verificar as adequações necessárias na exploração agrícola. Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009) acreditam que o balanço energético e econômico contribuem para definir a melhor estratégia de manejo dos sistemas agrícolas. Para Salla et. al (2009), a quantidade de energia diretamente consumida e/ou indiretamente utilizada em um processo produtivo pode ser quantificada através da análise energética, permitindo verificar a dependência que o processo de produção agrícola tem ou não de fontes de energia não renováveis.

Mello (1989) alega que, por meio da análise energética de agroecossistemas, é possível estimar a energia utilizada para a obtenção de um produto agrícola e também para entender melhor os fluxos de energia que compõem esse sistema, identificando os pontos de desperdícios energéticos e componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência, ou seja, interferir no sistema no sentido de melhorá-lo.

#### 4.5.1 Classificação das energias

Segundo Bueno (2002), para realizar análises energéticas, é preciso primeiramente classificar a energia nos agroecossistemas, uma vez que a origem e a forma de utilização dessas energias apresentam-se de maneiras diferenciadas.

A FAO (1976), classificou os recursos energéticos como renováveis ou não renováveis e comerciais ou não comerciais. Os recursos renováveis são aqueles que podem fornecer energia infinitamente se utilizados racionalmente e incluem produtos fotossintéticos como os resíduos agrícolas e as energias solares, hídricas, eólica e geotérmica. Os recursos não renováveis necessitam de bilhões de anos para que suas reservas exploráveis sejam formadas e incluem combustíveis fósseis como carvão mineral, petróleo, gás natural e combustíveis nucleares. Fazem parte das fontes comerciais de energia combustíveis fósseis, combustíveis nucleares, energias geotérmica, eólica e hídrica, conversão de energia solar em energia mecânica ou elétrica, produtos florestais convertidos em carbono e resíduos agrícolas utilizados para produzir combustíveis tais como metano. As fontes não comerciais são representadas por lenha, resíduos agrícolas e resíduos animais quando consumidos diretamente como combustível.

Castanho Filho e Chabaribery (1982) classificaram a energia de acordo com o fluxo, sendo enumerados três fluxos distintos:

- a) Fluxo externo ou energia injetada na agricultura: respalda-se no fato de que o homem não pode produzir ou apropriar-se da energia sem valer-se de atividades consumidoras de energia. Esse fluxo é constituído por energia direta (biológica, fóssil e hidroelétrica) e energia indireta (estimada pela “depreciação energética” de bens materiais).
- b) Fluxo interno ou energia produzida pela agricultura: refere-se a uma série de transformações bioquímicas, iniciando-se pela energia solar e indo até a utilização, pelo consumidor, dos diferentes produtos obtidos. Esse fluxo é constituído por energia primária (vegetal) e energia secundária (que provém da transformação dos vegetais no processo de transformação animal).
- c) Fluxo perdido ou reciclado: refere-se às energias não utilizadas durante o processo somadas àquelas que não são aproveitadas pelo homem.

Na agricultura, a energia, segundo Junqueira, Criscuolo e Pino (1982), pode ser consumida na forma de luz, nutrientes do solo, fertilizantes, trabalho humano, animal e de máquinas. Posteriormente, a energia armazenada é disponibilizada nos

produtos finais como alimentos ou combustível. Ainda de acordo com Junqueira, Criscuolo e Pino (1982), a classificação da energia consumida na agricultura pode ser de três tipos:

- a) Energia que não é utilizada diretamente pelo sistema produtivo: refere-se àquela relacionada ao homem e seu bem-estar, tais quais iluminação, uso doméstico e aquela utilizada nos trabalhos pós-colheita;
- b) Energia utilizada diretamente pelo sistema produtivo, mas que não é convertida em energia do produto final: é aquela utilizada nas operações agrícolas.
- c) Energia convertida em produto final: corresponde às entradas da energia solar utilizada na fotossíntese e dos fertilizantes e nutrientes do solo. Essa energia será convertida no produto final do processo agrícola.

Carmo, Comitre e Dulley (1988) dividiram em três categorias os dispêndios energéticos de sistemas agrícolas:

- a) Energia biológica: consideraram-se as energias humana e animal, resíduos de animais e da agroindústria, sementes e mudas, alimentos para animais, adubação verde e cobertura morta.
- b) Energia fóssil: refere-se aos produtos e subprodutos do petróleo, tidos como fontes de energia primária, incluindo adubos químicos e agrotóxicos.
- c) Energia industrial: estão incluídas as máquinas e equipamentos agrícolas à tração mecânica e animal e a energia elétrica.

Beber (1989) caracterizou a energia na agricultura de acordo com sua produção e consumo. A produção energética é representada pelos bens produzidos como, por exemplo, alimentos para homens e animais (arroz, milho, carne, pastagem, etc.), as fibras para transformação industrial (algodão, linho), os combustíveis (lenha, álcool) e os resíduos orgânicos (palhas, folhas, estrumes). O consumo de energia na agricultura refere-se a energias encontradas livremente na natureza (energia solar, ar, água, nutrientes orgânicos e minerais do solo) e a energias adicionadas pelo homem (forças humana e animal, fertilizantes e óleo diesel).

Yilmaz, Akcaoz e Ozkan (2005), Unakitan, Hurma, e Yilmaz (2010), Zangeneh, Omid e Akram (2010), Monjezi e Zakidizaji (2012) dividiram as entradas energéticas na agricultura como direta (combustível ou eletricidade para operar máquinas e equipamentos, aquecer ou refrigerar edifícios e para iluminar a fazenda) e indireta (fertilizantes e produtos químicos produzidos fora da fazenda) ou alternativamente como

renovável (trabalho humano, sementes e adubo) e não renovável (diesel, produtos químicos, adubos e máquinas).

Várias têm sido as tipologias e classificações dadas para a energia utilizada na realização de um balanço energético (ALMEIDA, 2007). No entanto, grande parte dos autores seguiu a classificação de Carmo, Comitre e Dulley (1988) adaptada posteriormente por Comitre (1993), que incluiu duas grandes matrizes de energia: Direta (biológica e fóssil) e Indireta (industrial) (BUENO, 2002; ZANINI et al., 2003; SANTOS e LUCAS JR., 2004; ROMERO, 2005; OLIVEIRA JR., 2005; MOREIRA et al., 2005; CAMPOS et al., 2005; GATIN, 2010; SILVA, 2014). Essa também será a classificação utilizada no presente trabalho.

#### **4.5.2 Entradas energéticas**

Segundo Bueno (2002), na avaliação energética de um agroecossistema, deve-se primeiramente especificar e quantificar os componentes físicos envolvidos na obtenção do produto (quilogramas, litros, horas de trabalho, entre outros), correlacioná-los a unidades dimensionais de área (metro quadrado, hectare, alqueire, etc.) e, por fim, realizar a conversão desses componentes físicos em unidades ou coeficientes energéticos. Os coeficientes energéticos já inclusos nos fluxos de energia tornam possível a construção de uma matriz energética composta pelas “entradas” e “saídas” de energia que fazem parte do sistema agrícola em estudo.

Visto que nos inúmeros estudos sobre análise energética de agroecossistemas há uma grande variedade de coeficientes energéticos usados por diferentes autores, este capítulo tem como finalidade apresentar alguns desses coeficientes, assim como a opção utilizada para a construção da matriz energética dos sistemas de adubação, objetos deste estudo.

##### **a) Mão de obra**

Em análise energética, o cômputo da energia consumida no trabalho manual mostra diversos pareceres diferentes de pesquisadores da área (SANTOS, 2011; CAPAZ, 2009).

Para Wilting (1996), além da dificuldade de contabilizar a mão de obra, muitos pesquisadores omitem a contribuição do trabalho humano nas análises energéticas por considerar que a contribuição da energia para o trabalho, ou seja, o valor calórico dos alimentos, é muito baixa em comparação com as necessidades energéticas de outros insumos, ou ainda pelo fato da análise energética contabilizar apenas o gasto energético para a produção de insumos usados no processo e não o consumo secundário de outros produtos. Assim um trabalhador contribui energeticamente para o processo, mas também gasta energia por meio da compra de produtos e serviços para sustentar sua vida privada e de sua família, o que provocaria dificuldades metodológicas.

Macedo, Leal e Silva (2004), em seus estudos sobre o balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil, não consideraram a energia correspondente à mão de obra como um custo energético, justificando que, atualmente, devido à mecanização agrícola no setor sucroalcooleiro, esse custo é ínfimo.

Pellizzi (1992), em pesquisa sobre o uso da energia na agricultura italiana, também não considerou valor para energia do trabalho humano, visto que, nas estatísticas nacionais, o consumo energético está relacionado com as necessidades diárias de agricultores e trabalhadores rurais como o uso doméstico e o transporte. Desse modo, o autor utilizou o trabalho humano em homens-hora sem realizar qualquer transformação para unidades energéticas.

De acordo com Campos (2001), diversos pesquisadores acreditam que seja muito teórico atribuir valores de energia correspondente ao trabalho e por isso não é necessário considerá-la nas análises energéticas. Alguns dos pesquisadores, segundo Cleveland (1995), alegam que não se deve atribuir um custo energético ao trabalho. No entanto, outros alegam que, como todos os fatores de produção, o trabalho tem custos energéticos associados à produção e manutenção que devem ser incluídos na análise energética.

Campos e Campos (2004) relatam que, devido ao valor de energia intrínseco que o trabalho muscular possui e também ao conteúdo energético do alimento consumido pelo trabalhador, medidas da energia proveniente da mão de obra têm sido vastamente utilizadas. Saliem também que, em inúmeros casos, a mão de obra pode ser substituída por outras fontes de entrada (“inputs”) de energia no sistema produtivo.

De acordo com Cleveland (2013), alguns pesquisadores consideram o trabalho humano como uma entrada que possui custos energéticos de produção diretos e indiretos. Os membros familiares produzem o trabalho humano do mesmo modo que as empresas produzem capital. Assim, as famílias investem energia e outros recursos para produzir e manter o trabalho no seu papel econômico. Consequentemente, o trabalho tem um custo energético associado à sua utilização, que pode ser separado em três componentes (CLEVELAND, 2013):

- a) O valor calórico do alimento que os trabalhadores consomem;
- b) A energia direta e indireta embutida nos alimentos, ou seja, a energia utilizada para produzir o alimento consumido pelos trabalhadores;
- c) A energia consumida devido a outras finalidades como viagem e estudo.

Carvalho et al. (1974) realizaram medidas diretas de consumo energético do trabalho humano por meio de um equipamento denominado respirômetro Max Planck. O respirômetro tem como finalidade recolher e medir pequenas quantidades de ar expirado pelo trabalhador durante a execução do trabalho. Assim, determina-se a quantidade de oxigênio consumido por minuto. Os autores estimaram, por exemplo, que, para a condução de trator, um homem de 39 anos e com 75,5 kg de peso consome de 3,68 a 9,20 J minuto<sup>-1</sup>. Tais resultados dependem, porém, de fatores como idade, peso, clima e, principalmente, características da operação realizada. Para os estudos mais específicos, esses dados podem ser considerados de maior precisão quando busca-se quantificar somente a energia fornecida pelo trabalhador na execução de uma determinada tarefa.

Cleveland (2013) também cita que a energia biológica associada ao exercício de determinada atividade laboral pode ser medida pelo respirômetro, porém questiona a aplicabilidade dessa técnica, visto que as funções dos trabalhadores na empresa podem mudar ao longo do tempo e à maneira como são exercidas.

Segundo Bueno (2002), pesquisadores sugerem que a análise do dispêndio energético referente à mão de obra deve ser realizada com base nos efetivos tempos gastos nas diferentes operações ou ocupações profissionais do indivíduo, o mesmo sucedendo com o tempo de trabalho e as ocupações não profissionais (refeições, higiene, deslocamentos, entretenimento, etc.). Essa análise foi denominada “método simplificado”, sendo realizada através da coleta de dados (massa, gênero, altura e idade) e utilização de valores referentes à duração média das principais ocupações dos trabalhadores objetos do estudo. O “método simplificado” foi desenvolvido por Carvalho et al. (1974) e comparado



com o “método rigoroso” relatado por H. Bramsel, do Instituto de Fisiologia do Trabalho de Dortmund, que, a partir de medições da quantidade consumida de oxigênio, propôs metodologia para avaliação de despesas energéticas de trabalhadores na zona de Dois Portos. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os métodos, validando assim o “método simplificado” (BUENO, 2002).

Giampietro e Pimentel (1990) adotaram que um homem adulto tem potência de 90 W, enquanto que, para uma mulher também adulta, essa potência é de 60 W. A diferença de potência entre homens e mulheres foi obtida com base em diferentes performances em eventos esportivos (corrida e levantamento de peso) e em testes de produção de trabalho. O nível de potência (expressa em Watts) per capita de trabalho humano é dada por:

$$\text{Potência consumida per capita} = (xm90 + xf60) \quad (1)$$

Onde:

$xm$  = percentual de trabalhadores adultos masculinos;

$xf$  = percentual de trabalhadoras adultos femininos.

Pimentel e Patzek (2005) realizaram a análise energética de quatro matérias primas utilizadas na produção de etanol e biodiesel (Tabela 10), em que foram estimados os gastos energéticos com mão de obra assumindo que uma pessoa trabalha em média 2.000 horas por ano e seu gasto energético equivale a 8.000 litros de óleo diesel de petróleo.

Tabela 10 – Contribuição energética da mão de obra no cultivo de algumas matérias-primas usadas para a produção de biocombustível.

<b>Matéria prima</b>	<b>Tempo de trabalho (h ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Input Energético da Mão de obra (GJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Input Energético Total da fase agrícola (GJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Contribuição percentual</b>
<b>Milho</b>	11,4	1,90	34,0	5,7%
<b>Capim-Elefante</b>	5,0	0,84	11,5	0,7%
<b>Soja</b>	7,1	1,19	15,7	7,6%
<b>Girassol</b>	8,6	1,44	25,6	5,6%

Fonte: Pimentel e Patzek (2005).

Gazzoni et al. (2009) e Coronato et al. (2006) consideraram o trabalho de Pimentel e Patzek (2005) em seus estudos sobre o balanço energético da cultura de canola para produção de biodiesel. A mão de obra gasta na cultura de canola é de 0,56 h ha<sup>-1</sup> e, considerando-se que 1 litro de óleo diesel possui o equivalente energético de 11.400 kcal, tem-se um gasto energético de 25.400 kcal com mão de obra, de acordo com Gazzoni et al. (2009).

Mello (1989), ao propor um modelo para análise energética de agroecossistemas, contabilizou o trabalho humano na agricultura como 500 kcal h<sup>-1</sup>. Esse coeficiente, segundo o autor, leva em consideração atividades extra laborativas sem ser demasiadamente abrangente; é equivalente ao trabalho corporal pesado em atividades industriais e aproximado ao consumo energético em alimentos pelo trabalhador; são considerados todos os trabalhos em que o homem esteja envolvido diretamente, inclusive operações com trilhadeiras animais, tratores, etc.

De acordo com Pimentel e Pimentel (1979 apud BUENO, 2002), os coeficientes energéticos utilizados para o trabalho humano, baseados em atividades agrícolas específicas e não mecanizadas, foram de 445 kcal h<sup>-1</sup> para atividades leves, 545 kcal h<sup>-1</sup> para atividades médias e 645 kcal h<sup>-1</sup> para atividades pesadas, obtendo-se assim uma média de 545 kcal h<sup>-1</sup>. Estão incorporados nos valores anteriores 45 kcal h<sup>-1</sup> e 100 kcal h<sup>-1</sup>, dedicados ao sono e a atividades não laborativas, respectivamente, e 3.500 kcal h<sup>-1</sup> como sendo parcela da energia consumida pelo trabalhador na forma de alimento.

Hatirli, Ozkan e Fert (2005) calcularam a energia humana assumindo que cada pessoa trabalha 210 dias por ano e 8 horas por dia. Essa pesquisa analisou a influência dos insumos energéticos na produção da agricultura da Turquia entre 1975-2000, em que foi verificado que as entradas energéticas referentes ao trabalho humano diminuiu de 47% na contribuição total de energia em 1975 para 19% em 2000.

Santos (2011) adotou a equação 2, apresentada por Sartori e Basta (1999) para o consumo energético relativo à mão de obra:

$$ET_{mo} = n \cdot \frac{(hi.mo)}{ha} \quad (2)$$

Onde:

$ET_{mo}$  = consumo total de energia para mão de obra, por hectare, kcal ha<sup>-1</sup>

$hi$  = período de tempo, h

$mo$  = consumo unitário de energia, kcal h<sup>-1</sup>

$ha$  = área trabalhada, ha

$n$  = número de trabalhadores

O valor a ser adotado para o consumo unitário de energia ( $mo$ ) foi de 321 kcal h<sup>-1</sup>.

Capaz (2009), estudando o desempenho energético da produção de biocombustíveis, considerou a mão de obra apenas para a colheita, justificando que não foram listados outros coeficientes devido à pequena participação desse insumo no sistema produtivo. O coeficiente energético adotado por esse autor foi de 2,28 MJ h<sup>-1</sup>.

A Tabela 11 apresenta os coeficientes energéticos relativos à mão de obra pela força de trabalho humano adotados por alguns pesquisadores.

Tabela 11 - Coeficientes energéticos relativos a mão de obra adotado por alguns pesquisadores.

<b>Coeficiente energético MJ h<sup>-1</sup></b>	<b>Referências</b>
0,39	Carvalho et al. (1974) Campos (2001) Moreira et al. (2005)
2,2	Doering III e Peart (1977) Pimentel e Pimentel (1979) Galli e Spougnoli (1985) Jarach (1985) Campos et al. (1998) Zanini et al. (2003) Campos et al. (2004) Oliveira Júnior e Seixas (2006) Santos (2006) Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009)
1,22	Comitre (1993) Salla (2008)
2,3	Ozkan, Kurklu, Akcaoz (2004) Hatirli, Ozkan e Fert (2005)
4,39	Angonese et al. (2005)
1,96	Yilmaz, Akcaoz e Ozkan (2005) Gundogmus (2006) Erdal et al. (2007) Zangeneh, Omid e Akram (2010) Mobtaker et al. (2010) Unakitan, Hurma, e Yilmaz (2010) Monjezi e Zakidizaji (2012)
0,94	Albuquerque et al. (2010)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Dessa forma, para o cálculo do dispêndio energético relativo ao trabalho humano no presente estudo, adotou-se o coeficiente energético de 2,20 MJ h<sup>-1</sup>, visto que o mesmo foi utilizado por diversos autores, que estudaram a análise energética de agroecossistemas conforme verificado na Tabela 11.

## **b) Combustíveis e lubrificantes**

Em agroecossistemas, o óleo diesel, de acordo com Mourad (2008), é usado como combustível para a maioria dos equipamentos nas operações como gradagem,

subsolagem, pulverização dos defensivos agrícolas, colheita, e também para transporte rodoviário.

Grande parte das pesquisas sobre análise energética utiliza o valor intrínseco dos coeficientes energéticos para óleo diesel, lubrificantes e graxa sem contabilizar os custos energéticos para extração e refino (BUENO, 2002).

Mourad (2008) adotou o coeficiente energético de  $50,7 \text{ MJ kg}^{-1}$ , considerando o trabalho de Sheehan et al. (1998) sobre o ciclo de vida realizado para o diesel nos EUA. Desse modo, o coeficiente associado ao óleo diesel expressa, além de seu poder calorífico, a energia consumida na sua produção, transporte e processamento com uma participação de 91% de energia fóssil, por conta do ajuste dos dados de Sheehan et al. (1998) à realidade brasileira (MOURAD, 2008).

Para os derivados de petróleo, deve ser contabilizado um custo energético adicional referente ao processamento do combustível. Assim, para a obtenção de um litro de combustível, é consumido 1,14 vezes seu poder calorífico (MELLO, 1989). Os seguintes autores consideraram a adição dos 14% ao coeficiente energético dos combustíveis: Costa (2010), Santos (2006), Romero (2005), Campos (2001), Silva (2014), Bueno (2002), Almeida (2007).

De modo geral, os trabalhos nacionais utilizam os poderes caloríficos como representantes dos índices energéticos para os derivados de petróleo, publicados anualmente do Balanço Energético Nacional (BEN). Segundo Romero (2005), esses índices energéticos, principalmente o referente ao óleo diesel, variam de acordo com seus diferentes graus de pureza e, por isso, há necessidade de atualizá-los periodicamente.

A Tabela 12 mostra os coeficientes energéticos adotados por alguns pesquisadores, assim como aqueles correspondentes ao BEN (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

Tabela 12 - Coeficientes energéticos relativos ao óleo diesel e lubrificante adotados por alguns pesquisadores.

Coeficiente energético MJ L <sup>-1</sup>		Referências
Óleo diesel	Lubrificantes	
37,76	37,76	Carmo, Comitre e Dulley (1988)
38,04	-----	Mello (1989)
38,56	35,96	Comitre (1993) Zanini et al. (2003) Campos et al. (2004)
47,70	81,10	Mrini, Senhaji e Pimentel (2001)
38,35	38,54	Santos e Lucas Júnior (2004)
56,30	-----	Ozkan, Kurklu, Akcaoz (2004) Hatirli, Ozkan e Fert (2005) Yilmaz, Akcaoz e Ozkan (2005) Gundogmus (2006) Erdal et al. (2007) Cetin e Vardar (2008) Zangeneh, Omid e Akram (2010) Mobtaker et al. (2010) Unakitan, Hurma, e Yilmaz (2010)
38,00	35,94	Costa et al. (2006)
47,73	-----	Gazzoni et al. (2009)
47,80	-----	Monjezi e Zakidizaji (2012)
42,29	42,37	Empresa de Pesquisa Energética; Ministério de Minas e Energia (2013)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Salla (2008) observou que os índices energéticos nacionais para o óleo diesel são menores que os valores encontrados na literatura internacional. Esse fato se deve, possivelmente, pelos valores nacionais serem constituídos pelo poder calorífico inferior, enquanto que a literatura internacional adota índices para o óleo diesel de acordo com o poder calorífico superior. A Tabela 12 permite verificar essa variação nos índices energéticos dos trabalhos nacionais em relação aos internacionais.

Visando incrementar em bases econômicas, sociais e ambientais a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional, o Presidente da República, através da lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, tornou obrigatória a adição de biodiesel ao óleo diesel, sendo fixado em 5% em volume o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final em qualquer parte do território nacional (BRASIL, 2005). Atualmente está em vigor a lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, que estabelece os seguintes percentuais de adição obrigatória de biodiesel

ao óleo diesel comercializado com o consumidor final em qualquer parte do território nacional: I - 6% (seis por cento), a partir de 1º de julho de 2014; e II - 7% (sete por cento), a partir de 1º de novembro de 2014 (BRASIL, 2014).

Os biocombustíveis possuem propriedades físicas e químicas similares ao combustível fóssil que pretendem substituir, no caso o óleo diesel. De acordo com Bonometo (2009), o poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel é pequena, situando-se na ordem de 5%.

A Tabela 13 apresenta os coeficientes energéticos do biodiesel, de acordo com alguns pesquisadores, e diferentes matérias primas para sua produção.

Tabela 13 - Coeficientes energéticos relativos ao biodiesel adotados por alguns pesquisadores.

<b>Coeficiente energético MJ kg<sup>-1</sup></b>	<b>Referências</b>
37,87 (mamona) 39,52 (babaçu) 37,50 (óleo de fritura) 39,90 (dendê) 39,86 (algodão) 40,15 (piqui)	Costa Neto et al. (2000)
37,68 (canola)	Coronato et al. (2006)
37,3 a 40,0 (soja) 39,10 (dendê) 39,9 (sebo)	Capaz (2009)
39,11 (soja) 39,00 (mamona) 39,08 (pinhão-mansão) 40,1 (óleo de frango) 39,33 (sebo bovino)	Peres et al. (2009 apud BONOMETO, 2009)
42,53 (óleo de frango)	Bonometo (2009)
37,68	Empresa de Pesquisa Energética; Ministério de Minas e Energia (2013)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Neste estudo, o valor dos coeficientes energéticos adotados para o óleo diesel, lubrificante e biodiesel foram aqueles apresentados pelo BEN (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

### **c) Máquinas e implementos**

Um grande avanço histórico na agricultura foi alcançado com a introdução do motor à combustão interna. Tratores e implementos possuem elevada capacidade de realizar trabalho, proporcionando aumento da produtividade das terras já em uso e ampliação das fronteiras agricultáveis (MELLO, 1989)

Segundo Hatirli, Ozkan e Fert (2005), na Turquia, houve um aumento de 33% em 1975 para 76% em 2000 na energia mecânica utilizada na agricultura, fato esse devido ao aumento no nível de tecnologia e no número de tratores.

Carmo, Comitre e Dulley (1988) comentam que existem dificuldades para o cálculo da energia industrial devido à necessidade de computar a energia indireta. Uma maneira de solucionar esse impasse seria utilizar o conceito de valor adicionado, que significa depreciar as máquinas durante a sua vida útil até anulá-lo. Nesse cômputo, não consta a matéria prima de fabricação e, assim, o que resta é exatamente a energia original contida no material com o qual foi construída. Com base no peso das máquinas, os custos energéticos podem ser obtidos por meio de coeficientes energéticos.

Os coeficientes usados pelas autoras desse trabalho, bem como por outros pesquisadores, são mostrados na Tabela 14.



Tabela 14 - Coeficientes energéticos relativos a máquinas e implementos adotados por alguns pesquisadores.

<b>Coeficiente energético MJ kg<sup>-1</sup></b>	<b>Referências</b>
83,49 (maquinário)	Pimentel et al. (1973)
87,12	FAO (1976)
69,83 (trator)	Macedônio e Picchioni (1985)
57,20 (implemento)	Campos (2001)
	Campos et al. (2004)
	Moreira et al. (2005)
	Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009)
22,23 (trator)	
13,52 (equipamentos de cultivo primário)	Carmo, Comitre e Dulley (1988)
10,80 (equipamentos de cultivo secundário)	
92,18	Beber (1989)
	Melo et al. (2007)
14,63 (trator)	
13,01 (colhedeira)	
85,83 (pneus)	Comitre (1993)
8,63 (implementos de cultivo primário)	
8,35 (implementos de cultivo secundário)	
23,4 (trator)	Risoud (2000)
83,74 (máquinas e equipamentos)	Santos e Lucas Júnior (2004)
158,3 (trator)	Hatirli, Ozkan e Fert (2005)
69,83 (trator)	
62,80 (caminhão)	Costa et al. (2006)
57,20 (outros equipamentos)	
62,79 (caminhão)	Biaggioni e Bovolenta (2010)
202,60 (colhedora)	Mantoam (2011)
55,64 (máquinas e implementos)	Silva (2014)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Doering III (1980) calculou os custos energéticos para máquinas agrícolas classificando a energia necessária para esse cálculo em três categorias: a) energia contida nos materiais que compõem a máquina (aço, pneus, fibra de vidro, alumínio, etc.); b) energia utilizada no ponto de manufatura que trata, dá forma aos materiais e fabrica as máquinas; c) energia contida no material e na fabricação dos equipamentos de manutenção que seriam aplicados à máquina agrícola durante sua vida útil. A soma das três categorias corresponde à energia contida na matéria-prima, na fabricação da máquina, nas peças de reparo e na manutenção durante a vida útil da máquina, sendo, portanto, equivalente ao total calórico contido em um trator agrícola.

Comitre (1993) empregou em seu trabalho a metodologia baseada no conceito desenvolvido por Doering III e Peart (1977). Essa metodologia utiliza a depreciação energética baseando-se no peso das máquinas e dos pneus e computando-se somente a energia referente ao valor adicionado na fabricação, 5% referente a reparos e 12% para manutenção da máquina. A equação 3 foi utilizada por Comitre (1993) para o cálculo da energia indireta. Os valores dos coeficientes energéticos utilizados pela autora são mostrados na Tabela 14.

$$\text{Depreciação energética} = (a + b + c + d) \cdot \text{Vida útil}^{-1} \quad (3)$$

Onde:

$a$  = peso das máquinas e implementos . coeficientes energéticos correspondentes

$b$  = 5% de "a"

$c$  = número de pneus . peso . coeficientes energético de referência

$d$  = 12% de (a + b + c)

*Vida útil* = em horas

Beber (1989) calculou a depreciação energética (DE) para máquinas, equipamentos e implementos agrícolas em quilogramas por meio da seguinte equação:

$$DE (kg) = \frac{\text{peso (kg)} - 10\% \text{ do peso (kg)}}{\text{vida útil (h)}} \cdot \text{tempo de utilização (h)} \quad (4)$$

Assim a energia (E) embutida em máquinas e equipamentos pode ser obtida pela equação 5.

$$E_{\text{máq ou equip}} = DE (kg) \cdot \text{coeficiente energético (kcal kg}^{-1}) \quad (5)$$

Mantoam (2011), em seu estudo, determinou a energia incorporada em colhedora autopropelida de cana-de-açúcar, tendo como um dos objetivos apresentar uma metodologia para futuros estudos visando a atualização dos índices de outras máquinas agrícolas. Foram avaliadas duas colhedoras, denominadas Máquina 1 equipada com rodas e

pneus e Máquina 2 equipada com esteiras metálicas, contabilizando o consumo dos insumos (diretos e indiretos) utilizados na fase de montagem, bem como o consumo dos insumos utilizados na fase de manutenção e reparo. Os dados de consumo dos insumos foram processados apresentando os fluxos de materiais utilizados, os quais foram multiplicados pelo seu índice de energia incorporada, resultando na energia incorporada nos insumos. Como resultado, encontrou-se maior energia incorporada ( $204,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) na Máquina 2 em relação à Máquina 1 ( $202,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) durante o ciclo de vida útil (montagem, manutenção e reparo). O autor sugere que, uma vez que as máquinas agrícolas não apresentam diferenças discrepantes de materiais, por exemplo, o chassi de uma colhedora de cereais usa o aço carbono, o seu material rodante de rodas e pneus e a borracha. Esses insumos identificados para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar podem servir como referência para futuros estudos com outras máquinas agrícolas.

Silva (2014), citando o estudo realizado por Mantoam (2011), adotou o coeficiente energético de  $55,64 \text{ MJ kg}^{-1}$  para máquinas e implementos. Segundo a autora, esse coeficiente corresponde apenas aos insumos diretamente (sem a quantidade de borracha dos pneus inserida no total) e insumos indiretamente (insumos comuns e insumos depreciados) utilizados. Ao empregar o coeficiente energético obtido por Mantoam (2011) ( $204,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) na equação 3 para o cálculo de depreciação de máquinas e de implementos, seriam calculados duplamente a depreciação para manutenção e reparos, além da borracha dos pneus e, por isso, há a necessidade de recalculá-lo esse coeficiente.

Neste estudo, o valor do coeficiente energético adotado para os tratores será de  $55,64 \text{ MJ kg}^{-1}$ , conforme Silva (2014);  $85,83 \text{ MJ kg}^{-1}$  para os pneus e  $8,63 \text{ MJ kg}^{-1}$  para os implementos, de acordo com Comitê (1993); e  $62,79 \text{ MJ kg}^{-1}$  para os caminhões, de acordo com Biaggioni e Bovolenta (2010).

#### **d) Adubo inorgânico sintético (NPK)**

Os principais componentes dos fertilizantes químicos são nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). No Brasil, os componentes vêm misturados e agregados sob a forma de matéria seca com formulações contendo  $a\text{N}$ ,  $b\text{P}$  e  $c\text{K}$ , em que  $a$ ,  $b$  e  $c$  são as quantidades físicas de cada produto expressas em quilogramas contidos em 100 kg do produto (MACEDÔNIO e PICCHIONI, 1985).

Segundo Mello (1989), a principal matéria prima para a obtenção dos fertilizantes nitrogenados é o gás natural; para os fosfatados, grande parte da energia resulta da extração e transporte dos minérios de fosfato e enxofre; já o potássio é normalmente utilizado *in natura* e, em alguns casos, pode passar por um processo de enriquecimento ou de separação de outros sais.

Os componentes dos fertilizantes (NPK) possuem custos energéticos diferentes durante seu ciclo de vida. Gellings e Parmenter (2004) dividem esses custos em quatro etapas principais: produção, embalagem, transporte e aplicação, conforme resume a Tabela 15. Esses dados mostram que o custo energético do ciclo de vida total do nitrogênio é 4,5 vezes maior que o dos fertilizantes fosfatados e 5,7 vezes maior do que o dos fertilizantes de potássio. A etapa de produção dos fertilizantes nitrogenados requer cerca de 70.000 kJ kg<sup>-1</sup>, ou seja, corresponde a 90% do total da necessidade calórica.

Tabela 15 – Energia necessária para produzir, embalar, transportar e aplicar os fertilizantes inorgênicos.

	<b>Energia (kJ kg<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>Nitrogênio</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Potássio</b>
<b>Produção</b>	69.530	7.700	6.400
<b>Embalagem</b>	2.600	2.600	1.800
<b>Transporte</b>	4.500	5.700	4.600
<b>Aplicação</b>	1.600	1.500	1.000
<b>Total</b>	78.230	17.500	13.800

Fonte: Gellings e Parmenter (2004).

Albuquerque et al. (2008) também destaca a participação sobressalente dos fertilizantes nitrogenados por serem adicionados em maiores quantidades quando comparados aos potássicos e fosfatados e por consumirem maior quantidade de energia fóssil para sua manufatura (2,00; 0,33 e 0,21 kg de combustível fóssil por kg de fertilizante nitrogenado, fosfatado e potássico, respectivamente).

Para Gellings e Parmenter (2004), o consumo de energia indireta difere do consumo de energia direta, pois, no primeiro caso, a maior parte do custo energético, como aquele associado a fertilizantes, ocorre fora da fazenda.

Os fertilizantes são importantes na produção de alimentos em todo o mundo, pois aumentam a produtividade das culturas. Apesar de benéfico, o uso dos fertilizantes está associado a um crescente consumo energético total da agricultura, sendo

necessária a busca de aperfeiçoamento de sua aplicação e de alternativas ecológicas de baixo custo energético e ambiental (GELLINGS; PARMENTER, 2004 e MELLO, 1989).

Hatirli, Ozkan e Fert (2005) realizaram um estudo sobre o uso da energia na produção agrícola da Turquia no período de 1975 a 2000. Observaram que, com relação aos fertilizantes, houve um aumento significativo nas entradas energéticas no período, passando de  $135.765 \times 10^{12}$  J em 1975 para  $467.996 \times 10^{12}$  J em 2000. Mais uma vez, observa-se que o nitrogênio é o fertilizante de uso mais significativo, com média anual de 4,788 milhões de toneladas e um aumento do consumo de 3,75 vezes no período estudado (1975-2000). Para os fertilizantes de potássio e fósforo, houve um aumento de 5,2 e 1,94 vezes e consumo anual médio de 3,34 e 0,1 milhões de toneladas, respectivamente. Nesse período, verifica-se que a entrada energética referente aos fertilizantes nitrogenados teve um aumento de 83% para 90,3% em relação à entrada energética total; os fertilizantes fosfatados tiveram sua participação na entrada energética total diminuída de 16,8% para 9,4%; os fertilizantes potássicos tiveram participação quase constante na entrada energética total.

A Tabela 16 apresenta os coeficientes energéticos para os fertilizantes inorgânicos sintéticos adotados por alguns autores em seus trabalhos sobre análise energética.

Tabela 16 - Coeficientes energéticos relativos a fertilizantes inorgânicos sintéticos adotados por alguns pesquisadores.

Coeficiente energético MJ kg <sup>-1</sup>			Referências
N	P	K	
61,55	9,63	6,7	Santos (2011)
63,79	13,97	9,79	Macedônio e Picchioni (1985) Zanini et al. (2003) Campos et al. (2004) Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009)
62,71	14,17	9,5	Mello (1989)
73	13	9	Pellizzi (1992) Campos (2001) Moreira et al. (2005) Angonese et al. (2006)
-----	6,97	4,65	Comitre (1993)
47,1	15,8	9,3	Risoud (2000)
75,40	10,90	9,90	Mrini, Senhaji e Pimentel (2001)
62,51	9,63	9,21	Bueno (2002) Albuquerque et al. (2008)
66,14	12,44	11,15	Ozkan, Kurklu, Akcaoz (2004) Yilmaz, Akcaoz e Ozkan (2005) Erdal et al. (2007) Cetin e Vardar (2008) Mobtaker et al. (2010) Unakitan, Hurma, e Yilmaz (2010)
64,40	11,96	6,70	Hatirli, Ozkan e Fert (2005)
60,60	11,10	6,70	Gundogmus (2006)
48,90	17,43	10,38	Costa et al. (2006)
66,99	17,39	13,65	Gazzoni et al. (2009)
66,14	12,44	11,15	Zangeneh, Omid e Akram (2010)
78,10	17,40	13,70	Monjezi e Zakidizaji (2012)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Leach (1976), em seu trabalho sobre a produção de alimentos no Reino Unido, apontou um custo energético médio de 19.111 kcal para a produção de 1 kg de N; 3.344 kcal para cada quilograma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 2.150 kcal para cada quilograma de K<sub>2</sub>O. Assim, segundo o autor, um custo adicional de 120 kcal kg<sup>-1</sup> (0,50 MJ kg<sup>-1</sup>) deve ser adicionado aos equivalentes energéticos dos fertilizantes, correspondente ao transporte marítimo desses produtos.

Para o cálculo do dispêndio energético correspondente aos adubos inorgânicos sintéticos, neste trabalho foram adotados os índices de Macedônio e Picchioni (1985), ou seja, 63,79 MJ kg<sup>-1</sup> para N; 13,97 MJ kg<sup>-1</sup> para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 9,79 MJ kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

A análise da participação de energias fósseis no processo de produção dos fertilizantes industriais nitrogenados foi realizada por Mendes Junior (2011), pois, segundo o autor, sua apresentação na estrutura de dispêndio energético de agroecossistemas nem sempre é distribuída adequadamente. Os resultados foram discutidos por meio de um fluxograma da fabricação da ureia com todas as entradas energéticas necessárias para a produção da mesma. Analisando o fluxograma, Mendes Junior (2011) observou que a classificação energética na estrutura de dispêndios de outros trabalhos não condiz com a realidade, pois os autores não mensuraram todas as entradas energéticas do processo de produção da ureia. Concluiu, então, que é necessário, no ato da classificação na matriz energética, realocar para a fonte fóssil 34,2% do total do coeficiente energético do fertilizante nitrogenado ureia para que, assim, a estrutura de dispêndio energético fique mais próxima da realidade. A proposta de Mendes Junior (2011) foi adotada neste trabalho, ou seja, 34,2% do custo energético com fertilizantes nitrogenados foram realocados na estrutura de dispêndios para a fonte fóssil.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Área de estudo**

O presente trabalho foi desenvolvido na fazenda São João do Araquá II, pertencente à usina São Manoel, localizada no município de São Manuel, SP, distante 7 km da sede da usina. A variedade da cana-de-açúcar cultivada analisada foi a SP 832847. A fazenda possui área total de 137,96 ha. O plantio da cana-de-açúcar nessa área foi realizado em agosto de 2012 e, em dezembro de 2013, foram colhidos uma área de 129,34 ha de cana-de-açúcar. Para efeito de análise do respectivo trabalho, observaram-se as quadras 116, 117, 119 e 122 equivalentes a 35,63 ha que tiveram aplicação da torta de filtro substituindo parcialmente a adubação inorgânica sintética (adubação IS). Assim, o sistema de adubação dessa área foi denominado CTF (com torta de filtro); e as quadras 118, 120 e 121, equivalentes a 34,47 ha, onde foi aplicado somente o adubo inorgânico sintético (adubo IS), sendo o sistema de adubação da área denominada STF (sem torta de filtro). A Figura 6 mostra a delimitação da fazenda São João do Araquá II e os talhões em que o estudo foi realizado.



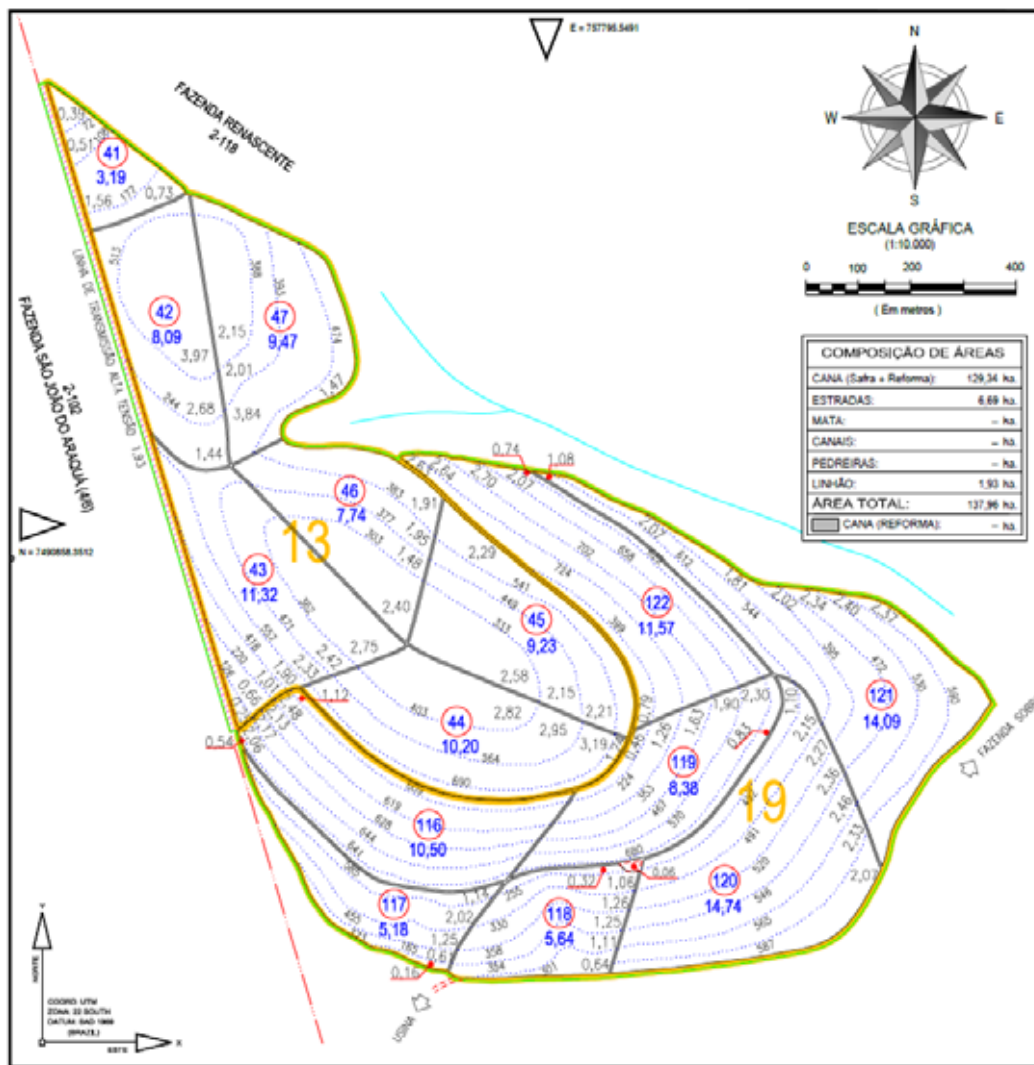


Figura 6 – Localização e área dos talhões estudados.

Fonte: Usina São Manoel.

A torta de filtro obtida como subproduto do processamento industrial da cana-de-açúcar da Usina São Manoel é totalmente utilizada para substituir parcialmente a adubação inorgânica sintética no plantio da cana-de-açúcar. Quando a usina São Manoel iniciou sua produção industrial, a torta de filtro era aplicada nos sulcos de plantio sem critérios agrônômicos, ou seja, aplicavam-se quantidades indeterminadas e em qualquer época do ano. Atualmente, adequa-se a aplicação da torta de filtro tanto ao período de plantio (épocas de maior restrição hídrica), quanto ao tipo de solo (solos mais arenosos ou com baixos teores de matéria orgânica). A usina São Manoel calcula a adubação por meio de uma planilha eletrônica (EXCEL), em que são colocados critérios de adubação (solo, ambiente de produção, corte, produtividade, aplicação de vinhaça, tipo de corte, etc) e as análises de solo (feitas em Agricultura de Precisão – AP). Juntos, esses dados compõem a

recomendação. No geral, a variação da adubação é em nível de bloco (os níveis de detalhamento são: Setor>Fazenda>Bloco>Quadra), sendo a quantidade de torta aplicada fixa em 20 t ha<sup>-1</sup>.

A Tabela 17 mostra a quantidade de torta de filtro e adubo inorgânico sintético líquido produzidos, além do número de fazendas e hectares onde a torta foi aplicada nas últimas safras.

Tabela 17 – Produção e aplicação de torta de filtro e adubo IS líquido na usina São Manoel.

	2010	2011	2012	2013
	2011	2012	2013	2014
<b>Produção torta de filtro (t)</b>	59.250	66.650	42.100	68.450
<b>Produção média diária de torta de filtro (t dia<sup>-1</sup>)</b>	403	428	437	458
<b>Área de aplicação de torta de filtro (ha)</b>	2.120	3.190	1.850	3.350
<b>Número de fazendas com aplicação de torta de filtro</b>	13	26	27	41
<b>Produção e aplicação de adubo IS líquido (m<sup>3</sup>)</b>	5.418	9.873	11.645	7.068
<b>Produção média diária de adubo IS líquido (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>	15	27	32	19

Fonte: Usina São Manoel.

A torta de filtro é aplicada predominantemente em variedades de rusticidade acentuada (tolerância a déficit hídrico) e precocidade (para colheita no início da safra). A Figura 7 apresenta as variedades de cana-de-açúcar em que a torta de filtro foi aplicada nas duas últimas safras, nas quais é possível observar a predominância da variedade SP 832847, alvo deste estudo.

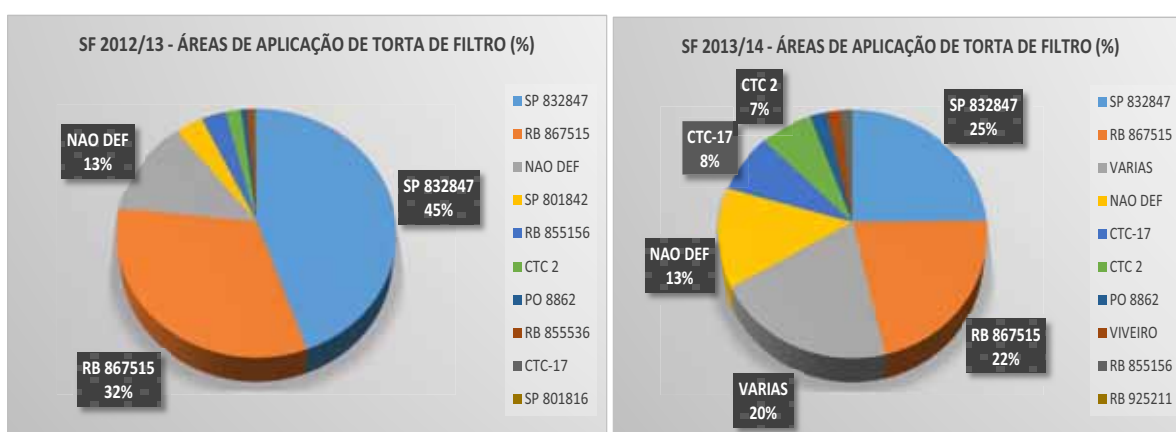


Figura 7– Áreas de aplicação da torta de filtro de acordo com a variedade da cana-de-açúcar na usina São Manoel.

Fonte: Usina São Manoel.

As áreas com sistemas de adubação STF e CTF, pertencentes à fazenda São João do Araquá II, foram escolhidas como locais para coleta dos dados do estudo por apresentarem características semelhantes como sistema de cultivo, tipo de solo, variedade da cana-de-açúcar, distância da sede da usina, diferindo apenas na aplicação ou não da torta de filtro como substituta parcial da adubação inorgânica sintética.

## **5.2 Descrição do itinerário técnico**

Na análise de sistemas agrários, o itinerário técnico pode ser definido como a sucessão lógica e ordenada de operações culturais aplicadas a uma espécie, consórcio de espécies ou sucessão de espécies vegetais cultivadas, sendo que o mesmo conceito pode ser aplicado a grupos de animais (DUFUMIER, 1996 apud PRADO, 1999).

No presente trabalho, o termo itinerário técnico será utilizado de forma similar para descrever a sucessão lógica de operações técnicas para as duas alternativas de adubação (STF e CTF) da cultura de cana-de-açúcar.

O itinerário técnico foi delimitado desde o carregamento do caminhão com adubo inorgânico sintético ou torta de filtro na usina até a aplicação final no campo. Os dados necessários para a construção do itinerário foram obtidos por meio do relato da usina São Manoel e do acompanhamento durante o processo de carregamento, transporte e aplicação do adubo IS e da torta de filtro.

### **5.2.1 Sistema de adubação sem aplicação de torta de filtro (STF)**

A usina São Manoel possui uma unidade misturadora de adubo inorgânico sintético, em que a produção ocorre de acordo com a recomendação e formulação calculada para cada tipo de solo.

O caminhão tanque (Volvo NL-12 360) carregado com cerca de 34.000 litros de adubo inorgânico sintético líquido foi conduzido até a área de aplicação (quadras 118, 120 e 121) a 7 km de distância por estrada não pavimentada, tendo como mão de obra um motorista. Ao chegar ao campo, três tratores do cultivo e sulcação (um trator John Deere 7195J; dois tratores John Deere 7715) com sistemas para aplicação de adubo

líquido foram abastecidos empregando como mão de obra um ajudante e o adubo foi aplicado no solo concomitantemente por três tratoristas. Para adubar 34,47 ha foram necessárias 22 horas contínuas de trabalho, 40.467,78 litros de adubo com formulação 03-10-10 e 2 viagens do caminhão tanque, considerando-se que, na primeira viagem, o caminhão transportou 34.000 litros de adubo, deixou um tanque no campo e retornou à usina para buscar o restante (6.467 litros). Todo o trabalho do caminhão tanque, considerando o carregamento, transporte, descarregamento e retorno à usina levou em média 2,5 horas. Portanto, o rendimento do processo de sulcação/adubação foi de 38'18" ha<sup>-1</sup> e o rendimento do transporte do adubo foi de 4'21" ha<sup>-1</sup>. A Figura 8 mostra um esquema das operações realizadas para aplicação do adubo.



**(1) Fábrica de adubo**



**(2) Carregamento do caminhão tanque na fábrica de adubo**



**(3) Abastecimento do trator com adubo inorgânico sintético**



**(4) Aplicação do adubo inorgânico sintético líquido**

Figura 8 – Operações realizadas na adubação inorgânica sintética da cana-de-açúcar.  
Fonte: Arquivo Pessoal.

### 5.2.2 Sistema de adubação com aplicação de torta de filtro (CTF)

Visto que a torta de filtro é utilizada para substituir parcialmente a adubação inorgânica sintética, a mesma foi aplicada no sulco de plantio após a adubação, que seguiu o mesmo procedimento descrito anteriormente com as seguintes características distintas: a área de adubação foi de 35,63 ha, sendo necessárias 14,45 horas contínuas de trabalho, 26.579,98 litros de adubo inorgânico sintético com formulação 02-08-10 e uma viagem do caminhão tanque. Todo o trabalho do caminhão tanque levou em média 1,45 horas. Portanto, o rendimento do processo de sulcação/adubação foi de 24'20" ha<sup>-1</sup> e o rendimento do transporte do adubo foi de 2'27" ha<sup>-1</sup>.

Após a adubação inorgânica sintética, foi aplicada a torta de filtro. Três caminhões basculantes (Volvo VM 310) carregados com 20 toneladas de torta de filtro seguiram para a área de estudo, distante 7 km da usina, e depositaram a torta em área próxima ao local de aplicação, tendo como mão de obra três motoristas. Posteriormente, as carretas distribuidoras de torta de filtro (Sollus - Spander 20.0 CHTD) foram carregadas por meio de duas pás carregadoras (Caterpillar 938-G e 924-G), empregando como mão de obra dois tratoristas. A torta de filtro foi aplicada no sulco de plantio concomitantemente por sete tratores (um trator John Deere 7515, três tratores John Deere 6165J, três tratores Valtra 1780-4) com mão de obra de sete tratoristas.

Para aplicar a torta de filtro em 35,63 ha, foram necessárias 8,48 horas contínuas de trabalho, 712,6 toneladas de torta de filtro e 35,63 viagens dos caminhões basculantes. Todo o trabalho dos três caminhões basculantes juntos, considerando-se carregamento, transporte, descarregamento e retorno à usina levou em média 16,82 horas. Portanto, o rendimento do processo de aplicação da torta foi de 14'17" ha<sup>-1</sup> e o rendimento do transporte da torta foi de 28'19" ha<sup>-1</sup>. A Figura 9 mostra um esquema das operações realizadas para aplicação da torta de filtro.



**(1) Carregamento da torta de filtro na indústria da usina**



**(2) Depósito de torta de filtro no campo**



**(3) Carregamento da torta de filtro na carreta distribuidora**



**(4) Aplicação da torta de filtro no sulco de plantio**

Figura 9 - Operações realizadas na aplicação da torta de filtro na cana-de-açúcar.  
Fonte: Arquivo pessoal.

### **5.3 Análise energética**

Foram utilizados neste estudo dados de fontes primárias e secundárias. As entradas energéticas foram classificadas e quantificadas conforme o seu tipo, fonte e forma, como visto na Figura 10.



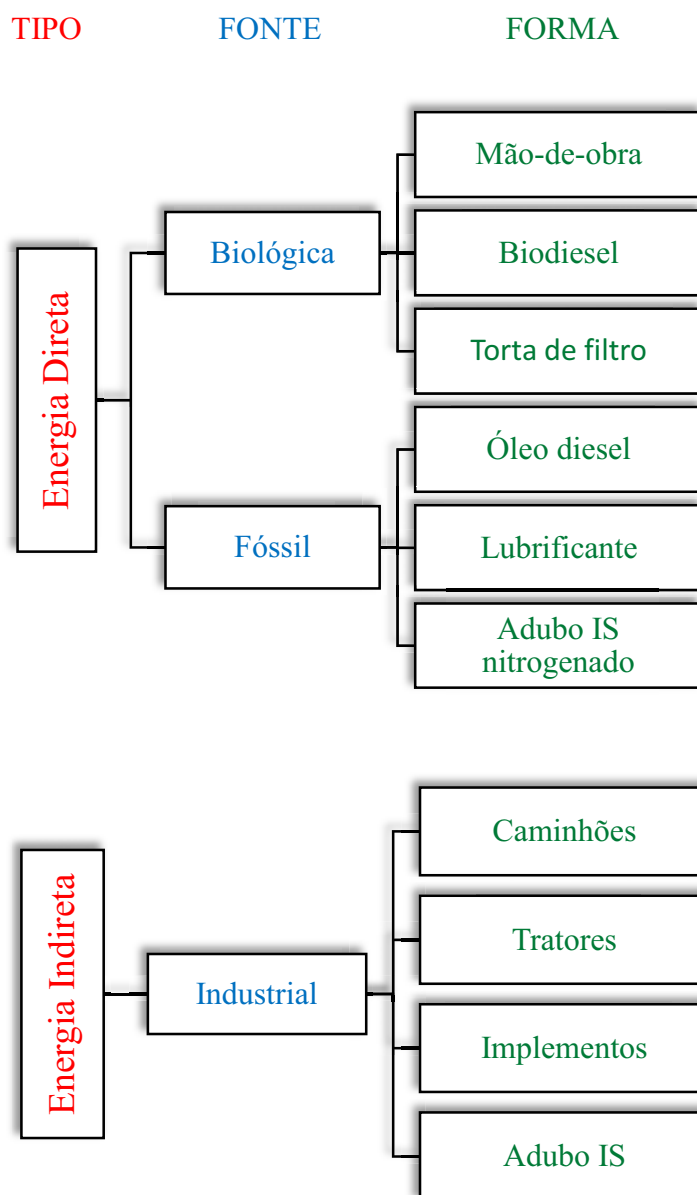


Figura 10 – Classificação das entradas energéticas.  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

As unidades físicas dos coeficientes técnicos dos sistemas foram convertidas em unidades energéticas usando como unidade o Joule e seus múltiplos.

Deve ser ressaltado que, para o cálculo das entradas energéticas, as etapas foram divididas da seguinte forma:

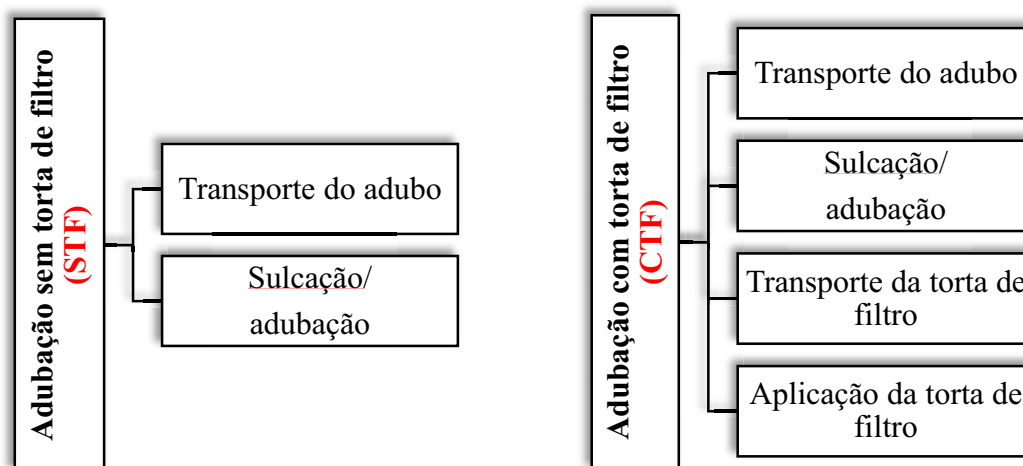


Figura 11 – Etapas do itinerário técnico para os sistemas de adubação STF (sem aplicação da torta de filtro) e CTF (com aplicação de torta de filtro).

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

As Tabelas AP1 e AP2 do Apêndice apresentam, para cada etapa descrita acima, a jornada de trabalho (horas), o rendimento (tempo de operação por hectare), a quantificação da mão de obra, a identificação dos tratores, caminhões e implementos com especificações de consumos de combustível e lubrificantes (litros por hectare).

### 5.3.1 Cálculo das entradas energéticas

#### a) Adubo inorgânico sintético

Na área em estudo, utilizaram-se  $1.450 \text{ kg ha}^{-1}$  de adubo (NPK) com formulação 03-10-10 onde a torta de filtro não foi aplicada e  $900 \text{ kg ha}^{-1}$  de adubo (NPK) com formulação 02-08-10 onde houve aplicação da torta para a substituição parcial da adubação inorgânica sintética. A composição do adubo usado foi determinada de acordo com a necessidade do solo.

Os valores calóricos para o NPK foram os mesmos indicados por Macedônio e Picchioni (1985) e convertidos em  $\text{MJ kg}^{-1}$ : N ( $63,84 \text{ MJ kg}^{-1}$ ),  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $13,98 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $9,71 \text{ MJ kg}^{-1}$ ).

A energia embutida nos fertilizantes foi calculada conforme a equação 6:



$$ET_F = (Q_F \cdot CE_N \cdot P_N) + (Q_F \cdot CE_P \cdot P_P) + (Q_F \cdot CE_K \cdot P_K) \quad (6)$$

Onde:

$ET_F$  = energia total embutida nos fertilizantes inorgânicos sintéticos, MJ ha<sup>-1</sup>

$Q_F$  = quantidade de fertilizante, kg ha<sup>-1</sup>

$CE$  = coeficiente energético do respectivo componente na formulação do fertilizante, MJ kg<sup>-1</sup>

$P$  = percentual do respectivo componente na formulação do fertilizante, %

Parte considerável dos fertilizantes utilizados na formulação é importada. Desse modo, Leach (1976) propõe que seja acrescentado 0,50 MJ kg<sup>-1</sup> referente ao transporte marítimo. O percentual dos fertilizantes provenientes de importação foi estimado a partir dos quadros de importação de matérias-primas e produtos intermediários para fertilizantes apresentados pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (2013) referentes aos anos de 2012 e 2013. A Tabela 18 apresenta a porcentagem média de importação para os anos de 2012 e 2013, para os fertilizantes usados neste trabalho.

Tabela 18 – Porcentagem média de importação de alguns fertilizantes no Brasil, 2012/2013.

<b>Fertilizante</b>	<b>Quantidade média de importação (%)</b>
N	79,29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	54,17
K <sub>2</sub> O	93,85

Fonte: Associação Nacional para Difusão de Adubos (2013).

Combinando-se os dados de porcentagem de importação e os coeficientes energéticos dos elementos da mistura, foi possível obter o valor calórico por hectare dos fertilizantes, conforme mostra a Tabela 19.

Tabela 19 - Valor calórico total por hectare dos fertilizantes utilizados na adubação da cultura da cana-de-açúcar sem e com aplicação de torta de filtro.

	<b>Quantidade (kg ha<sup>-1</sup>) (a)</b>	<b>MJ ha<sup>-1</sup> (b)</b>	<b>(c)</b>	<b>MJ ha<sup>-1</sup> (d)</b>	<b>MJ ha<sup>-1</sup> (e)</b>
<b>Fertilizante (STF)</b>					
N	43,5	2.777,04	0,79	17,24	2.794,28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	145	2.027,1	0,54	39,27	2.066,37
K <sub>2</sub> O	145	1.407,95	0,94	68,04	1.475,99
<b>Fertilizante (CTF)</b>					
N	18	1.149,12	0,79	7,13	1.156,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	72	1.006,56	0,54	19,50	1.026,06
K <sub>2</sub> O	90	873,9	0,94	42,23	916,13

(a) “inputs” totais

(b) Subtotal calórico de “inputs”

(c) Taxa média da quantidade importada

(d) Valor energético do transporte marítimo [“c” x “a” x (0,50 MJ kg<sup>-1</sup>)]

(e) Total calórico dos “inputs” (“b” + “d”)

Fonte: Dados da pesquisa.

## b) Torta de filtro

O coeficiente energético da torta de filtro foi obtido por meio do poder calorífico superior, determinado pelo método da bomba calorimétrica.

A amostra de torta de filtro isenta de umidade teve seu poder calorífico superior (PCS) determinado baseando-se na norma NBR 8633 da ABNT/1884 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984). As medidas foram realizadas em calorímetro da marca PARR 1201, pertencente ao Departamento de Física e Biofísica do Instituto de Biociências - UNESP – Campus de Botucatu - SP.

O calorímetro foi montado como mostrado na Figura 12.

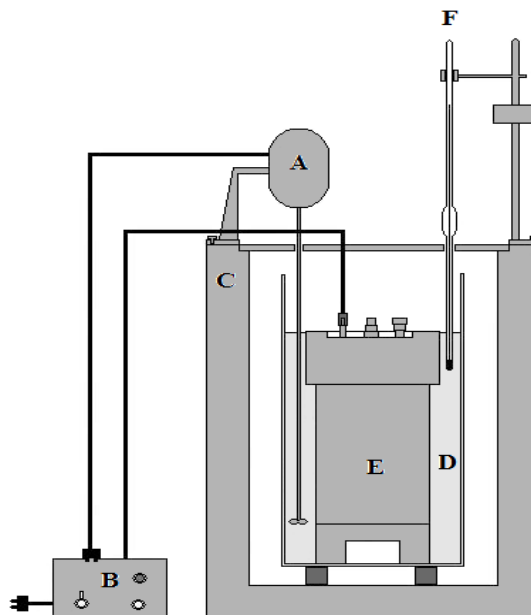


Figura 12 - Conjunto do calorímetro: (A) agitador elétrico, (B) fonte que faz a ignição da pastilha no interior da bomba, (C) recipiente isolante térmico, (D) recipiente com água, (E) bomba calorimétrica, (F) termômetro de mercúrio.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Adicionaram-se 2,5 L (2,5 kg) de água destilada ao compartimento D (Figura 12) e oxigênio no interior da bomba (E) em quantidade suficiente para que fosse possível a combustão completa da amostra. O calorímetro foi ligado e então deixado sob agitação até a verificação da estabilização térmica. Após a estabilização da temperatura, a ignição foi realizada. Verificou-se a variação da temperatura da água adicionada ao calorímetro antes e após a ignição, ou seja, antes e após a combustão da amostra.

A partir da equação 7, calculou-se o poder calorífico superior da torta de filtro.

$$PCS = \frac{(K + M_a)}{M} \Delta t \quad (7)$$

Sendo:

$PCS$  = poder calorífico superior, cal g<sup>-1</sup>

$M_a$  = massa de água utilizada no calorímetro, g

$\Delta t$  = variação de temperatura antes e após a combustão, °C

$K$  = constante do calorímetro, g

$M$  = massa da amostra, g

A equação 8 possibilitou o cálculo da energia embutida na torta de filtro por hectare de cana-de-açúcar cultivada.

$$ET_{TF} = Q_{TF} \cdot PCS_{TF} \quad (8)$$

Onde:

$ET_{TF}$  = energia total contida na torta de filtro, MJ ha<sup>-1</sup>

$Q_{TF}$  = quantidade de torta de filtro aplicada, kg ha<sup>-1</sup>

$PCS_{TF}$  = poder calorífico superior da torta de filtro, MJ kg<sup>-1</sup>

O poder calorífico superior da torta de filtro obtido pelo método da bomba calorimétrica foi de 20,45 MJ kg<sup>-1</sup>. A quantidade de torta de filtro aplicada na área de estudo foi de 20.000 kg ha<sup>-1</sup>.

A Tabela AP8 apresenta algumas análises laboratoriais da composição química da torta de filtro fornecidas pela usina São Manoel.

A composição química mostra que a torta de filtro produzida na usina possui em média 0,7 % de N, 0,8% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,1% K<sub>2</sub>O. Considerando-se que foram aplicados 20.000 kg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro na área de estudo, é possível estimar a energia na forma de NPK embutida na torta de filtro por meio da equação 9.

$$ET_{NPK} = (Q_{TF} \cdot CE_N \cdot P_N) + (Q_{TF} \cdot CE_P \cdot P_P) + (Q_{TF} \cdot CE_K \cdot P_K) \quad (9)$$

Onde:

$ET_{NPK}$  = energia total na forma de NPK embutida na torta de filtro, MJ ha<sup>-1</sup>

$Q_{TF}$  = quantidade de torta de filtro, kg ha<sup>-1</sup>

$CE$  = coeficiente energético do respectivo componente contido na torta de filtro, MJ kg<sup>-1</sup>

$P$  = percentual do respectivo componente contido na torta de filtro, %

A Tabela 20 mostra o valor calórico por hectare de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O contidos na torta de filtro que foi utilizada como adubo orgânico na cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 20 - Valor calórico total por hectare dos fertilizantes contidos na torta de filtro.

Fertilizante	Quantidade (kg ha <sup>-1</sup> )	MJ ha <sup>-1</sup>
	(a)	(b)
N	140	8.937,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	160	2.236,8
K <sub>2</sub> O	20	194,2

(a) "inputs" totais

(b) Total calórico de "inputs"

Fonte: Dados da pesquisa.

### c) Mão de obra

A energia contida no trabalho dos agricultores nas operações do itinerário técnico foi determinada multiplicando-se o rendimento de cada etapa dos sistemas de adubação STF e CTF pelo coeficiente energético adotado de acordo com a equação 10.

$$ET_{MO} = CE_{MO} \cdot R \quad (10)$$

Onde:

$ET_{MO}$  = energia total da mão de obra, MJ ha<sup>-1</sup>

$CE_{MO}$  = coeficiente energético, MJ h<sup>-1</sup>

$R$  = rendimento, h ha<sup>-1</sup>

O coeficiente energético adotado foi de 2,2 MJ h<sup>-1</sup>, de acordo com Campos et al. (1998), e utilizado por Oliveira Júnior; Seixas (2006), Assenheimer; Campos, Gonçalves Júnior, (2009) e Campos et al. (2009).

### d) Combustíveis e lubrificantes

A energia total gasta com combustíveis e lubrificantes foi calculada pela equação 11. O combustível utilizado em todos os veículos da usina São Manoel é o Diesel BS500, composto por 95% de óleo diesel e 5% de biodiesel.

$$ET_{CL} = (Q_{OD} \cdot CE_{OD}) \cdot 95\% + (Q_B \cdot CE_B) \cdot 5\% + (Q_L \cdot CE_L) \quad (11)$$

Onde:

$ET_{CL}$  = energia total embutida nos combustíveis e lubrificantes, MJ ha<sup>-1</sup>

$Q$  = quantidade de óleo diesel, biodiesel ou lubrificante, L ha<sup>-1</sup>

$CE$  = coeficiente energético do óleo diesel, biodiesel ou lubrificante, MJ L<sup>-1</sup>

As quantidades (L ha<sup>-1</sup>) de óleo diesel, biodiesel e lubrificante consumidos pelos equipamentos em cada etapa do itinerário técnico foram obtidas por meio do rendimento (h ha<sup>-1</sup>) das operações e consumo médio (L h<sup>-1</sup> ou L km<sup>-1</sup>) dos equipamentos.

Os coeficientes energéticos adotados foram aqueles citados no Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013), sendo 10.100 kcal kg<sup>-1</sup> para o óleo diesel, 9.000 kcal kg<sup>-1</sup> para o biodiesel e 10.120 kcal kg<sup>-1</sup> para os lubrificantes. Considerando a densidade específica para óleo diesel, biodiesel e lubrificante de 0,840 kg L<sup>-1</sup>, 0,880 kg L<sup>-1</sup> e 0,875 kg L<sup>-1</sup>, respectivamente, foi possível obter os poderes caloríficos de 8.484 kcal L<sup>-1</sup> (35,52 MJ L<sup>-1</sup>), 7.920 kcal.L<sup>-1</sup> (33,16 MJ L<sup>-1</sup>), e 8.855 kcal.L<sup>-1</sup> (37,07 MJ L<sup>-1</sup>).

Deve-se acrescentar 14% ao valor do poder calorífico dos produtos derivados de petróleo devido aos maiores custos energéticos para seus processamentos (MELLO, 1989). Levando-se em conta esse fato e multiplicando os valores de poder calorífico por 1,14, os coeficientes energéticos finais são 40,49 MJ L<sup>-1</sup> para o óleo diesel e 42,26 MJ L<sup>-1</sup> para lubrificantes.

A Tabela AP7 do Apêndice mostra o consumo e a energia embutida no óleo diesel, biodiesel e lubrificante em cada etapa do itinerário técnico do transporte e aplicação de adubo e torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar.

### **e) Máquinas e implementos**

A energia embutida nas máquinas e implementos foi obtida pela depreciação energética, sendo calculada pela equação 3 (COMITRE, 1993).

Durante os itinerários técnicos das adubações STF e CTF, foram utilizados cinco modelos de tratores: John Deere 7195J (195 cv), John Deere 7715 (182 cv), John Deere 7515 (140 cv), John Deere 6165J (165 cv) e Valtra 1780-4 (126 cv); dois modelos de pás carregadoras: Caterpillar 938-G e Caterpillar 924-G; implementos para

adubação (fabricado na usina); e um modelo de carreta distribuidora de torta de filtro: Sollus - Spander 20.0 CHTD.

Os pesos de embarque de todos os equipamentos, exceto o implemento de sulcação/adubação, foram obtidos por meio dos respectivos catálogos do fabricante. De acordo com Borges (2001 apud BUENO, 2002), o peso de embarque dos tratores é obtido quando os mesmos estão sem contrapesos, sem água nos pneus, sem operador e com 20 litros de óleo diesel. Desse modo, o peso em ferro dos tratores, necessário para o cálculo da depreciação energética, foi encontrado somando-se o peso de embarque com os contrapesos (verificados nos tratores durante sua operação) e subtraindo-se a massa dos pneus (obtidas em catálogos dos fabricantes), além dos 20 litros de óleo diesel. Para as pás carregadoras, subtraiu-se do peso de embarque a massa dos pneus e os 20 litros de óleo diesel (nesse caso não há contrapesos). Para carreta de distribuição de torta de filtro, subtraiu-se do peso de embarque somente a massa dos pneus. O implemento de sulcação/adubação teve seu peso em ferro determinado através do conhecimento da quantidade de ferro utilizada para sua fabricação.

Os coeficientes energéticos adotados para o cálculo da depreciação energética foram  $55,64 \text{ MJ kg}^{-1}$  para os tratores (SILVA, 2014),  $85,83 \text{ MJ kg}^{-1}$  para os pneus e  $8,63 \text{ MJ kg}^{-1}$  para os implementos (COMITRE, 1993). Para os caminhões, foi adotado o valor de  $62,79 \text{ MJ kg}^{-1}$  utilizado anteriormente no trabalho de Biaggioni e Bovolenta (2010).

Os dados de vida útil e horas de uso por ano de caminhões, máquinas e implementos agrícolas (Tabela AP6, Apêndice) foram fornecidos pela usina São Manoel.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os objetivos deste trabalho foram analisar os fluxos energéticos envolvidos na aplicação da torta de filtro para fertilização da cultura de cana-de-açúcar na usina São Manoel e comparar com os mesmos fluxos quando se utilizam somente fertilizantes inorgânicos sintéticos sem aplicação da torta de filtro. Para atingi-los, serão apresentados e discutidos neste capítulo os dispêndios de energia para cada etapa de transporte e aplicação de adubo inorgânico sintético e da torta de filtro. A partir destes dados, foi possível obter a estrutura de dispêndios energéticos para os dois sistemas de adubação (STF e CTF) e compará-los com relação à participação da energia por tipo, fonte e forma. Com base no trabalho de Mendes Júnior (2011), já apresentado na revisão da literatura, 34,2% do custo energético com adubo IS nitrogenado foi realocado para fonte de origem fóssil para que a estrutura de dispêndio se tornasse mais próxima da realidade. A usina em estudo utiliza o Biodiesel B5 (95% de óleo diesel e 5% de biodiesel) e, por isso, houve o deslocamento de uma parte da energia de fonte fóssil para a fonte biológica.

### **6.1 Entradas energéticas por etapa do itinerário técnico**

As análises a seguir detalham os dispêndios energéticos por etapa dos sistemas de adubação com e sem aplicação de torta de filtro. Os cálculos foram realizados de acordo com o descrito no capítulo de materiais e métodos e com os dados contidos nas Tabelas AP1 a AP7 do apêndice.



### 6.1.1 Adubação sem torta de filtro

#### a) Transporte do adubo inorgânico sintético

A Tabela 21 e a Figura 13 apresentam a participação das entradas energéticas por tipo, fonte e forma no transporte do adubo IS na adubação STF. Verifica-se que o tipo de energia predominante é a direta com 55,12% de participação do total das entradas energéticas. Com relação à fonte, a etapa de transporte mostra-se bastante dependente da energia fóssil, a qual representa 52,48% do total de dispêndios. O óleo diesel é o responsável por esta dependência por compor quase totalmente os 52,48% de energia de fonte fóssil. A energia do tipo indireta, com 44,87%, é representada exclusivamente pela fonte industrial e depreciação energética do caminhão tanque que transporta o adubo IS.

Tabela 21 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha<sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético STF.

<b>TIPO, fonte, forma</b>	<b>Entradas energéticas (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Participação (%)</b>
<b>ENERGIA DIRETA</b>	<b>22,97</b>	<b>55,13</b>
<b>  Biológica</b>	<b>1,10</b>	<b>2,64</b>
Mão de obra	0,16	0,38
Biodiesel	0,94	2,26
<b>  Fóssil</b>	<b>21,87</b>	<b>52,48</b>
Óleo diesel	21,87	52,48
Lubrificante	0,00029	0,00069
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>18,70</b>	<b>44,87</b>
<b>  Industrial</b>	<b>18,70</b>	<b>44,87</b>
Caminhão	18,70	44,87
<b>  Total</b>	<b>41,67</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

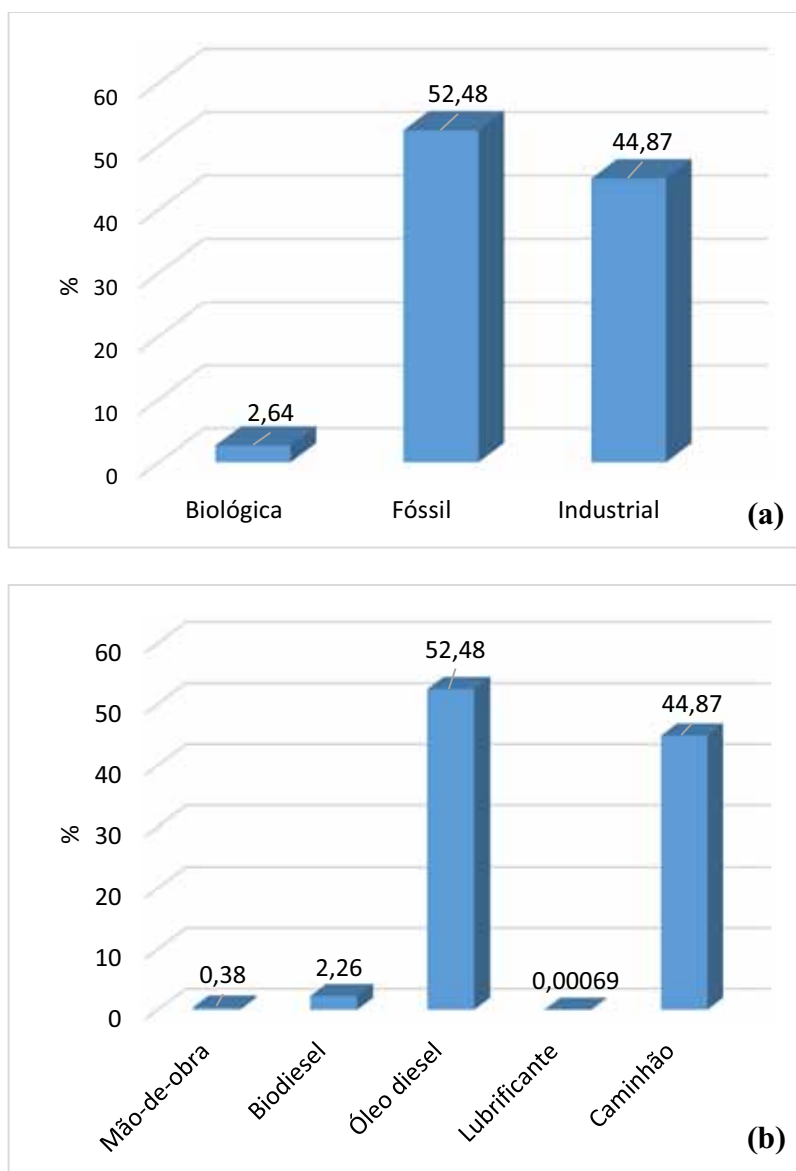


Figura 13 – Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético STF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.

Fonte: Dados da pesquisa.

### b) Sulcação e adubação

Analisando a Tabela 22 e a Figura 14, nota-se que a elevada participação da energia do tipo indireta (75,38%) contrapõe a do tipo direta (24,62%). Para a fonte, a maior participação foi a industrial, cujo principal constituinte é o adubo IS, que corresponde a 75,03% das entradas energéticas.

Na composição da energia direta, a maior participação se origina de fonte fóssil devido primeiramente à parte do adubo inorgânico sintético nitrogenado com 13,32% e seguido pelo óleo diesel com 10,58% de participação.

Na etapa de sulcação e adubação STF, o destaque das entradas energéticas foi o adubo IS, evidenciando a elevada dependência dessa etapa em termos de energia não renovável. Uma alternativa para redução do uso de adubos IS seria a sua substituição por outro adubo que não fosse proveniente de fonte fóssil como a torta de filtro, que é considerada uma energia de fonte biológica. Os itens a seguir apresentarão os resultados obtidos para essa substituição parcial na usina em estudo.

Tabela 22 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha<sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de sulcação e adubação STF.

<b>TIPO, fonte, forma</b>	<b>Entradas energéticas (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Participação (%)</b>
<b>ENERGIA DIRETA</b>	<b>1.765,63</b>	<b>24,62</b>
<b>  Biológica</b>	<b>34,12</b>	<b>0,47</b>
Mão de obra	1,40	0,019
Biodiesel	32,72	0,46
<b>  Fóssil</b>	<b>1.731,51</b>	<b>24,14</b>
Óleo diesel	758,71	10,58
Lubrificante	17,15	0,24
Adubo IS nitrogenado	955,64	13,32
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>5.405,81</b>	<b>75,38</b>
<b>  Industrial</b>	<b>5.405,81</b>	<b>75,38</b>
Tratores	24,53	0,34
Implemento	0,27	0,0038
Adubo IS	5.381,00	75,03
<b>  Total</b>	<b>7.171,44</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

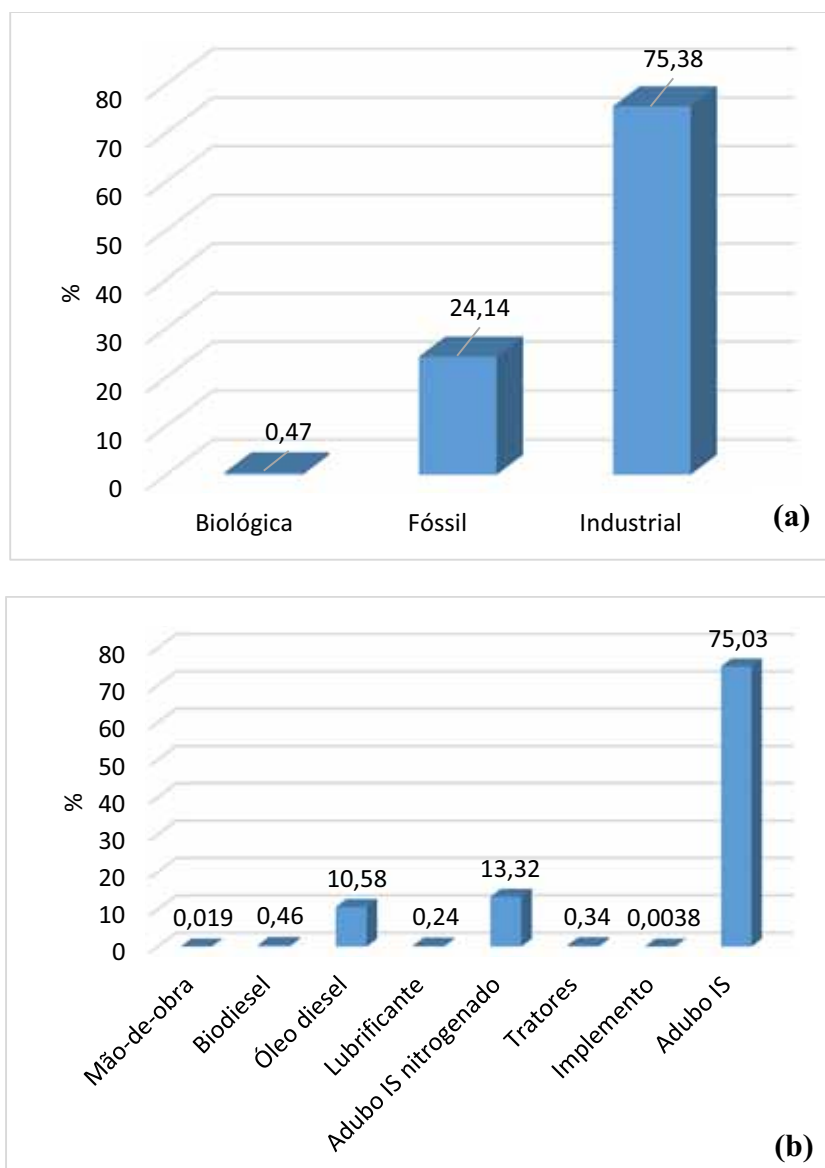


Figura 14 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de sulcação e adubação STF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma. Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

### 6.1.2 Adubação com torta de filtro

#### a) Transporte do adubo inorgânico sintético

Para a etapa de transporte do adubo IS na adubação STF, a Tabela 23 e Figura 15 mostram a maior participação do tipo de energia indireta (62,70%) representada somente por fonte industrial e depreciação energética do caminhão tanque. Para

a energia do tipo direta (37,30%), a maior participação é de fonte fóssil (35,47%), sendo o óleo diesel a forma predominante de energia com 35,47% de participação nas entradas energéticas.

Tabela 23 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha<sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético CTF.

<b>TIPO, fonte, forma</b>	<b>Entradas energéticas (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Participação (%)</b>
<b>ENERGIA DIRETA</b>	<b>11,12</b>	<b>37,30</b>
<b>  Biológica</b>	<b>0,54</b>	<b>1,82</b>
Mão de obra	0,089	0,30
Biodiesel	0,45	1,52
<b>  Fóssil</b>	<b>10,58</b>	<b>35,47</b>
Óleo diesel	10,58	35,47
Lubrificante	0,000016	0,000054
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>18,70</b>	<b>62,70</b>
<b>  Industrial</b>	<b>18,70</b>	<b>62,70</b>
Caminhão	18,70	62,70
<b>  Total</b>	<b>29,82</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

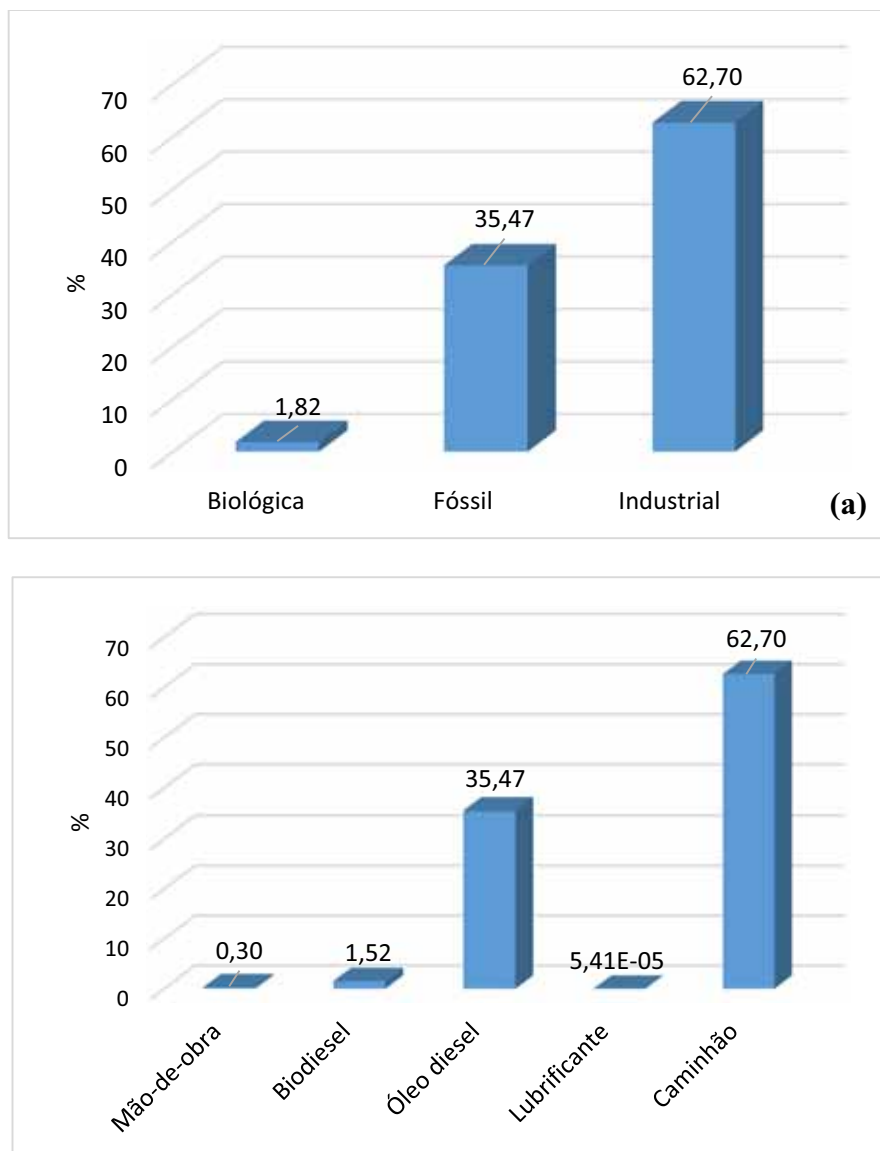


Figura 15 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de transporte de adubo inorgânico sintético CTF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma.

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

## b) Sulcação e adubação

Na etapa de sulcação e adubação que antecede a aplicação da torta de filtro, verifica-se que 25,01% da entrada de energia correspondem ao tipo direta, enquanto que 74,98% correspondem à energia indireta, conforme a Tabela 24 e Figura 16. Os dispêndios relativos à energia direta têm como fonte principal a energia fóssil (24,42%) do óleo diesel com 13,25% e do adubo IS nitrogenado com 10,87%. Alternativamente, o

consumo da energia indireta está relacionado à fonte industrial com o uso predominante de adubo IS, que representa 74,98% do total de dispêndios desta etapa.

Tabela 24 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha<sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de sulcação e adubação CTF.

<b>TIPO, fonte, forma</b>	<b>Entradas energéticas (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Participação (%)</b>
<b>ENERGIA DIRETA</b>	<b>910,02</b>	<b>25,01</b>
<b>  Biológica</b>	<b>21,67</b>	<b>0,59</b>
Mão de obra	0,89	0,024
Biodiesel	20,77	0,57
<b>  Fóssil</b>	<b>888,35</b>	<b>24,42</b>
Óleo diesel	482,01	13,25
Lubrificante	10,90	0,30
Adubo IS nitrogenado	395,44	10,87
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>2.727,81</b>	<b>74,98</b>
<b>  Industrial</b>	<b>2.727,81</b>	<b>74,98</b>
Tratores	24,53	0,67
Implementos	0,27	0,0075
Adubo IS	2.703,01	74,30
<b>  Total</b>	<b>3.637,83</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

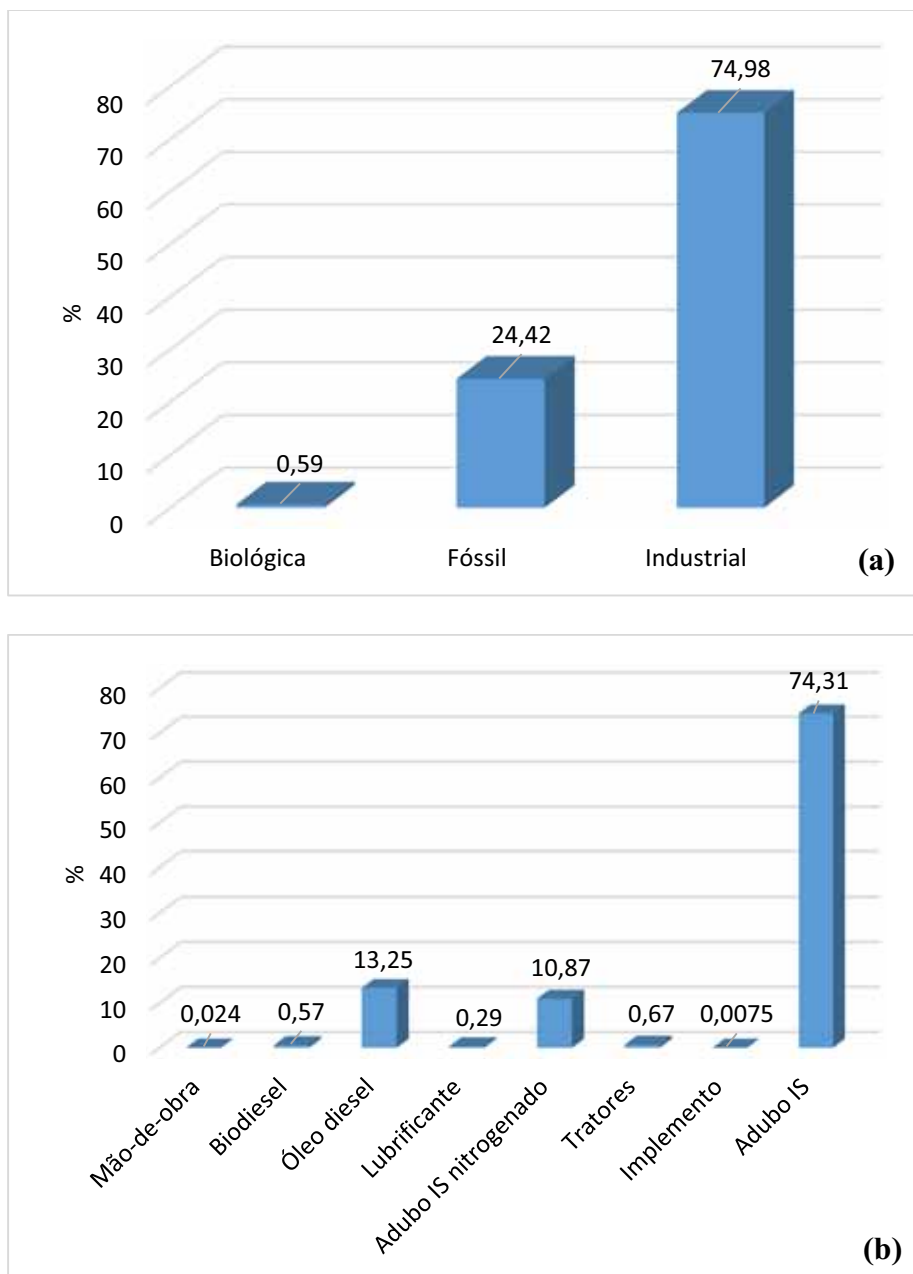


Figura 16 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de sulcação e adubação CTF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma. Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

### c) Transporte da torta de filtro

Nesta etapa, conforme os dados da Tabela 25 e Figura 17, verifica-se uma grande diferença entre as entradas energéticas do tipo direta e indireta, que correspondem respectivamente a 97,62% e 2,38%. A energia direta é composta quase exclusivamente por fonte fóssil (93,47%) representada basicamente pela energia contida no



óleo diesel, que é de 93,44% do total consumido no transporte da torta de filtro. O óleo diesel é o principal responsável pela dependência de energia não renovável desta etapa.

A energia do tipo indireta, com baixíssima participação nas entradas energéticas, é representada unicamente pela fonte industrial e pela depreciação energética dos três caminhões basculantes que transportam a torta de filtro da indústria até o campo.

Tabela 25 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha<sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de transporte de torta de filtro.

<b>TIPO, fonte, forma</b>	<b>Entradas energéticas (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Participação (%)</b>
<b>ENERGIA DIRETA</b>	<b>793,26</b>	<b>97,62</b>
<b>Biológica</b>	<b>33,76</b>	<b>4,15</b>
Mão de obra	1,04	0,13
Biodiesel	32,72	4,03
<b>Fóssil</b>	<b>759,50</b>	<b>93,46</b>
Óleo diesel	759,30	93,44
Lubrificante	0,20	0,025
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>19,33</b>	<b>2,38</b>
<b>Industrial</b>	<b>19,33</b>	<b>2,38</b>
Caminhões	19,33	2,38
<b>Total</b>	<b>812,59</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

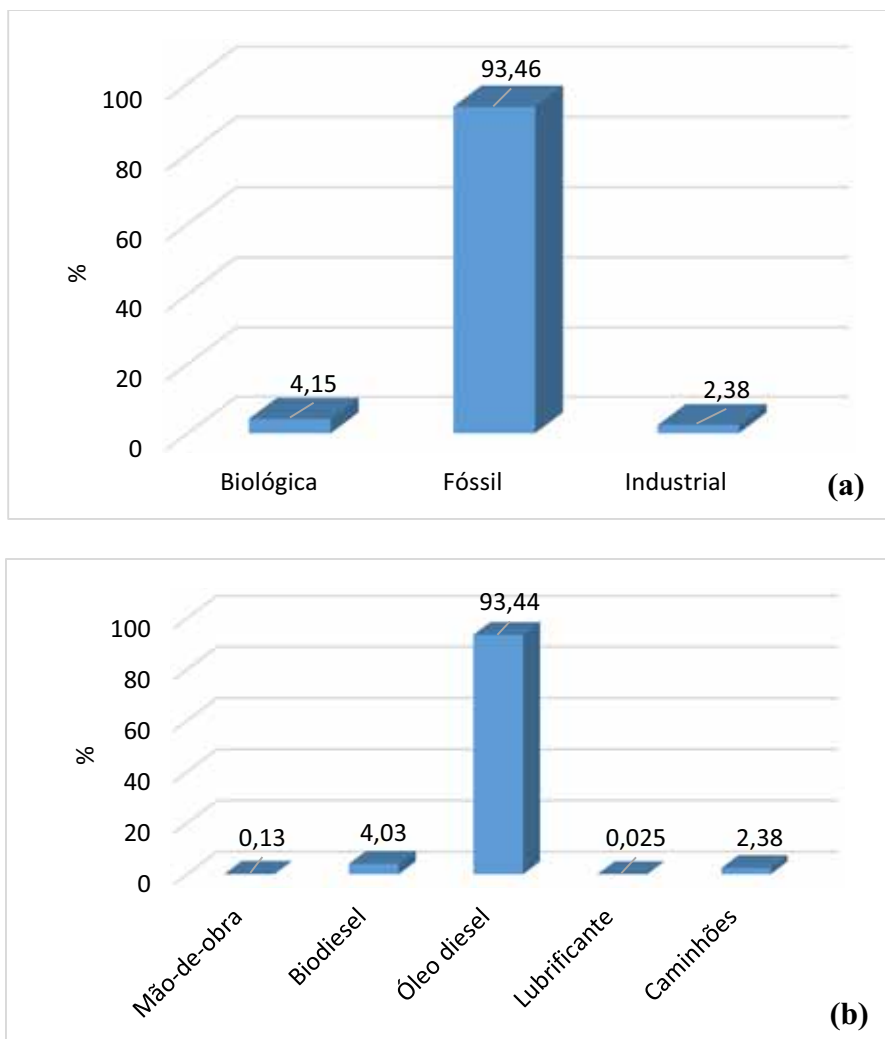


Figura 17 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de transporte de torta de filtro. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma. Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

#### d) Aplicação da torta de filtro

A aplicação da torta de filtro no sulco de plantio requer várias fontes de energia, como pode ser visto na Tabela 26 e na Figura 18. A quantidade de torta de filtro aplicada é elevada e contém poder calorífico significativo; desse modo, ela se sobressai dentre as demais entradas energéticas. Há um desequilíbrio entre as entradas de energia do tipo direta (99,98%) e indireta (0,015%) devido à energia de fonte biológica (99,81%) com destaque para a torta de filtro (99,80%). É importante ressaltar que a torta de filtro foi considerada fonte biológica, porém a sua aplicação utiliza vários tratores e, conseqüentemente, óleo diesel, que é de fonte fóssil. Assim, a aplicação da torta também é dependente de energia não renovável.

Tabela 26 - Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ ha<sup>-1</sup> e participações percentuais na etapa de aplicação da torta de filtro.

<b>TIPO, fonte, forma</b>	<b>Entradas energéticas (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Participação (%)</b>
<b>ENERGIA DIRETA</b>	<b>409.755,17</b>	<b>99,98</b>
<b>  Biológica</b>	<b>409.031,18</b>	<b>99,81</b>
Mão de obra	0,52	0,00013
Biodiesel	30,66	0,0075
Torta de filtro	409.000,00	99,80
<b>  Fóssil</b>	<b>723,99</b>	<b>0,18</b>
Óleo diesel	711,75	0,17
Lubrificante	12,24	0,0030
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>61,20</b>	<b>0,015</b>
<b>  Industrial</b>	<b>61,20</b>	<b>0,015</b>
Tratores	57,05	0,014
Implementos	4,15	0,0010
<b>  Total</b>	<b>409.816,38</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

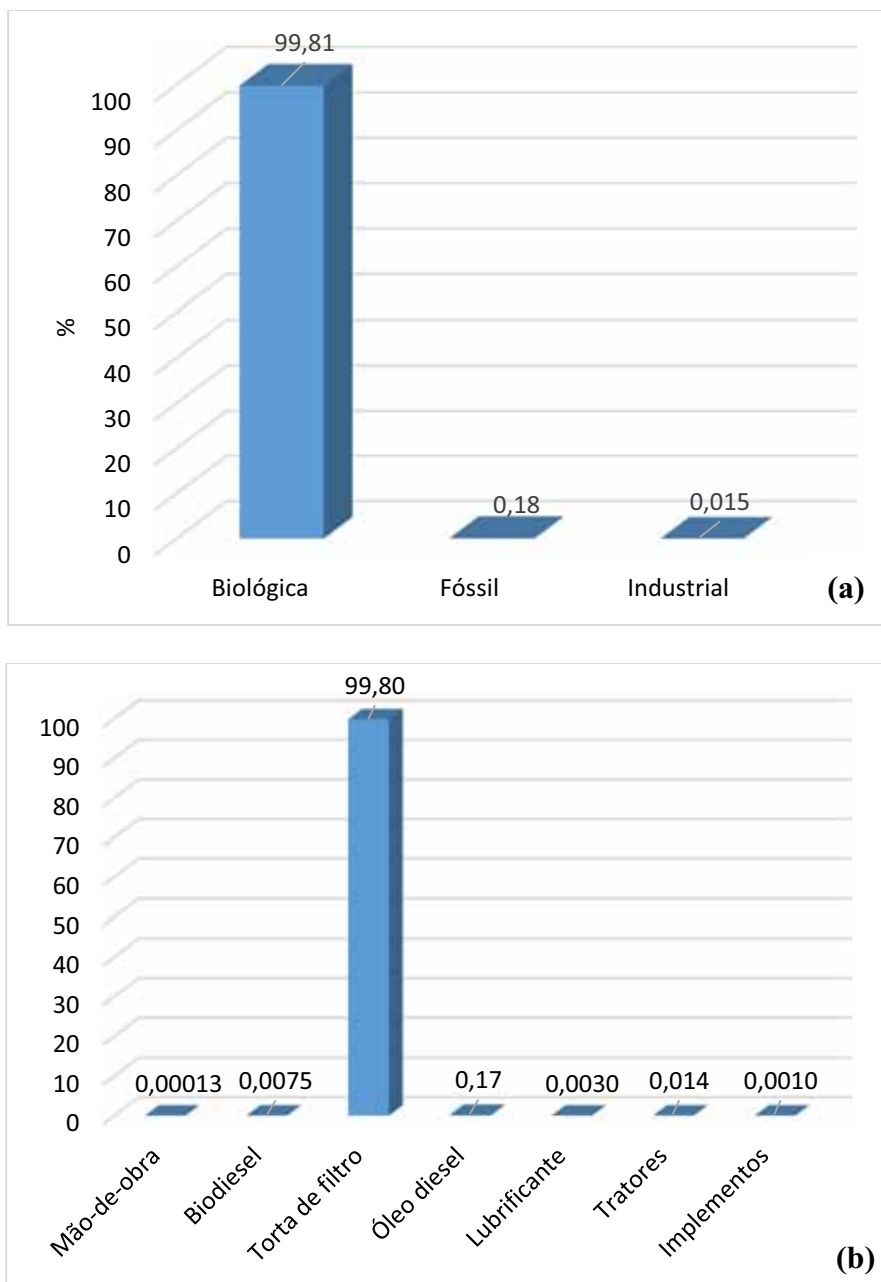


Figura 18 - Participações percentuais das entradas energéticas na etapa de aplicação da torta de filtro. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma. Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

## 6.2 Matriz energética dos sistemas de adubação

A Tabela 27 e a Figura 19 apresentam a estrutura de dispêndios energéticos por tipo, fonte e forma para os sistemas de adubação com e sem aplicação de torta de filtro.

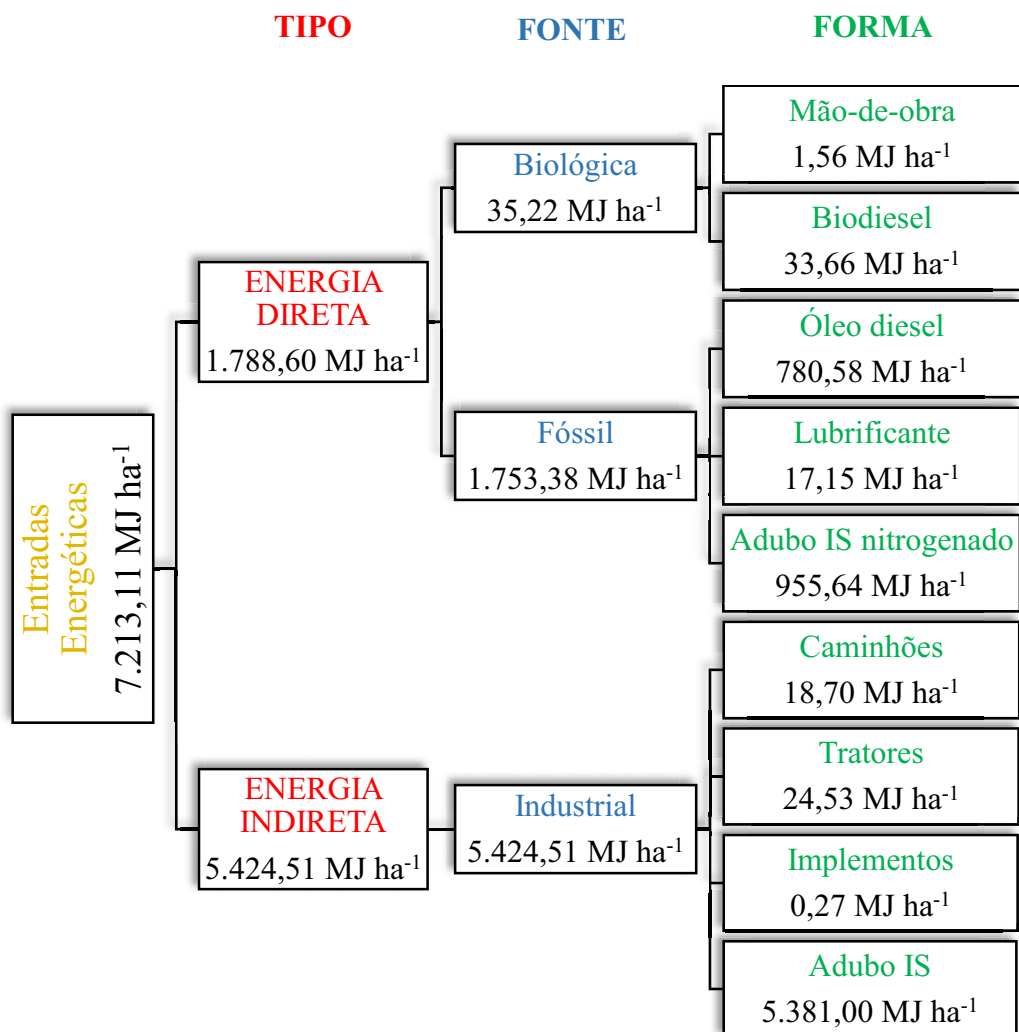
Analisando separadamente o sistema de adubação sem aplicação da torta de filtro, pode-se notar a predominância da energia do tipo indireta com 75,20% de participação nas entradas energéticas. O adubo inorgânico sintético alocado como energia industrial teve a maior contribuição na entrada de energia indireta, participando com 74,60%. Para a energia direta (24,80%), o óleo diesel e parte do adubo IS nitrogenado, ambos de fonte fóssil, contribuíram respectivamente com 10,82% e 13,24% das entradas energéticas totais. Nesse sistema, a adubação é realizada somente com adubo inorgânico sintético, o que justifica seu custo energético sobressalente às demais entradas energéticas.

A análise do sistema de adubação com aplicação da torta de filtro evidencia a predominância da energia direta (99,32%) de fonte biológica (98,74%), sendo a torta de filtro a principal colaboradora com 98,72% de participação no total das entradas energéticas. A energia indireta tem uma pequena participação na estrutura de dispêndios de 0,68%, sendo atribuída ao uso do adubo IS 0,65% do total de entradas energéticas. Nesse sistema de adubação, aproximadamente a metade do adubo IS é substituído pelo adubo orgânico torta de filtro. Assim, observa-se que o custo energético do adubo IS, tanto de fonte fóssil como de fonte industrial, reduz-se quase pela metade em comparação à adubação sem aplicação da torta de filtro. Como a quantidade de torta de filtro aplicada é elevada e a mesma possui alto poder calorífico, praticamente todo dispêndio energético do sistema se deve a sua utilização.

Tabela 27 – Estrutura de dispêndios por tipo, fonte e forma de energia para os sistemas de adubação STF e CTF na cultura de cana-de-açúcar.

TIPO, fonte, forma	Entradas energéticas (MJ ha <sup>-1</sup> )		Participação (%)	
	Sem torta de filtro	Com torta de filtro	Sem torta de filtro	Com torta de filtro
<b>ENERGIA DIRETA</b>	<b>1.788,60</b>	<b>411.469</b>	<b>24,80</b>	<b>99,32</b>
<b>Biológica</b>	<b>35,22</b>	<b>409.087</b>	<b>0,49</b>	<b>98,74</b>
Mão de obra	1,56	2,54	0,022	0,00061
Biodiesel	33,66	84,61	0,47	0,020
Torta de filtro	-----	409.000	-----	98,72
<b>Fóssil</b>	<b>1.753,38</b>	<b>2382,38</b>	<b>24,31</b>	<b>0,57</b>
Óleo diesel	780,58	1963,64	10,82	0,47
Lubrificante	17,15	23,30	0,24	0,0056
Adubo IS nitrogenado	955,64	395,44	13,25	0,095
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>5.424,51</b>	<b>2827,05</b>	<b>75,20</b>	<b>0,68</b>
<b>Industrial</b>	<b>5.424,51</b>	<b>2827,05</b>	<b>75,20</b>	<b>0,68</b>
Caminhões	18,70	38,03	0,26	0,0092
Tratores	24,53	81,58	0,34	0,020
Implementos	0,27	4,43	0,0038	0,0011
Adubo IS	5.381,00	2.703,01	74,60	0,65
<b>Total</b>	<b>7.213,11</b>	<b>414.296,05</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados da pesquisa.



(a)

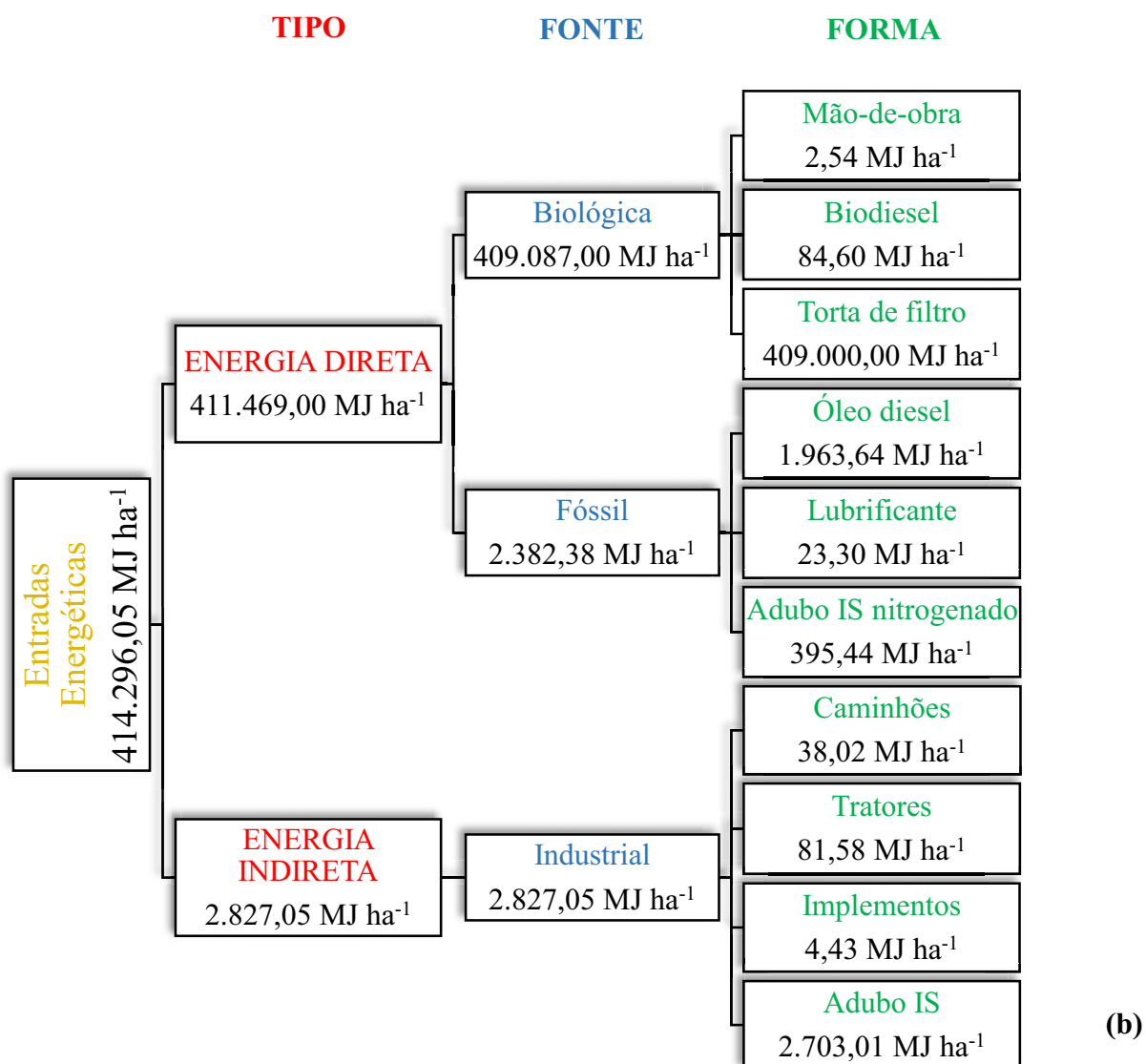


Figura 19 - Estrutura de dispêndios por tipo, fonte e forma de energia para os sistemas de adubação (a) STF e (b) CTF na cultura de cana-de-açúcar.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2014).



As entradas energéticas dos sistemas STF e CTF possuem uma diferença considerável de 98,26%, sendo o sistema CTF com maior valor, apontando preliminarmente que o sistema STF é energeticamente mais eficiente já que no sistema CTF há elevada entrada energética devido à grande quantidade de torta de filtro aplicada para substituir parte do adubo IS. Porém, a torta de filtro é classificada como energia de fonte biológica e por isso é importante analisar criteriosamente a classificação dos dispêndios energéticos também em termos qualitativos e não somente quantitativos. Sendo a maior parte da entrada energética composta pela torta de filtro, que é de fonte biológica, o impacto ambiental é considerado reduzido em comparação a sistemas que possuem elevada dependência de energia de fonte fóssil. Assim para avaliar energeticamente e ambientalmente os sistemas de adubação deste estudo, é importante compará-los em relação aos dispêndios energéticos de fontes não renováveis. A Tabela 27 mostra que no sistema de adubação STF, 24,31% do total das entradas energéticas provem de fonte fóssil, enquanto no sistema CTF apenas 0,57% representa a energia de fonte fóssil no total de dispêndios energéticos. Esse desequilíbrio percentual nas participações das entradas energéticas de fonte fóssil quando se compara os sistemas STF e CTF é devido a elevada participação da torta de filtro no total de dispêndios energéticos do sistema CTF. Assim ao analisar os sistemas de adubação ainda com relação as entradas energéticas, porém em MJ ha<sup>-1</sup> (Figura 19), verifica-se que para o sistema CTF o dispêndio energético relativo a energia de fonte não renovável (2.382,38 MJ ha<sup>-1</sup>) é cerca de 629 MJ ha<sup>-1</sup> maior que para o sistema de adubação STF (1.753,38 MJ ha<sup>-1</sup>). Examinando a estrutura de dispêndio por meio das formas de entradas energéticas de fonte não renovável, observa-se que a economia nos custos energéticos geradas pela substituição de parte do adubo IS nitrogenado pela torta de filtro (560,20 MJ ha<sup>-1</sup>) não foi suficiente para cobrir o aumento nos custos energéticos de óleo diesel e lubrificantes gastos no transporte e aplicação da torta de filtro, que foram de 1.189,21 MJ ha<sup>-1</sup>. Os resultados apontam que o sistema de adubação STF é menos dependente de energia de fonte fóssil em função do maior dispêndio de óleo diesel no sistema CTF, necessário para fazer frente ao volume de torta de filtro transportada.

Na Figura 20 (a) e (b), observa-se a distribuição energética em porcentagem por fonte e forma para os dois sistemas de adubação. Há uma contraposição de valores sendo que, para o sistema STF, a fonte biológica, representada por mão de obra e biodiesel, está próxima a zero, enquanto que, para o sistema CTF, essa mesma fonte, representada predominantemente pela torta de filtro, participa com quase 100% das entradas

energéticas. Para a fonte industrial, a situação se inverte, ou seja, o sistema STF tem elevada participação devido ao adubo IS enquanto que o sistema CTF tem quase zero de contribuição. Para fonte fóssil (óleo diesel, lubrificante e adubo IS nitrogenado), os dois sistemas de adubação estão entre 0,57 e 24,30% de participação, sendo o maior valor atribuído ao sistema STF.

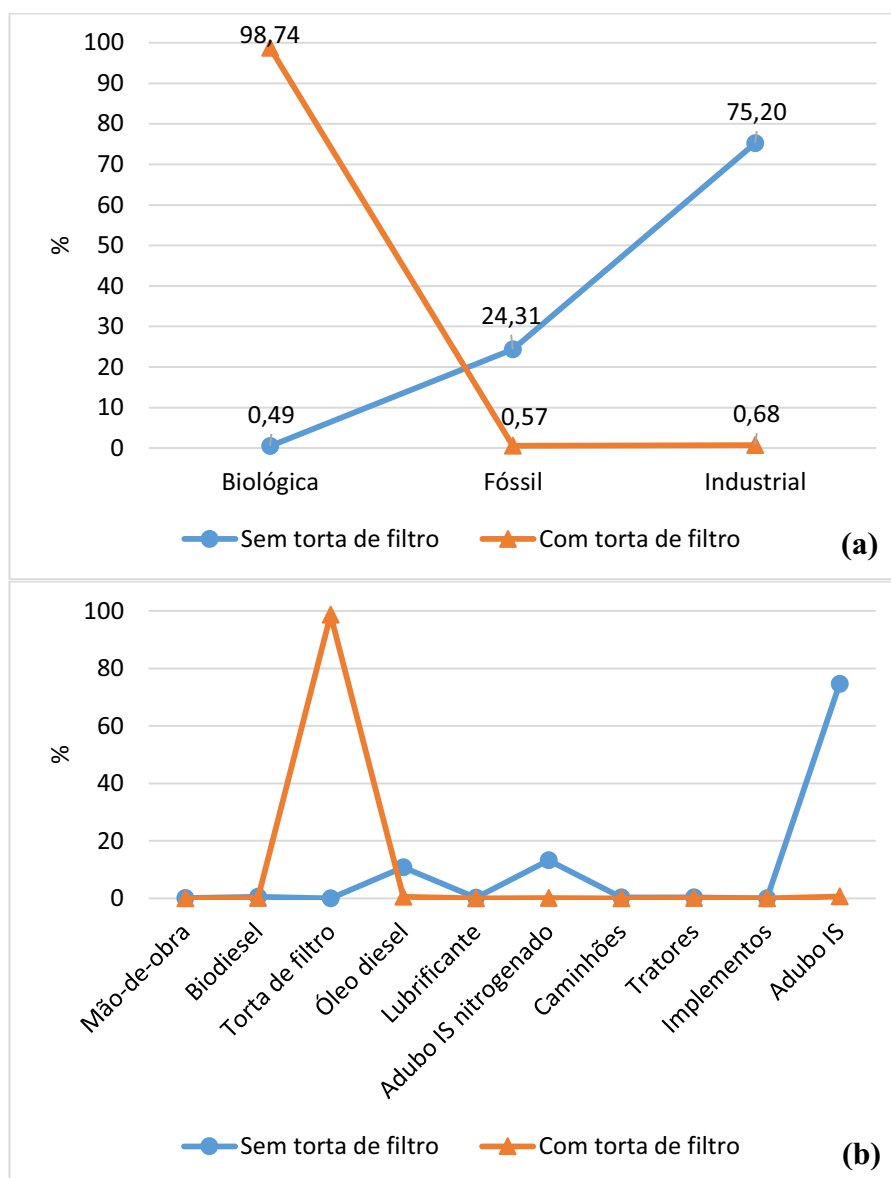


Figura 20 – Comparação das participações percentuais das entradas energéticas para os sistemas STF e CTF. (a) Entradas energéticas por fonte; (b) Entradas energéticas por forma. Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Como já citado anteriormente, e demonstrado pela estrutura de dispêndio energético da Tabela 27 e Figura 19, o sistema CTF possui uma dependência maior

de combustíveis provenientes de fontes externas fósseis, pois a elevada quantidade de torta de filtro utilizada implica em ampla quantidade de óleo diesel para transportar a torta de filtro da indústria até o local de aplicação. O sistema STF possui maior dependência de insumos de fonte industrial, especialmente pelo fato de utilizar o dobro de adubos inorgânicos sintéticos, quando comparado ao sistema CTF.

Analisando os resultados apresentados até o momento, fica claro que o sistema de adubação STF é o mais vantajoso energeticamente, embora o uso da torta de filtro como adubo orgânico tenha muitas implicações positivas para cultura de cana-de-açúcar. A torta de filtro, quando utilizada na adubação, traz uma série de benefícios físicos (aumento da capacidade de retenção e de infiltração d'água no solo, maior porosidade, amortecimento térmico e redução da densidade aparente do solo), químicos (aumento da capacidade de retenção de cátions – CTC do solo, fornecimento de macro e micronutrientes, liberação lenta dos nutrientes e redução da fixação de fósforo) e biológicos (melhoria do conjunto de microorganismos do solo e disponibilização de nutrientes) (SUBPRODUTOS..., 2013b). Outro fato a ser considerado é que a torta de filtro, sendo um subproduto da cana-de-açúcar, precisa ter uma destinação adequada e, até o presente momento, o uso como adubo orgânico tem sido a alternativa adotada pela maioria das usinas sucroenergéticas.

Para que o uso da torta de filtro como substituta parcial da adubação inorgânica sintética na cultura de cana-de-açúcar se torne mais sustentável sob o âmbito da dimensão energética, algumas alternativas poderiam ser adotadas para reduzir o uso de combustíveis fósseis, especificamente o óleo diesel, que é o maior colaborador para as entradas energéticas não renováveis no sistema de adubação CTF:

**(a)** Na usina em estudo, a torta de filtro é utilizada *in natura*, mas uma alternativa para reduzir a quantidade de torta de filtro aplicada é o enriquecimento e a compostagem. Quando a torta do filtro é usada *in natura*, o caminhão carrega 75% de água. Após 45 ou 60 dias de compostagem, esse percentual é reduzido para menos de 40%. Em vez de fazer a compostagem, é possível ainda condicionar a torta para reduzir água e calor (SUBPRODUTOS..., 2013b). Dessa maneira, a torta de filtro poderia ser transportada da indústria até o local de aplicação no campo de forma eficaz. Deve ser salientado que, para plantios em épocas de inverno, quando as chuvas se tornam escassas, a umidade da torta pode ser essencial para a brotação de cana-de-açúcar, garantindo sua melhor uniformidade. Para tal uso, a compostagem não é tão vantajosa.

(b) Uma possibilidade para que haja redução do óleo diesel é sua substituição por outro combustível com menor impacto ambiental e de fonte não esgotável. Uma opção seria aumentar a porcentagem de biodiesel no óleo diesel usado como combustível nos veículos da usina. A Figura 21 mostra o que aconteceria com a entrada energética de fonte fóssil para os dois sistemas de adubação ao aumentar a porcentagem de biodiesel na composição do combustível. Essa figura permite verificar que, com aproximadamente 55% de biodiesel e 45% de óleo diesel, seria possível inverter a dependência dos sistemas de adubação com relação à dependência de combustíveis não renováveis. O sistema STF, atualmente menos dependente, passaria a ser mais dependente de energia de fonte fóssil visto que a quantidade de adubo IS nitrogenado, também proveniente de fonte fóssil, tem sua quantidade inalterada e é menor no sistema CTF.

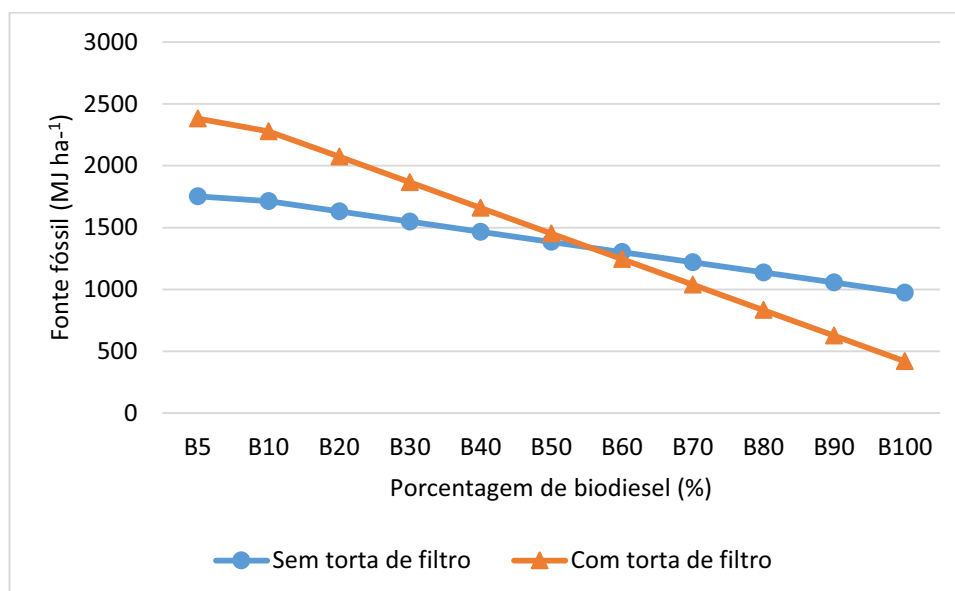


Figura 21 – Dependência dos sistemas de adubação STF e CTF de energia de fonte fóssil em função da porcentagem de biodiesel no combustível utilizado para abastecimento dos equipamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

## 7 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, a hipótese do trabalho, de que a substituição parcial da energia indireta de fonte industrial (adubos inorgânicos sintéticos) por energia direta de fonte biológica (torta de filtro) reduz a entrada de energia não renovável para o sistema, visto que diminui a utilização de adubos inorgânicos sintéticos, foi rejeitada. Pode-se concluir que o sistema de adubação STF possui menor dependência de combustíveis provenientes de fontes externas fósseis. O sistema de adubação CTF poderia ser energeticamente mais eficiente adotando-se algumas alternativas para diminuir o consumo de óleo diesel, como compostagem ou condicionamento da torta de filtro para reduzir sua quantidade aplicada e transportada e/ou substituição do óleo diesel por outro combustível com menor impacto ambiental e de fonte não esgotável, por exemplo, biodiesel com porcentagens superiores a 55 % de biodiesel e inferiores a 45 % de óleo diesel.

## 8 REFERÊNCIAS

ADORNA, J.C. **Adubação com micronutrientes no plantio da cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

ALBUQUERQUE, F. A. et al. ANÁLISE ENERGÉTICA DO CULTIVO DO ALGODÃO ORGÂNICO CONSORCIADO COM CULTURAS ALIMENTARES. In: **Embrapa Algodão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão social e energia: anais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

ALBUQUERQUE, F. A. et al. Análise energética do sistema de cultivo da mamoneira consorciada com gergelim. In: **Embrapa Algodão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador. Energia e ricinoquímica: anais. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. **Adubação orgânica em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na planta**. 2010. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. et al. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 15, p. 1004-1013, 2011.

ALMEIDA, L. C. F. **Avaliação energética econômica da cultura do milho em assentamento rural, Iperó-SP**. 2007. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

ANGONESE, André R. et al. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A. T.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. **Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica**. *Ambiência*, Guarapuava, PR, v. 5 n. 3, p. 443 – 455, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA. DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão vegetal**: determinação do poder calorífico, NBR 8633. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2008**. São Paulo: ANDA, 2013. 176 p.

BARROS, P. C. S. et al. Torta de filtro como biofertilizante para produção de mudas de tomate industrial em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 9, n. 1, p. 265-270, 2014.

BASSO, Z. F. C. **Análise energética da produção de leite bovino em explorações familiares na região de Botucatu - SP**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

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

BIAGGIONI, M. A. M.; BOVOLENTA, F. C. Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p.587-599, 2010.

BIOSEV. **Setor sucroalcooleiro**. Disponível em:  
<[http://ri.biosev.com/biosev/web/conteudo\\_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=30884](http://ri.biosev.com/biosev/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=30884)>.  
Acesso em: 25 mar. 2013.

BONOMETO, R. P. **Análise energética do processo experimental de produção de biodiesel a partir de óleo de frango.** 2009. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

BRASIL. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico de agroenergia 2012: statistical yearbook of agrienergy / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Bilíngüe. – Brasília : MAPA/ ACS, 2013. 284 p.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 14 de janeiro de 2005. **Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 14 jan. 2005. Seção 1, p. 8-8.

BRASIL. Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. **Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 24 set. 2014. Seção 1, p. 3-3.

BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá/SP.** 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BUENO, O. C.; CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanço de energia e contabilização da radiação global: simulação e comparativo. In: AVANÇOS EM INGENIERÍA AGRÍCOLA, 2000, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: Editorial Faculdade de Agronomia, 2000 p. 477-482.

CAMPOS, A. T. **Balanço energético relativo à produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite.** 2001. 236 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAMPOS, A. T. et al. **Balanço energético e sustentabilidade na produção de silagem de milho.** In Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004, Campinas (SP). Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v1/030.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2012.



CAMPOS, A. T. et al. 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. 293-295.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 6, n. 34, p. 1977-1985, 2004.

CAMPOS, A. T. et al. Análise energética da produção de soja em sistema plantio direto. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 02, n. 02, p. 38 - 44, 2009.

CAMPOS, A.T. et al. Análise energética na produção de feno de (*Cynodon dactylon* L.) pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 349-358, 2005.

CANA-DE-AÇÚCAR, descrição botânica. Disponível em: <<http://nplantas.com/cana-de-acucar-descricao-botanica/>>. Acesso em 18 de jul. 2014.

CAPAZ, R. S. **Estudo do desempenho energético da produção de biocombustíveis: aspectos metodológicos e estudos de caso**. 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

CARMO, M. S.; COMITRE, V.; DULLEY, R. D. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. **Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola**, 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, 1974. 79p.

CARVALHO, F. C. Disponibilidade de resíduos agroindustriais e do beneficiamento. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 22, n. 12, p.31-46, dez. 1992.

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERI, D. Perfil energético da agricultura paulista. **São Paulo: IEA–Secretaria de Agricultura e Abastecimento do governo do Estado de São Paulo**, 1982.

CETIN, B.; VARDAR, A. An economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. **Renewable Energy**, v. 33, n. 3, p. 428-433, 2008.

CLEVELAND, C. J. **Net energy analysis**. 2013. Disponível em:  
<<http://www.eoearth.org/view/article/154821/#>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

CLEVELAND, C. J. The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910–1990. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 55, n. 2, p. 111-121, 1995.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto – SP**. Campinas, 1993. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1993.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2014/2015**. Brasília, v. 1, n. 1, 2014. 20 p.

COPERSUCAR. **Cana-de-açúcar**. Disponível em:  
<[http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/cana\\_acucar.asp](http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/cana_acucar.asp)>. Acesso em: 23 jan. 2010.

CORONATO, R. M. e S. et al. Balanço energético na cultura de canola para a produção de biocombustível. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 2., 2006, Londrina. **Resumo expandido**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. p. 40 - 45. Disponível em:  
<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88482/1/ID-27013.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 2, n. 2, p. 1-17, 1992.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F.S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**. v. 23, n. 4, p. 531 - 537, 2000.

COSTA, R. E. et al. Balanço energético preliminar da produção do biodiesel de óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Anais...** . Campinas: Agrener Gd, 2006. 10 p. Disponível em:  
<<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/026.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2014.

COSTA, Z. F. **Eficiência energética e econômica da produção de leite bovino em explorações familiares no município de Pardinho, região de Botucatu-SP.** 2010. 148 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu 2010.

CRISPIM, J. E.; VIEIRA, S. A. **Cana-de-açúcar: boa alternativa agrícola e energética para a agricultura nacional.** Disponível em:  
<<http://www.planetaorganico.com/trabcana1.htm>>. Acesso em: 10 set. 2009.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, jul./set. 2008.

DO VALE, D. W. et al. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 189-196, 2011.

DOERING III, O. C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture.** Boca Raton, Flórida: CRC Press, 1980. p. 9-14

DOERING III, O. C.; PEART, R. N. **Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis.** Indiana: Purdue University, 1977. 128 p.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 12, n. 6, p. 576–583, 2008.

DUFUMIER, M. Les projets de développement agricole - manuel d'expertise, Paris: CTA-Karthala, 1996.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional 2013:** ano base 2012. Brasília, 2012. 288 p. Disponível em:  
< [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2013.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf) >. Acesso em: 13 abr. 2014.

ERDAL, G. et al. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. **Energy**, v. 32, n. 1, p. 35-41, 2007.

ESPIRONELO, A. et al. Adubação NK em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 2, p. 247-268, 1987.

ESPIRONELO, A. et al. Efeitos da adubação NPK nos teores de macronutrientes das folhas de cana-de-açúcar (cana-soca). **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 2, p. 377-382, 1986.

ESPIRONELO, A. et al. Efeitos da adubação NPK, em três profundidades, em soca de cana-de-açúcar. I. Produção de cana e de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro, 1981. v. 3, p. 89 - 109.

FAO. **El estado mundial de la agricultura y la alimentación**. Roma: FAO, 1976. 158 p.

FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 186 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

FRANCO, H. C. J. et al. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 669-674, 2007.

FRAVET, P. R. F. **Doses e formas de aplicação de torta de filtro na produção de cana soca**. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

FRAVET, P. R. F. et al. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010.

FREIRE, F.J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 2001. 144 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GALLI, G., SPUGNOLI, P. Costi energetici relativi alle fasi vivaistica di costituzione e conduzione di un impianto di actinidia. **Rivista Ingegneria Agraria**, Itália, v. 3, p.147-159, 1985.

GATIN, E. A. B. **Análise dos dispêndios energéticos e econômicos da implantação de eucalipto**. 2010. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia/energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

GAZZONI, D. L. et al. Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel. **Espaço Energia**, v. 11, p. 24-28, 2009.

GELLINGS, Clark W.; PARMENTER, Kelly E. Energy efficiency in fertilizer production and use. **Efficient Use and Conservation of Energy, Encyclopedia of Life Support Systems**. Eolss Publishers, Oxford, UK. [www.eolss.net](http://www.eolss.net), 2004.

GIAMPIETRO, M.; PIMENTEL, D. Assessment of the energetics of human labor. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 32, n. 3, p. 257-272, 1990.

GÜNDOĞMUŞ, E. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in Turkey. **Energy conversion and management**, v. 47, n. 18, p. 3351-3359, 2006.

HATIRLI, S.; OZKAN, B.; FERT, C. An econometric analysis of energy input–output in Turkish agriculture. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, n. 6, p. 608- 623, 2005.

INNOCENTE, A. F. I. **Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar – estudo de caso**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

JARACH, M. Sui valori di equivalenza per l'analisi e il bilancio energetici in agricoltura. **Rivista Ingegneria Agraria**, v. 2, p.102-114, 1985.

JUNQUEIRA, A. A. B.; CRISCUOLO, P. D.; PINO, F. A. O uso da energia na agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, v. 29, p. 55-100, 1982.

LANZOTTI, C. R. **Uma análise energética de tendências do setor sucroalcooleiro**. 2000. 95 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

LEACH, G. **Energy and food production**. London: International Institute for Environment and Development, 1976. 192 p.

LEITE, G. F. Avaliação econômica da adubação com vinhaça e da adubação mineral de soqueiras de cana-de-açúcar na usina Monte Alegre Ltda. – Monte Belo – MG. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, v. 5, p. 189-191, 1999.

LERAYER, A. (coord.). **Guia da cana-de-açúcar**: Avanço científico beneficia o País. Conselho de informações sobre biotecnologia CIB, set. 2009. 20 p. Disponível em:<[http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia\\_cana.pdf](http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia_cana.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2013.

LIMA, S. A. A. et al. Influência da adubação mineral sobre três cultivares de cana-de-açúcar na microrregião de guarabira na paraíba. **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v. 27, n. 2, p. 92–99, 2006.

MACEDO, I. de C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil. **Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo**, v. 19, 2004.

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. 95 p.

MACHADO, C. A. C. et al. Modelo de viabilização da produção do consórcio: macaúba (*Acrocomia Aculeata*) e cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum*). In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30. 2010, São Carlos. **Anais... .** [Rio de Janeiro]: ABEPRO, 2010. p. 1-11. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_tn\\_stp\\_123\\_796\\_16944.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_123_796_16944.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2014.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. Fertilizantes Orgânicos. In: MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. Cap. 5, p. 62-71.

MANTOAM, E. J. **Incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida de cana-de-açúcar**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência/máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MELLO, R. Um modelo para análise energética de agroecossistemas. **Revista de Administração de Empresas**, v. 29, n. 4, p. 45-61, 1989.

MELO, D. de et al. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 02, 2007.

MENDES JÚNIOR, Antonio Aparecido. **Participação da energia fóssil na produção dos fertilizantes industriais nitrogenados com ênfase na uréia**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MEZAROBA, S.; MENEGUETTI, C. C.; GROFF, A. M. Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 4., 2010, Campo Mourão. **Anais...** . [campo Mourão]: Felcicam, 2010. p. 1-10. Disponível em: <[http://www.fecilcam.br/anais\\_iveepa/arquivos/9/9-04.pdf](http://www.fecilcam.br/anais_iveepa/arquivos/9/9-04.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2013.

MIRANDA, L. D. et al. Efeito da torta de filtro e de nematicidas sobre as infestações de nematóides e a produtividade da cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 61-67, 2003.

MOBTAKER, H. et al. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 137, n. 3, p. 367-372, 2010.

MONJEZI, N.; ZAKIDIZAJI, H. Energy and economic analysis of canola production in Iran a case study: Khuzestan province. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 4, n. 3, p. 227-231, 2012.

MOREIRA, C. R. et al. Avaliação energética do cultivo de eucalipto, com e sem composto de lixo urbano. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 1- 19, 2005.

MOURA FILHO, G.; SILVA, L. C.; MOURA, A. B. Uso da torta de filtro e vinhaça em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 2., 2011, Vitória. **Anais...** . Vitória: DCM/Incaper, 2011. p. 1-2.

MOURA, M. V. P. S. et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, jul./ago., 2005.

MOURAD, A. L. **Avaliação da cadeia produtiva de biodiesel obtido a partir da soja**. 2008. 123 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MRINI, M.; SENHAJI, F.; PIMENTEL, D. Energy analysis of sugarcane production in Morocco. **Environment, Development and Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 109-126, 2001.

NARDIN, R. R. **Torta-de-filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agronômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas**. 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical/Tecnologia de Produção Agrícola), Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

NASCIMENTO, L. S. do; NEVES, S. C. E.; CORRÊA, S. A. Utilização de bagaço de cana e torta de filtro como substrato orgânico para produção de mudas de *Eucalyptus*. **Revista Funec Científica**, Santa Fé do Sul, v. 2, n. 4, p. 1-15, 2013.

NETO, P. R. C. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 531- 37, 2000.

NOGUEIRA, M. A. F. de S.; GARCIA, M. da S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 17, n. 17, p. 3275-3283, dez. 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. **Análise energética de dois sistemas de colheita mecanizada de eucalipto**. 2005. 76 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais com opção em Silvicultura e Manejo Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SEIXAS, F. Análise energética de dois sistemas mecanizados na colheita de eucalipto. **Scientia Florestalis**, v.70, p.49-57, 2006.

OLIVEIRA, W. S. et al. Cultivo da cana-de-açúcar sob fertirrigação com vinhaça e adubação mineral. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 9, n. 1, p.1-5, jan./mar. 2014.



OZKAN, B.; KURKLU, A.; AKCAOZ, H. An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, n. 1, p. 89-95, 2004.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 52, p. 111-119, 1992.

PEREIRA, J. R. et al. Adubação orgânica com torta de filtro de cana-de-açúcar no algodoeiro semiperene BRS 200 no cariri cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...** . Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2005. p. 1-5.

PIMENTEL, D. et al. Food production and the energy crises. **Science**, N.Y. (USA), v.182, p. 443-449, 1973.

PIMENTEL, D.; PIMENTEL M. **Food energy and society**. London: Edward Arnold, 1979. 163p.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural resources research**, v. 14, n. 1, p. 65-76, 2005.

PRADO, D. **Guia metodológico: diagnósticos de sistemas agrários**. Brasília, DF: FAO/INCRA, 1999, 58 p. (Projeto de Cooperação Técnica).

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Ponderação do impacto ambiental dos resíduos e subprodutos da produção industrial sucroenergética. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 392-415, 2013.

RISOUD, B. Energy efficiency of various French farming systems: questions to sustainability. In: **International Conference Sustainable energy: new challenges for agriculture and implications for land use**. Wageningen: Wageningen University. 2000. p. 18-20.

RODRIGUES, J.D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: Instituto de Biociências – Universidade Estadual Paulista, 1995. 99 p. (Apostila)

ROMERO, M. G. C. **Análise energética e econômica da cultura de algodão em sistemas agrícolas familiares.** 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu 2005.

ROSSETTO, R. et al. Adubação e calagem em cana-de-açúcar. **O Agrônomo**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 22-23, 2005.

ROSSETTO, R. et al. Fertilidade do solo e nutrição de plantas: calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. **Encarte do Informações Agrônômicas**, n.110, p. 6-11, jun. 2005.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Adubação:** resíduos alternativos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em:  
<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_39\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html)>. Acesso em: 11 mar. 2014.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho.** 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

SALLA, D. A. et al. Avaliação energética da produção de etanol utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2516-2520, nov. 2009.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: eficiência na utilização de uréia (<sup>15</sup>N) em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 8, p. 943-949, ago. 1984.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; CAVALCANTI, F. J. A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar: III. Conteúdo de nutrientes e distribuição radicular no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 4, p. 425-431, abr. 1987.

SAMPAIO, J. B. R. **Efeito da torta de filtro como adubo orgânico visando uma complementação ou substituição parcial da adubação mineral (NPK) no desenvolvimento do cafeeiro (*C. arabico* L.)**. 1987. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1987.

SANTANA, C. T. C. et al. Desempenho de cultivares de alface americana em resposta a diferentes doses de torta de filtro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 22-29, 2012.

SANTI, A. D. et al. Desempenho agrônômico de alface americana fertilizada com torta de filtro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, [Brasília], v. 31, n. 2, p. 338-343, 2013.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Adubação Mineral**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_38\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_38_711200516717.html)>. Acesso em: 18 mar. 2014b.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Correção e Adubação**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_6\\_711200516715.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_6_711200516715.html)>. Acesso em: 18 mar. 2014a.

SANTOS, D. H. et al. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S. Efeito residual da adubação fosfatada e torta de filtro na brotação de soqueiras de cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 1-6, 2012.

SANTOS, M. Z. et al. Estudo comparativo entre a eficiência de diferentes formas de adubação na cultura da cana-de-açúcar. **Campo Digital**, [Campo Mourão], v. 7, n. 1, p. 20-26, dez. 2012.

SANTOS, R. E. R. **Análise da viabilidade energética e econômica da produção de etanol em microdestilarias**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia/Energia, Sociedade e Meio Ambiente, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2011.

SANTOS, R. R. **Análise energética do milho em sistema de plantio direto, em assentamento rural, Itaberá/SP**. 2006. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço Energético em Galpão de Frangos de Corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 1, n. 24, p.25-36, 2004.

SANTOS, V. R. et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SARTORI, M. M. P.; BASTA, C. Métodos matemáticos para o cálculo energético da produção de cana de açúcar. **Energia na Agricultura**, v. 14, n. 1, p. 52-68, 1999.

SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for use in an Urban Bus**, Colorado/EUA, National Renewable Energy Laboratory, 1998. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503.

SILVA, A. M. P. et al. Benefícios da fertirrigação com vinhaça na melhoria do solo e à produtividade da cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, [cruz Alta], v. 5, n. 1, p. 1-5, 2010.

SILVA, A. P. M. da; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 38-43, 2014.

SILVA, C. T. S. et al. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 3, n. 1, p. 3-12, 2009.

SILVA, E. S. et al. Adubação complementar com torta de filtro em alface americana. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, p.11-21, 2013.

SILVA, J. W. P. et al. Estudo sobre reaproveitamento de subprodutos das indústrias sucroalcooleiras. In: JORNADA CIENTÍFICA DA FAZU, 8., 2009, Uberaba. **Anais...** . Uberaba: Fazu, 2009. p. 25 - 37.

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, M. C. **Produção sustentável de leite bovino em área de proteção ambiental: aplicação da análise energética no município de Torre de Pedra/SP**. 2014. 156 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

SOUZA, B. R. F. **Efeito residual da adubação orgânica e mineral nos atributos de produtividade e agroindustriais na cana-soca**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) Unidade Universitária de Aquidauana, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2013.

SOUZA, S. A. V. Vinhaça: o avanço das tecnologias de uso. In: MACEDO, I. C. (org.). **A Energia da Cana-de-açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade**. 2. ed. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, 2005. p. 171-177.

SUBPRODUTOS da cana podem virar adubo. Por que não? Disponível em: <<http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/subprodutos-da-cana-podem- virar- adubo-por-que-nao/>>. Acesso em: 20 nov. 2013b.

SUBPRODUTOS da cana se tornaram fonte de receita. União dos Produtores de Bioenergia. Disponível em: <[http://www.udop.com.br/index.php?item=executa\\_busca](http://www.udop.com.br/index.php?item=executa_busca)>. Acesso em: 10 nov. 2013a.

TOMMASELLI, M. A. G. et al. Alternativa de utilização sustentável do resíduo cinza, oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar, incorporando-a ao concreto como agregado. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31, 2011, Belo Horizonte. **Anais...** . [Rio de Janeiro]: ABEPRO, 2011. p. 1-9. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_TN\\_STP\\_143\\_904\\_19403.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STP_143_904_19403.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2013.

TOWNSEND, C. R. Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia. **Embrapa**. Rondônia, n. 21, p. 1-5, nov. 2000. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Rt\\_21\\_000fkv0qne702wyiv80sq98yqv mh7ouy.PDF](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Rt_21_000fkv0qne702wyiv80sq98yqv mh7ouy.PDF). Acesso em: 22 de jul. 2014.

UNAKITAN, G.; HURMA, H.; YILMAZ, F. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. **Energy**, v. 35, n. 9, p. 3623-3627, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Maior produtor mundial de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/faq/>>. Acesso em: 02 maio 2014a.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Raio X do setor sucroenergético**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/faq/>>. Acesso em: 02 maio 2014b.

VAN HAANDEL, A. Aproveitamento dos subprodutos de destilarias de álcool para proteger o meio ambiente e aumentar a rentabilidade. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27. 2000, Porto Alegre. **Anais...** . Rio de Janeiro: ABES, 2000. p. 1-7. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-004.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

VICENTE, E. C.; MAIA, E.; OLIVEIRA, P. S. Produção de plantas medicinais adubadas com torta de filtro. **Iniciação Científica Cesumar**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 7-12, 2008.

VIEIRA, T. M. F S. **Obtenção de cera de cana-de-açúcar a partir de subproduto da indústria sucro-alcooleira : extração, purificação e caracterização**. 2003. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

VILA, E. J. P. **Fertilização de um solo arenoso com torta de filtro e vinhaça para a cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/solo e Nutrição de Plantas), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Adubação nitrogenada melhora o vigor das soqueiras de cana-de-açúcar refletindo em produtividade nos ciclos agrícolas subsequentes. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 2, jul./dez. 2011.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Potafos: Encarte do Informações Agrônomicas**, Piracicaba, SP, n. 97, p. 1-15, 2002.

VITTI, G. C. et al. **Nutrição e Adubação da Cana-de-açúcar**. 2005. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti\\_000fh3r3vz\\_p02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vz_p02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2014.

VITTI, G. C. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. **Opniões: Sucroenergético: cana, açúcar, etanol & bioeletricidade**, Ribeirão Preto, p. 37-38, 2010. Disponível em: <<http://revistaonline.revistaopinioes.com.br/revistas/revistas/8/#page/38>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

WILTING, H.C. **An Energy Perspective on Economic Activities**. 1996. 194 f. Tese (Doutorado em Matemática e Ciências Naturais) – Faculdade de Matemática e Ciências Naturais – Universidade Nacional de Groningen, Holanda, 1996.

YILMAZ, I.; AKCAOZ, H.; OZKAN, B. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. **Renewable Energy**, v. 30, n. 2, p. 145-155, 2005.

ZANGENEH, M.; OMID, M.; AKRAM, A. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. **Energy**, v. 35, n. 7, p. 2927-2933, 2010.

ZANINI, A. et al. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.

ZENERATTO, M. A. **Adubação correta da cana sustenta a produtividade**. 2009. Oligacana. Disponível em: <<http://www.olicana.com.br/noticias=ler.php?id=311>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

## APÊNDICE



Tabela AP1 - Jornada de trabalho, coeficientes de tempo de operação, mão de obra utilizada, modelo de máquina e/ou implemento, consumo de óleo diesel, lubrificante, e outros dados de referência por operação do itinerário técnico da adubação sem aplicação de torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar. (ÁREA DE 34,47 ha).

<b>OPERAÇÃO</b>	
<b>Transporte do adubo inorgânico sintético</b>	
Horas de trabalho total	2,5h
Rendimento	4'21" ha <sup>-1</sup>
mão de obra	1 motorista
<u>Caminhão Tanque</u>	Vv NL - 12 360
consumo de óleo diesel	19,6 Litros
consumo de lubrificante	
<b>Sulcação e adubação</b>	
Horas de trabalho total	22h
Horas de trabalho.dia (turno)	8h
Rendimento	38'18" ha <sup>-1</sup>
mão de obra total	9 tratoristas e 3 ajudantes
mão de obra (turno)	3 tratorista e 1 ajudante
<u>Tratores</u>	JD 7195J
consumo de óleo diesel	283,8 Litros
consumo de lubrificante	
	2 Tratores JD7715
consumo de óleo diesel	198 Litros
consumo de lubrificante	

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela AP2 - Jornada de trabalho, coeficientes de tempo de operação, mão de obra utilizada, modelo de máquina e/ou implemento, consumo de óleo diesel, lubrificante, e outros dados de referência por operação do itinerário técnico da adubação com aplicação de torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar. (ÁREA DE 35,63 ha).

<b>OPERAÇÃO</b>	
<b>Transporte do adubo inorgânico sintético</b>	
Horas de trabalho total	1,45h
Rendimento	2'27" ha <sup>-1</sup>
mão de obra	1 motorista
<u>Caminhão Tanque</u>	
consumo de óleo diesel	VV NL - 12 360
consumo de lubrificante	9,80 Litros
<b>Sulcação e adubação</b>	
Horas de trabalho total	14,45h
Horas de trabalho.dia (turno)	8
Rendimento	24'20" ha <sup>-1</sup>
mão de obra total	6 tratoristas e 2 ajudantes
mão de obra (turno)	3 tratoristas e 1 ajudante
<u>Trator de pneus</u>	
consumo de óleo diesel	JD 7195J
consumo de lubrificante	186,40 Litros
consumo de óleo diesel	2 Tratores JD7715
consumo de lubrificante	130,05 Litros
<b>Transporte da torta de filtro</b>	
Horas de trabalho total	16,82 h
Horas de trabalho.dia (turno)	8h
Rendimento	28'19" ha <sup>-1</sup>
mão de obra total	9 motoristas
mão de obra (turno)	3 motoristas
<u>Caminhão Basculante</u>	
consumo de óleo diesel	3 caminhões - Volvo VM 310 (6X4)
consumo de lubrificante	234,44 Litros
<b>Aplicação da torta de filtro</b>	
Horas de trabalho total	8,48 h
Horas de trabalho.dia (turno)	8h
Rendimento	14'17" ha <sup>-1</sup>
mão de obra total	18 tratoristas
mão de obra (turno)	9 tratoristas: 7 para os tratores; 2 para as pás carregadoras
<u>Trator de pneus</u>	
	Trator JD7515

---

consumo de óleo diesel	161,46 Litros
consumo de lubrificante	
	3 Tratores JD 6165J
consumo de óleo diesel	50,88 Litros
consumo de lubrificante	
	3 Tratores VALTR.1780-4
consumo de óleo diesel	153,83 Litros
consumo de lubrificante	
<u>Implemento</u>	
Carreta distribuidora de torta de filtro	Sollus - Spander 20.0 CHTD
consumo de lubrificante	
<u>Pá carregadora</u>	
	CAT 938-G
consumo de óleo diesel	135,68 Litros
consumo de lubrificante	
	CAT 924-G
consumo de óleo diesel	59,36 Litros
consumo de lubrificante	

---

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela AP3 - Peso de embarque dos tratores e pesos dos caminhões, implementos e pneus utilizados no transporte e aplicação de adubo e torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar.

<b>Caminhão, máquina, implemento e pneus</b>	<b>Peso (kg)</b>
Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	15.840
10 pneus 11,0/R22 (68 kg cada)	680
Carreta	5.990
8 pneus 11,0/R22 (68 kg cada)	544
Caminhão basculante Volvo VM 310 (6X4)	12.830
10 pneus 10,0/R20 (69 kg cada)	690
Trator John Deere 7195J – 195 cv	11.100
2 pneus dianteiros 600/65R28 (175 kg cada)	350
2 pneus traseiros 710/70R38 (328 kg cada)	656
Trator John Deere 7715 - 182 cv	8.100
2 pneus dianteiros 600/65R28 (175 kg cada)	350
2 pneus traseiros 710/70R38 (328 kg cada)	656
Trator John Deere 7515 – 140 cv	5.970
2 pneus dianteiros 16.9-28 (84 kg cada)	168
2 pneus traseiros 18.4-38 (165 kg cada)	330
Trator John Deere 6165J – 165 cv	7.655
2 pneus dianteiros 16.9-28 (84 kg cada)	168
2 pneus traseiros 20.8-38 (177 kg cada)	354
Trator VALTR.1780-4 – 126 cv	5.445
2 pneus dianteiros 16.9-30 (107 kg cada)	214
2 pneus traseiros 20.8-38 (177 kg cada)	354
Pá Carregadora Cat 938-G	13.586
2 pneus dianteiros 17.5-25 (102 kg cada)	204
2 pneus traseiros 17.5-25 (102 kg cada)	204
Pá Carregadora Cat 924-G	10.360
2 pneus dianteiros 20.5-25 (186 kg cada)	372
2 pneus traseiros 20.5-25 (186 kg cada)	372
Carreta distribuidora de torta de filtro	
Sollus - Spander 20.0 CHTD	3.700
4 pneus 400/60R15,5 (42 kg cada)	168
Implemento sulcação/adubação	790

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela AP4 – Número, localização e massa dos contrapesos.

<b>Tratores</b>	<b>Número total</b>	<b>Localização</b>	<b>Massa unitária (kg)</b>	<b>Massa total (kg)</b>
Trator John Deere 7195J	4	Rodas traseiras LD	205	820
	4	Rodas traseiras LE	75	300
	12	Dianteiro	50	600
Trator John Deere 7715	4	Rodas traseiras	205	820
	12	Dianteiro	50	600
Trator John Deere 7515	10	Dianteiro	50	500
Trator John Deere 6165J	12	Dianteiro	50	600
Trator VALTR.1780-4	10	Dianteiro longitudinal	37,5	375
	15	Dianteiro transversal	35	525

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela AP5 - Locais de lubrificação, volume utilizado, especificação do lubrificante e momento de troca por caminhão e trator utilizado no itinerário técnico do transporte e aplicação de adubo e torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar.

<b>Tratores</b>	<b>Local</b>	<b>Volume (litro)</b>	<b>Especificação</b>	<b>Momento (horas)</b>
Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	Motor	30	API CH4 SAE 15W-40	11.000
	Caixa mudança	15	API CD SAE 40	33.000
	Cubo red. rodas 1º difer. dir.	3	API GL5 SAE 85W-140	64.000
	Cubo red. rodas 1º difer. esq.	3	API GL5 SAE 85W-140	64.000
	Cubo red. rodas 2º difer. dir.	3	API GL5 SAE 85W-140	64.000
	Cubo red. rodas 2º difer. esq.	3	API GL5 SAE 85W-140	64.000
	Diferencial Primeiro	27	API GL5 SAE 85W-140	64.000
	Diferencial Segundo	27	API GL5 SAE 85W-140	64.000
	Cubos rodas dianteiras (dir./esq.)	0,6	API CD SAE 30	64.000
Caminhão basculante Volvo VM 310 (6X4)	Motor	23	API CH4 SAE 15W-40	10.000
	Caixa mudança	10	API CD SAE 40	60.000
	Diferencial primeiro	28	API GL5 SAE 85W-140	60.000
	Diferencial segundo	28	API GL5 SAE 85W-140	60.000
Trator John Deere 7195J	Motor	26	API CH4 SAE 15W-40	250
	Transmissão e sistema hidráulico	108	Hy-gard	1.500
	Diferencial dianteiro	14	API GL5 SAE 85W-140	1.500
	Planetária dianteira esquerda	4	API GL5 SAE 85W-140	250
	Planetária dianteira direita	4	API GL5 SAE 85W-140	250
Trator John Deere 7715	Motor	28	API CH4 SAE 15W-40	250
	Transmissão e sistema hidráulico	108	Hy-gard	1.500
	Diferencial dianteiro	14	API GL5 SAE 85W-140	1.500
	Planetária dianteira esquerda	2	API GL5 SAE 85W-140	250
	Planetária dianteira direita	2	API GL5 SAE 85W-140	250
Trator John Deere 7515	Motor	19	API CH4 SAE 15W-40	250
	Transmissão e sistema hidráulico	64	Hy-gard	1.500
	Diferencial dianteiro	7,5	API GL5 SAE 85W-140	1.500
	Planetária dianteira esquerda	1,7	API GL5 SAE 85W-140	250
	Planetária dianteira direita	1,7	API GL5 SAE 85W-140	250
Trator John Deere 6165J	Motor	19	API CH4 SAE 15W-40	250
	Transmissão e sistema hidráulico	68	Hy-gard	1.500
	Diferencial dianteiro	14	API GL 5 SAE 90	1.500
	Planetária dianteira esquerda	1,7	API GL 5 SAE 90	700
	Planetária dianteira direita	1,7	API GL 5 SAE 90	700
Trator VALTR. 1780-4	Motor	15	API CH4 SAE 15W-40	300
	Diferencial dianteiro	7	API GL 5 SAE 90	1.500
	Planetária dianteira esquerda	1,5	API GL 5 SAE 90	1.500
	Planetária dianteira direita	1,5	API GL 5 SAE 90	1.500
	Sistema hidráulico e direção	27	Rando HDZ 68 (J.D.)	2.000
	Caixa Mudanças	55	API GL 5 SAE 90	1.500

	Motor	29	Cater 3E-9901(CF4)	250
Pá	Diferencial, comando final tras.	27	Textran HD SAE 50	2.000
Carregadora	Diferencial, comando final diant.	24	Textran HD SAE 50	2.000
Cat 938-G	Transmissão	30	Textran HD SAE 50	1.000
	Sistema hidráulico	76	API CD-CF SAE 15W40	2.000
	Motor	16	Cater 3E-9901(CF4)	250
Pá	Diferencial, comando final tras.	21	Textran HD SAE 50	2.000
Carregadora	Diferencial, comando final diant.	21	Textran HD SAE 50	2.000
Cat 924-G	Transmissão	23	Textran HD SAE 50	1.000
	Sistema hidráulico	70	API CD-CF SAE 15W40	2.000

Fonte: Usina São Manoel.

Tabela AP6 - Vida útil e horas de uso por ano dos caminhões, máquinas e implementos agrícolas.

<b>Máquinas e implementos</b>	<b>Vida útil (ano)</b>	<b>Horas uso ou km (ano)</b>
Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	10	50.000 km
Caminhão basculante Volvo VM 310 (6X4)	10	60.000 km
Trator John Deere 7195J	10	1.500 h
Trator John Deere 7715	10	2.000 h
Trator John Deere 7515	10	2.000 h
Trator John Deere 6165J	10	1.200 h
Trator VALTR.1780-4	10	2.000 h
Pá Carregadora Cat 938-G	10	3.500 h
Pá Carregadora Cat 924-G	10	2.500 h
Carreta distribuidora de torta de filtro		
Sollus - Spander 20.0 CHTD	10	1.500 h
Implemento sulcação/adubação		

Fonte: Usina São Manoel



Tabela AP7 - Determinação do consumo de óleo diesel, biodiesel e lubrificante no transporte e aplicação de adubo e torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar.

<b>ÓLEO DIESEL</b>				
<b>Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>Quantidade (L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Coefficiente Energético (MJ L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Resultado (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>
Transporte do adubo inorgânico sintético (STF)	Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	0,54	40,49	21,87
Sulcação e adubação (STF)	Trator John Deere 7195J 2 Tratores John Deere 7715	7,82 2x (5,46)	40,49 40,49	316,75 2x (220,98)
Transporte do adubo inorgânico sintético (CTF)	Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	0,26	40,49	10,58
Sulcação e adubação (CTF)	Trator John Deere 7195J 2 Tratores John Deere 7715	4,97 2x (3,47)	40,49 40,49	201,23 2x (140,39)
Transporte da torta de filtro	3 Caminhões basculantes Volvo VM 310 (6X4)	3x (6,25)	40,49	3x (253,10)
Aplicação da torta de filtro	Trator John Deere 7515	2,15	40,49	87,17
	3 Tratores John Deere 6165J	3x (1,36)	40,49	3x (54,94)
	3 Tratores VALTR.1780-4	3x (2,05)	40,49	3x (83,05)
	Pá Carregadora Cat 938-G Pá Carregadora Cat 924-G	3,62 1,58	40,49 40,49	146,51 64,10
<b>BIODIESEL</b>				
<b>Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>Quantidade (L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Coefficiente Energético (MJ L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Resultado (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>
Transporte do adubo inorgânico sintético (STF)	Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	0,028	33,16	0,94
Sulcação e adubação (STF)	Trator John Deere 7195J 2 Tratores John Deere 7715	0,41 2x (0,29)	33,16 33,16	13,65 2x (9,53)
Transporte do adubo inorgânico sintético (CTF)	Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	0,014	33,16	0,45
Sulcação e adubação (CTF)	Trator John Deere 7195J 2 Tratores John Deere 7715	0,26 2x (0,18)	33,16 33,16	8,67 2x (6,05)
Transporte da torta de filtro	3 Caminhões basculantes Volvo VM 310 (6X4)	3x (0,33)	33,16	3x (10,91)
Aplicação da torta de filtro	Trator John Deere 7515	0,11	33,16	3,76
	3 Tratores John Deere 6165J	3x (0,071)	33,16	3x (2,37)
	3 Tratores VALTR.1780-4	3x (0,11)	33,16	3x (3,58)
	Pá Carregadora Cat 938-G Pá Carregadora Cat 924-G	0,19 0,083	33,16 33,16	6,30 2,76
<b>ÓLEO LUBRIFICANTE</b>				
<b>Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>Quantidade (L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Coefficiente Energético (MJ L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Resultado (MJ ha<sup>-1</sup>)</b>

Transporte do adubo inorgânico sintético (STF)	Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	6,80E-06	42,26	2,87E-04
Sulcação e adubação (STF)	Trator John Deere 7195J	0,14	42,26	5,83
	2 Tratores John Deere 7715	2x (0,13)	42,26	2x (5,66)
Transporte do adubo inorgânico sintético (CTF)	Caminhão tanque Volvo – NL 12 360	3,81E-07	42,26	1,61E-05
Sulcação e adubação (CTF)	Trator John Deere 7195J	0,088	42,26	3,72
	2 Tratores John Deere 7715	2x (0,085)	42,26	2x (3,59)
Transporte da torta de filtro	3 Caminhões basculantes Volvo VM 310 (6X4)	3x (0,0016)	42,26	3x (0,068)
	Trator John Deere 7515	0,033	42,26	1,38
Aplicação da torta de filtro	3 Tratores John Deere 6165J	3x (0,032)	42,26	3x (1,36)
	3 Tratores VALTR.1780-4	3x (0,025)	42,26	3x (1,073)
	Pá Carregadora Cat 938-G	0,050	42,26	2,11
	Pá Carregadora Cat 924-G	0,034	42,26	1,44

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela AP8 – Composição química da torta de filtro.

Amostra	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	Um 65°C	MO total	C total	mg kg <sup>-1</sup> ao natural						C/N total	pH
										Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn		
1	0,7	0,7	0,1	0,6	0,1	0,1	65	33	18	28	39	27	5075	170	50	26/1	4,8
2	0,8	1,2	0,1	0,4	0,1	0,3	56	25	14	53	45	44	17600	467	115	18/1	5,3
3	0,7	0,7	0,1	0,6	0,1	0,1	65	33	18	28	39	27	5075	170	50	26/1	4,8
4	0,7	0,6	0,1	0,6	0,1	0,1	61	23	13	55	37	29	12188	366	61	19/1	4,6
5	0,7	1	0,1	0,9	0,1	0,2	55	25	14	54	43	40	23805	76	76	20/1	4,4
6	0,5	0,8	0,1	1	0,2	0,2	55	27	15	63	8	26	17460	517	77	30/1	5,0

Fonte: Usina São Manoel.