

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA  
FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ENERGÉTICA NA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE  
MULTIMODAL PARA EXPORTAÇÃO DO ETANOL DE  
APARECIDA DO TABOADO (MS) ATÉ O PORTO DE SÃO  
SEBASTIÃO (SP)**

**FÁBIO CÉSAR BOVOLENTA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP  
Novembro - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA  
FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ENERGÉTICA NA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE  
MULTIMODAL PARA EXPORTAÇÃO DO ETANOL DE  
APARECIDA DO TABOADO (MS) ATÉ O PORTO DE SÃO  
SEBASTIÃO (SP)**

**FÁBIO CÉSAR BOVOLENTA**

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP  
Novembro - 2013

B783a Bovolenta, Fábio César, 1971-  
Análise energética na logística de transporte multimodal para exportação do etanol de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião / Fábio César Bovolenta. - Botucatu : [s.n.], 2013  
xv, 133 f. : ils. color., grafs., tabs., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2013  
Orientador: Marco Antônio Martin Biaggioni  
Inclui bibliografia

1. Etanol - Exportação. 2. Etanol - Transporte. 3. Balanço energético. 4. Logística. 5. Biocombustíveis. I. Biaggioni, Marco Antônio Martin. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

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

TÍTULO: "ANÁLISE ENERGÉTICA NA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE  
MULTIMODAL PARA EXPORTAÇÃO DO ETANOL DE  
APARECIDA DO TABOADO (MS) ATÉ O PORTO DE SÃO  
SEBASTIÃO (SP)"

ALUNO: FÁBIO CESAR BOVOLENTA

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. LUIS FERNANDO NICOLOSI BRAVIN

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

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOÃO ALBERTO BORGES DE ARAÚJO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. SAMIR PAULO JASPER

Data da Realização: 21 de novembro de 2013

**DEDICO**

*Aos meus pais Júlio e Zilda por me darem todo apoio quando precisei. Aos meus irmãos Nivaldo, Tarciso e Marcelo por me ajudarem nas horas mais difíceis ao longo de todos esses anos. Pelos meus sobrinhos, Henrique, Matheus, Alexandre, Rodrigo, Danilo e João Pedro que fazem parte da minha vida. Minha Gratidão.*

*A minha querida esposa e companheira Vanessa, que jamais deixou de me apoiar, e ao meu querido filho Lucas, que eu amo muito, pela compreensão e incentivo.*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu, pela oportunidade. Agradeço.

À Faculdade de Tecnologia de Jahu (FATEC), pelo o incentivo e oportunidade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni, pela excelente orientação, pela paciência e pela grande amizade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno, pelas ótimas aulas, ótimas sugestões ao longo do curso e pela amizade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. Luis Fernando Nicolosi Bravin, pelas ótimas sugestões ao longo do curso e pela amizade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. João Alberto Borges de Araújo, pela compreensão e pela amizade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Arbex Silva, pela compreensão e pela amizade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. Osmar Delmanto Junior, pela compreensão e pela amizade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. Samir Paulo Jasper, pela compreensão e pela amizade. Agradeço.

Ao Prof. Dr. Odivaldo José Seraphin. Agradeço.

À todos os professores e funcionários do Departamento de Pós-Graduação.

À todos meus colegas, pela amizade incondicional e companheirismo nesta etapa. Obrigado.

À todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigado.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XIII
1. RESUMO .....	01
2. SUMMARY .....	03
3. INTRODUÇÃO .....	05
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	08
4.1 Etanol no Brasil e no mundo.....	08
4.2 Logística de transporte .....	12
4.3 Multimodalidade e intermodalidade no transporte de materiais.....	15
4.4 Características do transporte hidroviário .....	19
4.5 Características do transporte rodoviário .....	23
4.6 Características do transporte ferroviário.....	26
4.7 Características do transporte dutoviário .....	28
4.8 Características da análise energética .....	33
4.8.1 Energia .....	33
4.8.2 Tipos de energia .....	36
4.8.2.1 Energia do tipo direta de fonte elétrica .....	39
4.8.2.2 Energia do tipo direta de fonte fóssil sob a forma de combustíveis e lubrificantes .....	40
4.8.2.3 Energia do tipo direta de fonte biológica sob a forma de mão-de-obra .....	43
4.8.2.4 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de máquinas e equipamentos.....	48
4.8.2.5 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de depreciação de rodovias, hidrovias, ferrovias e dutovias .....	51
4.8.2.6 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de manutenção de rodovias, hidrovias, ferrovias e dutovias .....	53
4.8.2.7 Equivalentes energéticos .....	56

## SUMÁRIO

	Página
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
5.1 Delimitação da área de estudo.....	59
5.2 Roteirização multimodal.....	62
5.2.1 H-D-R (R1).....	62
5.2.2 H-D-F (R2).....	65
5.2.3 H-D-D (R3).....	67
5.2.4 R-R (R4).....	68
5.2.5 R-F (R5).....	69
5.2.6 R-D (R6).....	70
5.2.7 F-R (R7).....	71
5.2.8 F-F (R8) .....	72
5.2.9 F-D (R9).....	73
5.2.10 D-R (R10).....	74
5.2.11 D-F (R11).....	75
5.2.12 D-D (R12) .....	76
5.3 Mão-de-obra envolvida na movimentação do etanol .....	76
5.4 Materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etano .....	78
5.4.1 Tanques .....	78
5.4.2 Modal hidroviário .....	78
5.4.3 Modal dutoviário .....	83
5.4.4 Modal rodoviário .....	87
5.4.5 Modal ferroviário.....	90
5.5 Conversão dos fatores físicos em energéticos .....	94
5.5.1 Energia do tipo direta de fonte industrial sob a forma elétrica .....	94
5.5.2 Energia do tipo direta de fonte fóssil sob a forma de combustíveis e lubrificante.....	95
5.5.3 Energia do tipo direta de fonte biológica sob a forma de mão de obra .....	97
5.5.4 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de máquinas e equipamentos .....	99



## SUMÁRIO

	Página
5.5.5 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de depreciação de rodovias, hidrovias, ferrovias e dutovias .....	100
5.6 Indicadores de eficiência energética.....	102
5.6.1 Balanço energético renovável comparativo às entradas de energias fósseis .....	103
5.6.2 Balanço energético líquido comparativo às entradas de energias totais.....	103
5.6.3 Eficiência energética renovável comparativa às entradas de energias fósseis.....	103
5.6.4 Eficiência energética global comparativa às entradas de energias totais .....	104
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	105
6.1 Demandas energéticas das rotas estudadas.....	105
6.1.1 Multimodalidade pela R1 (H-D-R) .....	105
6.1.2 Multimodalidade pela R2 (H-D-F).....	108
6.1.3 Multimodalidade pela R3 (H-D-D) .....	109
6.1.4 Unimodalidade pela R4 (R-R) .....	110
6.1.5 Multimodalidade pela R5 (R-F) .....	111
6.1.6 Multimodalidade pela R6 (R-D) .....	111
6.1.7 Multimodalidade pela R7 (F-R) .....	112
6.1.8 Unimodalidade pela R8 (F-F) .....	112
6.1.9 Multimodalidade pela R9 (F-D).....	113
6.1.10 Multimodalidade pela R10 (D-R).....	113
6.1.11 Multimodalidade pela R11 (D-F) .....	114
6.1.12 Unimodalidade pela R12 (D-D) .....	114
6.1.13 Análise comparativa das demandas energéticas.....	114
6.2 Análise comparativa do consumo específico de energia .....	117
6.3 Indicadores de balanço e eficiência energética.....	120
7. CONCLUSÕES .....	123
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125

## LISTA DE TABELAS

Tabelas		Página
1	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha <sup>-1</sup> , e participações percentuais na operação de transporte interno na produção de algodão em sistemas agrícolas familiar.....	37
2	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, nas <b>rotas 1 e 2 multimodal e unimodal de Rio Verde (GO) à Santos (SP)</b> .....	38
3	Dados para o cálculo do custo energético de atividades físicas humanas.....	44
4	Coeficientes energéticos (MJ kg <sup>-1</sup> ) correspondentes a cada tipo de material utilizado nas depreciações energéticas de máquinas ou equipamentos.....	50
5	Custos unitários médios das operações de manutenção e reabilitação de uma malha rodoviária federal.....	53
6	Custos de manutenção de uma malha ferroviária.....	54
7	Capacidade de armazenagem e fluxo operacional anual de etanol.....	60
8	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Aparecida do Taboado (MS) à Anhembí (SP).....	64
9	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Anhembí (SP) à Paulínia (SP).....	64
10	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP).....	65
11	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP).....	66
12	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP).....	68
13	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Aparecida do Taboado (SP) à Paulínia (SP).....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabelas		Página
14	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP).....	72
15	Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP).....	75
16	Cálculo da mão-de-obra envolvida na movimentação do etanol de <b>Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	77
17	Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por hidrovía.....	82
18	Resumo de algumas características de produtos combustíveis.....	84
19	Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por dutovia.....	87
20	Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por rodovia.....	89
21	Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por ferrovia.....	94
22	<b>Dados para o cálculo do custo energético de atividades físicas humanas</b> .....	98
23	Coeficientes energéticos (MJ kg <sup>-1</sup> ) correspondentes a cada tipo de material utilizado nas depreciações energéticas de máquinas ou equipamentos.....	100
24	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>hidroviário R1 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	106
25	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>dutoviário R1 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabelas		Página
26	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>rodoviário R1 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	107
27	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>ferroviário R2 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	109
28	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>dutoviário R3 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	110
29	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>rodoviário R4 unimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	111
30	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>ferroviário R7 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	112
31	Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte <b>dutoviário R10 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)</b> .....	113
32	<b>Análise comparativa entre entradas de energia por modal estudado em valores absolutos das 12 rotas</b> .....	115
33	Análise comparativa entre as 12 rotas de transporte multimodal <b>de Aparecida do Taboado (MS) ao Porto de São Sebastião (SP)</b> .....	119
34	<i>Ranking</i> comparativo entre as 12 rotas, obtido a partir dos indicadores de balanço e eficiência energética.....	121

**LISTA DE FIGURAS**

Figuras		Página
1	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião (SP) por doze rotas.....	61
2	Mapa ilustrativo do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião (SP) por doze rotas.....	62
3	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Anhembi (SP), Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	64
4	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Anhembi (SP), Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	66
5	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Anhembi (SP), Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	68
6	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	69
7	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	70
8	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	71
9	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página	
10	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	73
11	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	74
12	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	74
13	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	75
14	Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).....	76
15	Exemplo ilustrativo de um Comboio hidroviário alcooleiro.....	79
16	Arranjo Geral do Comboio hidroviário alcooleiro, que transportará etanol por hidrovía até Anhembí (SP).....	79
17	Portão de eclusa a jusante tipo vagão (1 folha).....	80
18	Portão de eclusa a montante tipo esporão (duas folhas).....	81
19	Foto-exemplo de um sistema de dutos e tanques, que armazenariam e transportariam etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....	84
20	Subdivisão de componentes dos dutos, que transportariam etanol de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembí até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....	85

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página	
21	<p>Estoque de dutos, que transportaria etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião(SP).....</p>	85
22	<p>Válvulas de bloqueio que fariam parte do alcooduto.....</p>	86
23	<p>Sistema de dutos sendo construído, que transportaria etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....</p>	86
24	<p>Sistema de dutos sendo construído, que transportaria etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....</p>	87
25	<p>Vista transversal e longitudinal do cavalo mecânico, que rebocaria tanques de combustíveis para o transporte de etanol por rodovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....</p>	89
26	<p>Vista transversal e longitudinal dos semi-reboques tanques, que transportaria etanol por rodovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião(SP).....</p>	90
27	<p>Vista de dois semi-reboques tanques, que transportariam etanol por rodovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....</p>	90
28	<p>Foto de uma locomotiva da ALL (América Latina Logística) que rebocaria vagões tanques no transporte de etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....</p>	92
29	<p>Foto de uma locomotiva da MRS (Minas Gerais/Rio de Janeiro/São Paulo) que rebocaria vagões tanques no transporte de etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....</p>	92

## LISTA DE FIGURAS

Figuras		Página
30	Foto de um vagão tanque que transportaria etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....	93
31	Vista longitudinal e transversal de um vagão tanque que transportaria etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).....	94
32	Gráfico mostrando o <i>Ranking</i> comparativo das 12 rotas estudadas, a partir do Ganho Energético líquido (GEI) e do Balanço Energético renovável (BEr).....	121
33	Gráfico mostrando o <i>Ranking</i> comparativo das 12 rotas estudadas, a partir da Eficiência Energética global (EEg) e da Eficiência Energética renovável (EEr).....	122



**LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

AES Tietê	Applied Energy Service - Tietê. Serviço de Energia Aplicada - Tietê
AHARANA	Agência Hidroviária do Paraná
AHINOR	Agência Hidroviária do Nordeste
ALCOPAR	Associação de Produtores de Álcool e Açúcar do Estado do Paraná.
ALL	América Latina Logística
ANTT	Agência Nacional Transporte Terrestre
ANP	Agência Nacional de petróleo
BEN	Balanco Energético Nacional
BR	Brasil – estrada federal
CBCME	Comitê Brasileiro do Conselho Mundial da Energia
cm	centímetro
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COPERSUCAR	Cooperativa de Açucar e Alcool
COSAN	grupo: Costa Pinto e Santa Bárbara
DATAGRO	Consultoria em Etanol e Açúcar
DH	Departamento Hidroviário
DUTO	dutovia/dutoviário
ECOEDP	ECO Energias De Portugal
ES	Espírito Santo
et. al.	“entre outros”
FEPASA	Ferrovias Paulista S.A.
FERRO	ferrovia/ferroviário
GEIPOT	“Extinto” Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes
GER	Gasto Energético em Repouso
GJ	Giga-Joule
GO	Goiás
GUIALOG	Guia de Logística
GW	Giga-Watt

**LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

GWh	Giga-Watt-hora
h	horas
ha	hectare
HIDRO	hidrovia/hidroviário
HP	Horse Power
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
J	Joule
JEN	Jornal Expresso Notícia
kcal	quilo-caloria
kg	quilograma
kgf	quilograma-força
kJ	quilo-Joule
km	quilômetro
kW	quilo-Watts
kWh	quilo-Watts-hora
L	litro
m	metro
m <sup>3</sup>	metro cúbico
MB	Metabolismo Basal
Mcal	Mega-calorias
MET	<i>Metabolic Employment Tax</i> - Taxa de Trabalho
Metabólico	
MG	Minas Gerais
min	minutos
MJ	Mega-Joules
MRS	Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
MW	Mega-Watts
NOx	Dióxido de Nitrogênio

**LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

OTM	Operador de Transporte Multimodal
PIB	Produto Interno Bruto
PMCC	Petrobras, Mitsui e Camargo Corrêa
PR	Paraná
Psi	<i>Pounds per Square Inch</i> - libra por polegada quadrada
RODO	rodovia/rodoviário
R\$	Reais
RS	Rio Grande do Sul
S.A.	Sociedade Anônima
SOBENA	Sociedade Brasileira de Engenharia Naval e Oceânica
SOx	Dióxido de Enxofre
SP	São Paulo
SP-191	São Paulo – estrada estadual
SP-333	São Paulo – estrada estadual
SP-591	São Paulo – estrada estadual
t	toneladas
TRANSPETRO	Transportadora Petrobrás
UHE	Usina Hidrelétrica
ÚNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
US\$	Dólar
W	Watt
$\Sigma$	somatório
%	percentual
€	Euro

## 1. RESUMO

O Brasil, pioneiro na produção de etanol, tem no Sistema Petrobras, uma experiência de mais de 30 anos no setor de combustível alternativo desde os tempos do Proálcool. Através da distribuidora Transpetro, o país possui uma infra-estrutura de logística que abrange multimodais de transporte, terminais e vias que visam fortalecer o corredor exportador. É uma proposta brasileira à desafiante crise energética que se anuncia para o século XXI, e uma forma de independência ao petróleo. Desta forma, o presente trabalho analisou o fluxo energético considerando rotas atualmente projetadas, em construção ou operantes para o escoamento de etanol da região centro-oeste do Brasil para exportação, mais precisamente, do município de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião (SP). Foram selecionadas 12 rotas para a análise contemplando a multimodalidade ou unimodalidade, ou seja, os diversos modais: rodoviário, ferroviário, hidroviário e dutoviário. A 1ª rota estudada (R1), com 988 km percorridos, foi combinada em três diferentes trechos, hidro-duto-rodoviário. A 2ª rota estudada (R2), com 1031 km percorridos, foi combinada também em três diferentes trechos, hidro-duto-ferroviário. A 3ª rota estudada (R3), com 956 km percorridos, foi combinada também em três diferentes trechos hidro-duto-dutoviário. A 4ª rota estudada (R4), com 831 km percorridos, teve um único modal combinado em dois trechos, rodo-rodoviário. A 5ª rota estudada (R5), com 874 km percorridos, foi combinada em dois diferentes trechos, rodo-ferroviário. A 6ª rota estudada (R6), com 799 km percorridos, foi combinada também em dois diferentes trechos, rodo-dutoviário. A 7ª rota estudada (R7), com 920 km percorridos, foi combinada em dois diferentes trechos, ferro-rodoviário. A 8ª rota estudada (R8), com 963 km percorridos, teve

um único modal combinado em dois trechos, ferro-ferroviário. A 9ª rota estudada (R9), com 888 km percorridos, foi combinada também em dois diferentes trechos, ferro-dutoviário. A 10ª rota estudada (R10), com 869 km percorridos, foi combinada em dois diferentes trechos, duto-rodoviário. A 11ª rota estudada (R11), com 912 km percorridos, foi combinada também em dois diferentes trechos, duto-ferroviário. A 12ª rota estudada (R12), com 837 km percorridos, teve um único modal combinado em dois trechos, duto-dutoviário. Todas as modalidades de transporte tiveram suas características principais detalhadas focalizando a movimentação de carga granel líquida de etanol. Foram utilizados fatores energéticos, diretos e indiretos, envolvidos nas operações para contabilizar os *inputs* e *outputs* do sistema, tais como: óleo diesel, lubrificantes, graxas, consumo de energia indireta de máquinas e equipamentos, o consumo de energia de mão de obra, o consumo de energia elétrica e o consumo de energia na depreciação e manutenção das vias. Os resultados obtidos indicaram a maior participação de energia consumida de mão-de-obra na R4, rodo-rodoviária. Na fonte elétrica, verificou-se uma maior participação de energia consumida na R3, hidro-duto-dutoviária. Para fonte fóssil verificou-se uma maior participação de energia consumida na R4, novamente. Comparando as entradas para fonte industrial sob a forma de máquinas e equipamentos, a R12, demandou mais energia. Na fonte industrial sob a forma de vias, a R8, ferro-ferroviária, foi a que consumiu mais energia. A R4, rodo-rodoviária, teve o maior consumo específico de energia com  $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ . A R12, duto-dutoviária, teve o menor consumo específico de energia com  $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ . Quando foram contabilizados e comparados o Ganho Energético líquido (GEl), a Eficiência Energética global (EEg), o Balanço Energético renovável (BEr) e a Eficiência Energética renovável (EEr), que foram os indicadores energéticos adotados nas 12 rotas, obteve-se a R12, duto-dutoviária, e a R4, rodo-rodoviária como a melhor e a pior rota, respectivamente.

---

**Palavras-chave:** Exportação, Etanol, Logística, Transportes Dutoviário, Rodoviário, Ferroviário e Hidroviário Fluvial, Multimodalidade, Unimodalidade, Análise Energética, Eficiência Energética, Balanço Energético, Indicadores Energéticos.

ENERGY ANALYSIS OF MULTIMODAL TRANSPORT LOGISTICS TO EXPORT ETHANOL APARECIDA DO TABOADO (MS) TO THE PORT OF SÃO SEBASTIÃO (SP). Botucatu, 2013. 133f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FÁBIO CÉSAR BOVOLENTA

Adviser: MARCO ANTÔNIO MARTIN BIAGGIONI

## **2. SUMMARY**

The Brazil, pioneer in the production of ethanol, has on the Petrobras System an experience of over 30 years in the alternative fuel industry since the days of Proálcool. Through distributor Transpetro, the country has an infrastructure that encompasses multimodal logistics transportation, terminals and routes aimed at strengthening the export corridor. It is a Brazilian proposal to challenging energy crisis announced for the XXI century, and a way to oil independence. So, this paper analyzed the energy flow considering routes currently designed, under construction or operative to transport ethanol from the Midwest region of Brazil for export, more precisely the city of Aparecida do Taboado (MS) to the port of São Sebastião (SP). The various modes have been selected, Road, rail, waterline and pipeline: 12 routes for analysis contemplating the unimodality or multimodality. The 1st route studied (R1), with 988 km traveled, was combined into three different sections, hydro - duct - highway. The 2nd route studied (R2), with 1031 km traveled, has also been combined into three different sections, hydro - duct - rail. The 3rd route studied (R3), 956 km, has also been combined into three different sections hydro - duct - duct. The 4th route studied (R4) with 831 km traveled, had a single modal combined into two sections, highway - highway. The 5th studied route (R5), with 874 km traveled, was combined in two different sections, highway and rail. The 6th route studied (R6), with 799 km traveled, was also combined in two different sections, highway and duct. The 7th route studied (R7), with 920 km traveled, was combined in two different sections, rail - highway. The 8th route studied (R8), with 963 km traveled, had a single modal combined into two sections, rail - rail. The 9th route studied (R9), with 888 km traveled, was also combined in two different parts, rail - duct. The 10th route studied (R10), 869 km, was combined in two different parts, duct - highway. The 11th route studied (R11), with 912

km traveled, was also combined in two different sections, duct - rail. The 12th route studied (R12), with 837 km traveled, had a single modal combined into two pieces, duct - duct. All modes of transportation had its main features focusing on the detailed handling of liquid bulk cargo of ethanol. Energy, direct and indirect, involved in operations factors were used to account for the inputs and outputs of the system, such as diesel fuel, lubricants, greases, indirect energy consumption of machinery and equipment, power consumption of labor, the energy consumption and energy consumption in depreciation and maintenance of roads. The results indicated a higher percentage of energy consumed from hand labor at R4, highway - highway. In electrical source, we found a greater share of power consumed in R3, hydro - duct - duct. For fossil source is a greater involvement of energy consumed in the R4 again. Comparing the inputs for industrial source in the form of machinery and equipment, R12, required more energy. In industrial source in the form of roads, the R8, rail - rail, which was consumed more energy. The R4, highway - highway, had the highest specific energy consumption with  $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ . The R12, duct - duct, had the lowest specific energy consumption with  $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ . When were analyzed and compared the Net Energy Gain (GEI), the Energy Efficiency Global (EEg), the Renewable Energy Balance (BEr) and the Renewable Energy Efficiency Ratio (EEr), which were adopted in the energy indicators routes 12, there was obtained R12 , duct - duct, and R4, highway – highway as the best and the worst route, respectively.

---

**Keywords:** Exports, Ethanol, Logistics, Pipeline (Duct) Transport, Road (Highway), Rail and Waterways (Hydro) River, Multimodality, Unimodality, Energy Analysis, Energy Efficiency, Energy Balance, Energy Indicators.

### 3. INTRODUÇÃO

Segundo a ÚNICA (2012), a cana de açúcar ocupa cerca de 7 milhões de hectares ou 2% de toda a terra arável do Brasil que é o maior produtor mundial, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo duas safras por ano. Portanto, durante todo o ano, o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo.

Para a CONAB (2012), a produção estimada de cana esmagada em 2012 foi de, aproximadamente, 300,6 milhões de toneladas, gerando 23,7 bilhões de litros de etanol, 14,17% menor que a produção da safra 2010/11. A queda foi devido a fatores climáticos aqui no Brasil e mercado internacional do açúcar e do etanol que oscilou. Deste total, 9,1 bilhões de litros foram de etanol anidro e 14,6 bilhões de litros de etanol hidratado. Por estes números, o etanol anidro teve um aumento de 13,97% na produção e o etanol hidratado teve uma redução de 25,69%, quando comparados com a produção de etanol da safra anterior.

A CEISE et. al. (2012) descreveram que os grupos sucroalcooleiros instalados no Brasil estão otimistas com as oportunidades no mercado de etanol. Na safra 2011/12, as exportações de etanol atingiram 1,64 bilhão de litros, e a importação 1,66 bilhão de litros, com previsão de crescimento para a safra 2012/13.

Para o escoamento deste etanol até os portos exportadores, as empresas e o governo brasileiro buscam sempre a diminuição do chamado “custo Brasil”. Esse que é composto por impostos de movimentação e armazenagem de materiais; custos ligados a rodovias, ferrovias, hidrovias, dutovias e veículos que nelas trafegam; custos de



administração, controle, organização e manuseio de estoques; custos embutidos em armazéns, pátios, tanques, silos e almoxarifados; custos de transportes rodoviário, ferroviário, hidroviário e dutoviário; custos presentes em sistemas portuários; e custos relacionados a encargos de mão de obra logística.

A utilização dos princípios logísticos tem sido muito valorizada na movimentação e armazenagem de materiais. Ela visa, principalmente, a otimização da eficiência das operações de transportes.

Cada modalidade de transporte oferece uma série de vantagens e desvantagens na movimentação de cargas líquidas. O transporte rodoviário apresenta mais flexibilidade de rotas e no transporte de cargas em relação aos outros, porém com fretes maiores. Já os transportes hidroviário, ferroviário e dutoviário são caracterizados pela movimentação de cargas com alto peso específico, fretes menores, mas somente viável em médias e longas distâncias.

A LOGUM Logística S.A. é a empresa responsável pela construção e operação do sistema logístico de etanol (logística, carga, descarga, movimentação e estocagem, operação de portos e terminais terrestres e aquaviários) que envolverá transportes multimodais: dutos, hidrovias (barcaças), rodovias (caminhões-tanques) e cabotagem (navios). Ela foi criada no dia primeiro de março de 2011, para ser responsável pela implantação deste abrangente e integrado sistema logístico multimodal de transporte e armazenagem de etanol das regiões centro-oeste e sudeste do país. A nova empresa é o resultado da integração dos projetos de logística de etanol da UNIDUTO (conglomerado formado por 12 grandes grupos do setor sucroalcooleiro do Brasil, que operam 81 usinas), Centro Sul Transportes e Logística e PMCC (grupo Petrobras, Mitsui e Camargo Corrêa).

Com grandes investimentos, o sistema logístico de etanol atravessará 45 municípios, ligando as principais regiões produtoras de etanol nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul ao principal ponto de armazenamento e distribuição em Paulínia (SP). Parte deste sistema integrado será composto por um duto de longa distância, cerca de 1.300 km, que interligará as regiões de Jataí (GO) e Paulínia (SP). O empreendimento será integrado ao sistema de transporte hidroviário com utilização de barcaças na bacia Tietê-Paraná. Ao todo, o sistema prevê nove terminais coletores de etanol, entre terrestres e aquaviários. A combinação dos modais dutoviário e hidroviário tem como finalidade a racionalização do processo de transporte do etanol, com os menores custos.

Tendo como base o projeto de escoamento de etanol da região centro-oeste do país projetada pela LOGUM Logística S.A., tomar-se-á, como ponto de origem de um estudo de análise energética multimodal de transporte, o município de Aparecida do Taboado (SP) e, como destino, o porto de São Sebastião (SP).

A energia consumida e produzida num sistema logístico multimodal depende de alguns fatores diretos e indiretos de operação. O óleo diesel, por exemplo, apresenta acentuada demanda de consumo energético, mas não é somente ele quem determina a contabilidade de energia total da logística de transporte multimodal do etanol. Entre outros estão o consumo de energia de lubrificante e graxa, o consumo de energia de máquinas e equipamentos, o consumo de energia de mão de obra, o consumo de energia elétrica e o consumo de energia para manutenção de vias.

Tendo em vista as dutovias representarem uma alternativa com grande potencial inovador quando se busca uma logística de transporte mais sustentável para os grânéis líquidos, o presente trabalho objetiva realizar uma análise energética de 12 rotas de escoamento do etanol, da região centro oeste do Brasil para um porto marítimo exportador, contemplando todas as multimodalidades de transporte, ou seja, os modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e dutoviário conjugados.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Etanol no Brasil e no mundo**

Segundo Vieira (2009), a cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil, em Pernambuco, logo após o descobrimento do país. Em 1532, Martim Afonso de Souza fundou a vila de São Vicente em São Paulo e criou o primeiro engenho no Brasil, denominado São Jorge. Em menos de vinte anos as plantações de cana-de-açúcar se espalharam pelo litoral brasileiro, de forma que por volta de 1550 o país já era o maior produtor mundial de açúcar. O primeiro centro açucareiro de que se tem notícia surgiu na Capitania de Pernambuco, pertencente a Duarte Coelho, em função das excelentes condições de clima e solo.

Para Vieira (2009), o açúcar tornou-se o produto mais importante da economia colonial durante os séculos XVI e XVII, época em que se desenvolveu o chamado “ciclo do açúcar”. A Zona da Mata Nordestina e o Recôncavo Baiano eram os principais pólos dessa atividade, seguidos por Maranhão, Rio de Janeiro e São Paulo.

Segundo a LOGUM (2012), desde o início do século XX, o Brasil já usava o etanol extraído da cana-de-açúcar para fins energéticos. Em 1931, o etanol de cana passou a ser oficialmente misturado à gasolina, até então importada. No entanto, foi apenas em 1975, com o lançamento do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que o governo criou as condições necessárias para que o país surgisse na vanguarda do uso de biocombustíveis.

Para a LOGUM (2012), o Brasil apresentava diversos pré-requisitos para assumir esse pioneirismo: possuía um expressivo setor açucareiro e usinas com alta capacidade ociosa. Paralelamente, as altas no preço do petróleo colocavam em risco o abastecimento interno.

Para Michellon et. al. (2007), o Brasil é pioneiro na produção de etanol como combustível, dispondo de estrutura de produção, distribuição e abastecimento de etanol em todo o País, e possui o que há de mais avançado em tecnologia no gênero. A agroindústria sucroalcooleira trouxe benefícios econômicos como a redução de importação de petróleo, bem como contribuiu para a geração de mais um milhão de empregos e, com a intensificação do etanol como combustível, houve a melhora da qualidade do ar nas grandes cidades.

Segundo ALCOPAR (2007), o etanol, produto químico orgânico, possui diversas aplicações industriais na manufatura de materiais diversos, solventes, bebidas, além de ser muito utilizado como combustível no segmento de veículos automotores. Existem dois tipos de etanol:

- Etílico Anidro Carburante: que é adicionado à gasolina.
- Etílico Hidratado Carburante: combustível, considerado como "etanol limpo", de baixo potencial poluidor; desenvolveu-se com a necessidade de se criar uma fonte de energia renovável a partir da primeira crise mundial do petróleo, impulsionado pelo Proálcool.

Para a Ernst & Young Terco (2011), o consumo de etanol como combustível automotivo vem se ampliando desde a década de 1980 a uma taxa de 5,6% ao ano no Brasil e de 13,4% ao ano nos Estados Unidos. Novos processos de produção de etanol, no entanto, deverão se tornar comercialmente viáveis, gerando ganhos substanciais de retorno energético.

Macedo (2007) observa em seu estudo que a trajetória da inovação tecnológica para o etanol no Brasil hoje é o melhor exemplo (no mundo) da introdução de energia renovável com uma grande escala de produção. Partindo da produção estabelecida de açúcar, um processo completo de integração das produções foi obtido nas usinas: com grande flexibilidade nas unidades anexas (e com operação de autônomas, por algum tempo), as perdas de processo foram reduzidas e houve melhoria na qualidade do açúcar. Esse processo exigiu extenso desenvolvimento tecnológico (geração, importação,

adaptação e transferência de tecnologias) na produção (agrícola e industrial), na logística e nos usos finais, nos últimos trinta anos.

Segundo Macedo (2007), também foi importante uma legislação específica, subsídios iniciais e permanente negociação entre os principais setores envolvidos: os produtores de etanol, os fabricantes de veículos, os setores reguladores governamentais e a indústria do petróleo, em um denso processo de aprendizagem.

A estimativa da ÚNICA (2012) indicou que a demanda de cana-de-açúcar para na safra 2010/2011 foi de cerca de 560 milhões de toneladas para produzir 27,3 bilhões de litros de etanol.

A DATAGRO (2012) projetou a demanda para a safra 2013/2014 em 35,5 milhões de toneladas de açúcar (12,8 milhões para o mercado interno e 22,7 milhões para o mercado externo) e 30,8 bilhões de litros de etanol (24,9 bilhões para consumo interno e 5,9 bilhões para exportação).

Segundo a DATAGRO (2012), serão necessárias 640 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para atender a essas demandas. Para planejar aumentos de produção de cana na magnitude considerada, vários aspectos precisam ser levados em conta, entre eles:

- A sustentabilidade da base agrônômica e a tecnologia agrícola. A capacitação interna coloca o Brasil em posição de vanguarda mundial no emprego da moderna biotecnologia no desenvolvimento de novas variedades de cana, mas a manutenção dessa vantagem competitiva requer um esforço contínuo de aprimoramento e inovação a ser desenvolvido em conjunto por empresas, institutos de pesquisas e governo, principalmente no tocante ao desenvolvimento de variedades adaptadas às novas regiões onde a atividade está se implantando;
- A disponibilidade de áreas livres adequadas. A demanda por novas áreas para a produção de cana-de-açúcar seria atendida com cerca de 3% da área agricultável existente, não havendo limitação nesse sentido;
- A existência de capacidade industrial para implantação de destilarias. A indústria brasileira de equipamentos para a produção de álcool e co-geração de energia tem índice de quase 100% de nacionalização e, embora esteja preparada para atender à demanda de equipamentos e sistemas, necessita de investimentos em ampliação de capacidade produtiva, pois está operando com 100% da capacidade e os prazos de entrega de encomendas estão começando a se ampliar;

- A logística. Para exportações nos volumes estimados (5,5 milhões de t ano<sup>-1</sup>), haverá necessidade de investimentos em infra-estrutura básica, ações conjuntas de governo complementadas por ações do setor privado. Atualmente, a infra-estrutura para exportação existente é de 4 milhões de t ano<sup>-1</sup>;
- Geração de empregos. Mesmo considerando os avanços tecnológicos, que provocam reduções de emprego pela utilização de mecanização agrícola, a expansão do setor deverá trazer aumentos no número absoluto e melhoria na qualidade dos empregos. Estima-se em 1,3 milhão o número de empregos diretos e indiretos gerados;
- Geração de energia elétrica. Considerando a média de 90 kWh t<sup>-1</sup> de cana excedente, para cada 100 milhões de toneladas de cana adicionais, teríamos 9.000 GWh de energia excedente, cerca de dois GW efetivos, com operação sazonal, ou alternativamente 1,1 GW em operação por 11 meses.

Dependendo de uma ação estruturada e coordenada de governo, alguns estudos consideram, para 2025, a substituição por bioetanol de 5% e 10% de toda a gasolina do mundo.

Segundo o Repórter Brasil (2011), a intensificação do debate sobre a sustentabilidade da produção de etanol mundo afora e a conseqüente criação de mecanismos de monitoramento pelos setores públicos e privados nos Estados Unidos e na Europa, não estão impedindo usinas brasileiras flagradas com irregularidades sociais e ambientais de exportarem o combustível para o exterior. Levantamentos sobre dados da safra 2010/11 indicam que restrições socioambientais por parte dos importadores estrangeiros ainda passam ao largo do mercado do etanol. Como apontado no estudo, mesmo nos casos em que o importador alega ter realizado uma avaliação socioambiental do fornecedor, há falta de transparência e os critérios utilizados não são plenamente divulgados.

Para a LOGUM (2012), ao longo destes trinta anos, o uso do etanol, em substituição ou misturado à gasolina, promoveu uma economia de mais de um bilhão de barris equivalentes de petróleo, o correspondente a 19 meses de produção atuais.

Segundo a LOGUM (2012), o crescimento da produção dos veículos *flex fuel* foi um dos principais indutores para o crescimento do mercado de etanol no Brasil e garantiu uma nova perspectiva para o setor sucro-alcooleiro.

Segundo a Ernst & Young Terco (2011), em alguns países, os subsídios à produção de etanol têm funcionado como garantia de competitividade em face da gasolina e do etanol importados. Com a implantação de mandatos que fixam a proporção de mistura na gasolina há uma garantia de mercado e os subsídios ficam caracterizados como apoio às condições locais de produção e barreira adicional ao etanol importado.

Vieira (2009) relata: o Brasil é o primeiro país a atingir estágio de desenvolvimento na produção de bioetanol a preços competitivos com a gasolina. É o primeiro, também, a utilizar o bioetanol em larga escala, como combustível, através da adição compulsória de até 25% de álcool anidro à gasolina, além da comercialização de veículos médios movidos a álcool ou gasolina, os bicombustíveis.

Segundo Urquiaga et al (2005), os primeiros trabalhos sobre balanço energético da produção de etanol da cana-de-açúcar foram publicados no exterior nos anos 70, e os resultados sempre foram muito baixos ou negativos devido ao alto consumo de energia fóssil no processamento do mosto e na destilação do etanol na usina. Entretanto, poucos anos após o começo do Proálcool, as usinas conseguiram substituir toda essa energia fóssil, correspondente a mais de 50% daquela produzida no etanol, pelo uso do bagaço da cana. Atualmente, muitas usinas com excesso de bagaço estão gerando eletricidade que é vendida para a rede estadual. Se esta energia excedente for incluída no balanço energético do etanol, o valor do balanço sobe para mais de 10 para 1.

Para Urquiaga et al (2005), é interessante comparar esse balanço energético calculado para as condições reais do Brasil com os balanços da produção de biodiesel de canola ou de etanol do milho (ou da beterraba ou do trigo) da Europa e dos Estados Unidos. O balanço energético positivo da produção de etanol de cana-de-açúcar de mostra que para produzir 1 GJ de energia, nesta forma, são necessários 0,124 GJ de energia fóssil, em comparação com 0,81 e 0,68 GJ de energia fóssil para produzir 1,0 GJ de energia na forma de etanol do milho ou do biodiesel de canola.

## **4.2 Logística de transporte**

Segundo Barreto (2006), a palavra logística, do francês *logistique* ou do verbo *loger* (alojar) é derivada do grego *logos* (razão) e significa a “arte de calcular ou a

manipulação dos detalhes de uma operação”. Dentro deste último significado o termo “logística” é utilizado há muitos anos na área militar. O barão Antoine Henri de Jomini (general do exército francês sob o comando de Napoleão Bonaparte), definiu logística como a “a arte de movimentar exércitos”.

De acordo com Novaes (2007), logística “é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como as informações e serviços associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor”. A logística, na qual o transporte é considerado fator-chave, é vista como a última fronteira para a redução dos custos e o incremento da competitividade das empresas. Por outro lado, não se concebe uma política de desenvolvimento regional e nacional sem a adequação da infra-estrutura de transportes.

Dias (1985), no ponto de vista logístico, relatou que quatro aspectos são importantes: custo do transporte; rapidez necessária que se pretende inculir à política de transportes; consistência do transporte, relacionados os aspectos tempo e número de operações necessárias ao transporte entre duas localidades; e segurança do material transportado, no que tange à sua proteção e manutenção.

Para Castro (1995), os custos do transporte limitam os fluxos de comércio, pois o custo de transporte está inserido no custo dos insumos, influenciando o custo de produção e o preço do bem final. Estes custos vão determinar quais mercados e regiões estão aptas a concorrer competitivamente com outras, ou seja, uma redução nos custos de transporte, gerando redução dos preços, promove aumento do bem-estar da população, faz surgir ganhos de escala, ampliando a região de abrangência dos empreendimentos.

Ainda Castro (1995), produtos agrícolas e agroindustrializados demandam uma logística otimizada para o escoamento de suas safras, tendo em consideração que o custo de transporte para estes produtos é mais elevado, devido a fatores como perecibilidade dos produtos, baixo valor agregado; estima-se que a participação dos custos de transporte, no preço final dos produtos agrícolas no atacado, seja mais que duas vezes maior que o valor dos produtos manufaturados.

No caso específico da cana-de-açúcar, segundo Caixeta Filho e Gameiro (2001), “o custo do corte, carregamento e transporte representam 30% do custo de produção, e analisando somente o transporte, o percentual é 12% desse total”. O



transporte da cana-de-açúcar realiza-se via modal rodoviário, a granel por caminhões abertos do tipo “Romeu e Julieta”, treminhão ou rodo-trem. O álcool pode ser transportado via modal rodoviário (caminhões-tanque), modal ferroviário ou ainda por dutos (em fase de análise), em especial do álcool para exportação, o que reduziria o custo final do produto.

Segundo Figueiredo et al. (2003), com a implicação de minimizar o custo total para determinado nível de serviço que se deseja prestar ao cliente, toda empresa deveria observar a otimização do fluxo de produtos.

Para Pozo (2002), a logística trata de todas atividades de movimentação, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informações que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviços adequados aos clientes a um custo razoável. A atividade logística deve ser vista por meio de duas grandes ações que são denominadas de primárias e de apoio. As atividades primárias são: transporte, manutenção de estoques e processamento de pedidos. As atividades de apoio são: armazenagem, manuseio de materiais, embalagem, suprimentos, planejamento e controle de produção e sistema de informação.

Caixeta Filho e Martins (2001) destacaram que atender aos requisitos dos mercados consumidores quanto a qualidade dos insumos e produtos, prazos de entrega, assistência técnica e inovações, tem feito com que a eficiência do sistema logístico torne-se uma condição básica para a competitividade de todos os setores da economia.

Segundo Dias (1993), os custos representam parte importante no processo de decisão na administração logística. Variam muito de indústria para indústria, à medida que as empresas tentam balancear os custos básicos de transporte e de manutenção de estoque, de tal maneira que disso resultem custos totais relativamente baixos.

Ballou (1993), por sua vez, relatou que a logística de transporte representa o elemento mais importante do custo logístico na maior parte das empresas. O frete costuma absorver dois terços do gasto logístico.

Figueiredo et al. (2003) escreveram que o transporte é o principal componente dos sistemas logísticos das empresas. Sua importância pode ser medida através de, pelo menos, três indicadores financeiros: custo, faturamento e lucro. O transporte representa, em média, 64% dos custos logísticos, 4,3% do faturamento e, em alguns casos, mais que o dobro do lucro. Além disso, o transporte tem um papel

preponderante na qualidade dos serviços logísticos, pois impacta diretamente o tempo de entrega, a confiabilidade, e a segurança dos produtos.

Gurgel (1996) relata que o custo do transporte pode assumir entre 3% até 8% da receita da empresa, mas a maior despesa ocorre quando o produto não chega ao cliente na hora certa e em boas condições. O enorme esforço de elevação da produtividade poderá ser comprometido pela ineficiência do transporte.

Caixeta Filho (2008) relatou em seu trabalho que o Brasil precisa de incremento do nível (qualidade) do serviço de transporte rodoviário; resgate da credibilidade das ferrovias (perdida durante o período de monopólio público); expansão das atividades hidroviárias; expansão das atividades dutoviárias (para o álcool, particularmente); aumento da capacidade e da eficiência dos terminais portuários; consolidação do modelo intermodal de transporte em áreas mais remotas (Norte e Centro-Oeste); expansão do sistema de armazenamento (inclusive para fins de regulação de estoque); organização administrativa das empresas do agronegócio abrangendo um número cada vez maior e diversificado de cargas (matérias primas e produtos); maior seriedade/profissionalismo/conscientização quando da avaliação dos impactos ambientais decorrentes de intervenções logísticas.

### **4.3 Multimodalidade e intermodalidade no transporte de materiais**

Segundo Rossoni (2012), na área de Comércio Internacional, chama-se de modais as formas com que se pode transportar determinado tipo de mercadoria (tipos de transporte). Tipos de modais embora existam diferentes divisões, será utilizada a seguinte divisão: transporte aquaviário, transporte terrestre e transporte aéreo.

De acordo com Michellon et al (2007), os cinco modais básicos de transporte são: ferroviário; rodoviário; aquaviário; dutoviário e aeroviário. A importância de cada modal pode ser medida de acordo com distância, volume de tráfego, receita, natureza da composição do tráfego, e finalidade do transporte (pessoas, mercadorias ou ambos). Existem outras divisões do transporte, como público ou privado; podendo ser delimitado em local, estadual, regional, nacional, internacional.

Segundo Cunha (2012), historicamente, o significado do transporte intermodal foi simplesmente a transferência de mercadorias entre diversos modais. Hoje, o

conceito implica toda uma visão de sistema relativo à Cadeia de Suprimento (*Supply Chain*), de maneira a reduzir e se possível eliminar, as interrupções no movimento contínuo de cargas e equipamentos de transporte desde o ponto de origem ao local de destino. Num mundo sem fronteiras, ligado pela web e viciado em velocidade, entregar o produto certo na hora certa com o menor custo é vital para a competitividade.

Para Cunha (2012), gerenciar o imprevisível e garantir que a carga chegue no destino, em total segurança e na hora certa, fazem parte do dia-a-dia das empresas que operam o transporte. Afinal, os custos de transporte podem ser representados por uma equação bem simples: a velocidade encarece; a redução das interrupções barateia. O intermodalismo, portanto, é uma forma integradora do canal de distribuição, destinada a fazer com que o custo básico seja menor que a soma dos custos de cada serviço em separado. À medida que cresce o valor das mercadorias no mercado, mais relevante é o papel da Cadeia de Suprimento. A sua gestão logística, tem chamado a atenção das grandes empresas pela sua complexidade e abrangência. A cada dia, mais o meio empresarial busca conhecer melhor a dinâmica desse processo.

Em Barreto (2006), o transporte multimodal é aquele em que uma mercadoria utiliza mais de um modal de transporte para chegar ao seu destino, em virtude da impossibilidade de atingir determinado ponto apenas por um dos modais existentes; pode ser realizado internamente no país, ou entre países diferentes no comércio exterior, como no caso de uma mercadoria que sai de um país e necessita ser entregue no interior de outro país. A multimodalidade caracteriza-se quando a mercadoria é transportada por mais de um modal de transporte sob a responsabilidade de um único transportador ou operador de transporte multimodal, que tem a obrigação da entrega da mercadoria em determinado ponto e cujos trajetos são cobertos por um documento de transporte único, ou seja, por um contrato único. Isto requer o desenvolvimento gerencial de uma política de venda e transporte porta a porta, o que torna a logística de transporte um exercício permanente, para que se possa aproveitar as melhores oportunidades.

Para Serafim (2009), a multimodalidade é: “Quando a unidade de carga é transportada em todo o percurso utilizando duas ou mais modalidades de transporte, abrangidas por um único contrato de transporte.”

De acordo com Rodrigues (2004), para que um transporte seja considerado multimodal, é necessário que utilize ao menos dois modos de transporte, haja um único responsável pela carga e um único contrato, inspeções apenas na origem e no

destino, entre outros requisitos. Há a possibilidade de integração dos vários modais de transporte, como por exemplo, o serviço aeromarítimo, o rodomarítimo, entre outros.

Segundo Cunha (2012), é interessante fazer uma distinção entre o transporte intermodal e o transporte multimodal. O transporte intermodal trata da utilização conjunta de mais de um modal, onde são usados documentos fiscais individuais para cada tipo de modal. O transporte multimodal é um conceito institucional que implica a emissão de um único documento de embarque por um operador de transporte multimodal que assume a responsabilidade como titular, não como agente, de toda a operação de transporte, de origem ao destino.

Segundo Rossoni (2012), a intermodalidade significa a emissão de documentos de transportes independentes, um de cada transportador, cada um assumindo a responsabilidade pelo seu transporte. Na multimodalidade, ao contrário, existe a emissão de apenas um documento de transporte, emitido pelo OTM – Operador de Transporte Multimodal, de ponta a ponta. Quanto a responsabilidade da carga ela é do OTM, do ponto de partida até a entrega final ao destinatário.

Segundo o JEN (2010), o projeto dutoviário de transporte de etanol pela LOGUM, prevê a integração com ferrovias e hidrovia: o terminal de Botucatu permitirá a interação com o transporte rodoviário e ferroviário, alcançando a produção do norte do Paraná; o de Anhembi, que inclui a instalação de um porto, permitirá a interação com o transporte rodoviário e hidroviário – realizado na Hidrovia Tietê-Paraná, que, com seus 1.200 km navegáveis, ajudará a escoar a produção do etanol de parte do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Ajudará a escoar, além da grande produção dessa região do Estado de São Paulo, parte do etanol produzido em Goiás e no Triângulo Mineiro (MG), por meio da integração com rodovias e ferrovia.

De acordo com PUC RIO (2012), o Operador de Transportes Multimodal (OTM) surgiu através da lei de nº 9.611/98 e assinada em 12 de abril de 2000. Define como pessoa jurídica contratada como principal para a realização do transporte multimodal de cargas da origem até o destino, por meios próprios ou por intermédio de terceiros. O Operador de Transporte Multimodal poderá ser transportador ou não transportador. Assim, o OTM, assume a responsabilidade pela execução desses contratos, pelos prejuízos resultantes dos danos ou avarias às cargas sob sua custódia, assim como por àqueles decorrentes de atraso em quando houver prazo acordado. Além dos transportes

inclui os serviços de coleta, unitização, desunitização, movimentação, armazenagem e entrega da carga ao destinatário.

Para Bovolenta e Biaggioni (2007), no que se refere a uma maior agilidade e menor burocracia, a multimodalidade mostra-se mais interessante se comparada à utilização de um único modal.

Rodrigues (2004) argumenta que o aumento da competitividade do Brasil depende da reorientação da matriz de transporte brasileiro, sobretudo para a multimodalidade. Destaca que o modal rodoviário não é mais compatível com o atual estágio de comércio no país, sendo necessário um maior aproveitamento das condições naturais do Brasil e um maior uso de modais de maior capacidade como o ferroviário e o hidroviário. Além da diversificação da matriz de transportes brasileira, destaca-se também a necessidade de inserção das diversas regiões brasileiras no mercado internacional com acesso à infraestrutura de transportes adequada.

Como vantagens do transporte multimodal, Rodrigues (2004) destaca a possibilidade de aliar conveniência e simplicidade jurídico-administrativa à eficiência econômico-energética.

Segundo Cunha (2012), toda a cadeia trabalha integrada e em parceria, analisando as preferências do consumidor e atuando de forma a atender integralmente suas necessidades. O empresário pode definir a melhor estratégia de distribuição visando ao mesmo tempo, redução de custos e satisfação do cliente. A grande oportunidade para se conseguir isso é trabalhar de forma integrada na Cadeia de Suprimento. Isso porque as grandes possibilidades de redução de custos estão nas interfaces dos sistemas, operados por empresas diversas. Deve-se procurar atacar os problemas nas interfaces, bem como internamente, deve-se analisar e avaliar as operações logísticas das empresas envolvidas na cadeia. Tudo isso, visando eliminar atividades que não agregue valor ao consumidor final. Parte desse resultado financeiro é aplicado nas inovações tecnológicas que, por sua vez, levam a reduções adicionais de custo e outra parte possibilita reduções no preço final ao consumidor.

Segundo Ballou (1993), nos Estados Unidos há um grande interesse das empresas em integrar os serviços de mais de um modo de transporte. Serviços integrados são, geralmente, um compromisso entre os serviços oferecidos pelos transportadores, ou seja, custo e desempenho situam-se entre as características dos operadores participantes.

Para Dias (1993), peculiaridades de mercado são componentes formadores dos custos globais e, por isso, insuficientes para, individualmente, oferecerem um juízo isento e objetivo das vantagens desta ou daquela modalidade de transporte. O que ocorre, na verdade, é que a opção do usuário se faz por custos globais, que pode implicar, portanto, na união de vários modais.

Caixeta-Filho e Martins (2001) destacaram que, antes do aparecimento da logística, o processo de escolha do modal era baseado em minimizar o custo das operações. Entretanto, variáveis como agilidade, flexibilidade e nível de serviço são consideradas, atualmente, como variáveis relevantes na tomada de decisão para o transporte de carga.

Pozo (2002) destacou que o principal problema que um gerente de transportes pode encontrar é a seleção do operador que vai transportar as mercadorias da empresa. Se o serviço for integrado (dois ou mais modos de transporte), ele pode ser multimodal, que dispõe apenas de um operador logístico do início até o fim da rota de transporte, ou ele pode ser intermodal, que pode dispor de vários operadores logísticos. No que se refere a uma maior agilidade e menor burocracia, a multimodalidade mostra-se mais interessante.

Para Caixeta Filho e Gameiro (2001), a multimodalidade tem uma importância muito grande para o desenvolvimento das nações, principalmente quando se pensa em rediscutir seus sistemas internos de transporte, com vista fundamentalmente em sua colocação no processo de globalização.

#### **4.4 Características do transporte hidroviário**

Segundo Garcia (2008), restringindo-se ao transporte da cana, do açúcar e do álcool, o corredor da hidrovia Tietê-Paraná é o único que contempla, atualmente, a logística dessas cargas. O álcool já foi transportado pela hidrovia, durante a década de 90, portanto em passado recente. O álcool era embarcado em Araçatuba, ponto mais distante do ponto de embarque, e o comboio fluvial deslocava-se até Santa Maria da Serra, à beira da SP-191, onde era transbordado das barças para caminhões-tanque, que se dirigiam a Paulínia, para posterior distribuição aos postos de abastecimento de

combustíveis. Chegou a se movimentar, por essa logística, cerca de 20 a 50 mil toneladas anuais, com pico de 72 mil toneladas, no ano de 1997.

Ainda segundo Garcia (2008), cabe comentar as conclusões de recente estudo apresentado pelos professores Hernani Luiz Brinati e Newton Narciso Pereira, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que analisou as vantagens comparativas do ponto de vista econômico e ambiental, para o transporte de combustíveis pela região da hidrovia Tietê-Paraná, entre as opções rodoviárias (caminhão-tanque) e as barcaças especializadas com casco duplo. Eles analisaram quatro rotas, com origens diversas e todas terminando em Conchas. A análise econômica indicou custos econômicos pela rodovia como de oito vezes superior ao do custo pelo comboio. Do ponto de vista ambiental, identificaram para ambos os modais, os principais indicadores e quantitativos de emissão de poluentes, categorizando e quantificando o peso para cada tipo de impacto (esgotamento do combustível fóssil, aquecimentos local e global, chuva ácida, eutrofização e poluição aérea) e avaliando, através de um modelo, a relação entre os índices de contribuição de impacto ambiental entre as modalidades. Concluíram, para uma das rotas analisadas, que o potencial de poluição do transporte rodoviário seria cerca de 3,7 vezes superior ao do impacto causado pelo comboio.

Segundo Bovolenta (2012), o modelo logístico de análise energética de transporte é utilizado somente o unimodal hidroviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e destino os terminais hidroviários da cidade de Anhembi (SP). Embarcariam pela hidrovia Tietê-Paraná 7.600 m<sup>3</sup> (6.000 t) de etanol em comboios fluviais com média de velocidade de 10 km h<sup>-1</sup> até a transferência em tanques de estocagem nos terminais hidroviários fluviais na cidade de Anhembi (SP) totalizando parcialmente 584 km de distância em, aproximadamente, 100 horas.

Para Bovolenta (2012), com base nos resultados obtidos e nas discussões apresentadas pode-se destacar a participação de energia específica apresentada pela rota de 0,24 MJ km<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>. As participações de energia apresentadas, comparando energia direta e indireta, a que apresentou maior gasto energético foi da direta com um consumo de energia de 94,32%. Em comparação a outros modais de transporte estudados em outro trabalho, o resultado obtido indica um gasto energético específico menor que o modal rodoviário (0,50 MJ km<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>), seguido pelo modal ferroviário (0,42 MJ km<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>).

Segundo a LOGUM (2012), com grandes investimentos, o sistema logístico de etanol atravessará 45 municípios, ligando as principais regiões produtoras de

etanol nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul ao principal ponto de armazenamento e distribuição em Paulínia (SP). Parte deste sistema integrado será composto por um duto de longa distância, cerca de 1.300 km, que interligará as regiões de Jataí (GO) e Paulínia (SP). O empreendimento será integrado ao sistema de transporte hidroviário, com utilização de barcaças na bacia Tietê-Paraná. Ao todo, o sistema prevê nove terminais coletores de etanol, entre terrestres e aquaviários. A combinação dos modais dutoviário e hidroviário tem, como finalidade, a racionalização do processo de transporte do etanol, com os menores custos.

Para a LOGUM (2012), a hidrovia é um meio de transporte fluvial de mercadorias e pessoas, por meio de embarcações, principalmente comboios compostos por empurradores e barcaças. Em seu projeto, o etanol será capturado nos terminais aquaviários, localizados estrategicamente ao longo dos 662 km de hidrovia Tietê-Paraná para, em seguida, ser despachado para Paulínia, através de comboio (barcaças-empurradores) e um duto. Os comboios serão carregados nos terminais aquaviários, à jusante da hidrovia (Araçatuba, Aparecida do Taboado e Presidente Epitácio), e descarregados num terminal à montante da hidrovia, em Anhembi (SP). A partir deste ponto, o etanol será bombeado através de um duto de transporte de 131 km até o *hub* (armazenamento principal), em Paulínia.

Segundo Bravin (2001), as características intrínsecas do transporte hidroviário são: baixo custo da tonelada transportada por unidade de distância e grande capacidade de carga das embarcações, deslocando-se com velocidade reduzida, permitindo que esse sistema seja indicado para determinados tipos de produtos, que possam ser movimentados em condições especiais. Por essas razões é que se observa, em todas as estatísticas, a predominância de seu uso para determinadas cargas como: os granéis sólidos, líquidos, além dos produtos gasosos.

De acordo com Bravin (2001), são transportáveis por uma via navegável, produtos que apresentam as seguintes características:

- Baixo custo por unidade de massa;
- Volumes apreciáveis;
- Grandes distâncias de transportes percorridas;
- Adaptação em termos de custos às baixas velocidades;
- Grande volume por unidade de massa;
- Comercialização estável.



Caixeta Filho e Gameiro (2001) destacam que o transporte hidroviário é caracterizado pela movimentação de cargas volumosas de baixo valor agregado, a baixas velocidades, sendo o mais indicado para movimentações em longas distâncias e apresentando o menor consumo de combustível (em condições semelhantes de carga e de distância, um conjunto de barcaças consome menos da metade do combustível requerido por um comboio ferroviário).

Ballou (1993) descreve que, nas hidrovias americanas, o transporte hidroviário opera principalmente com granéis. Carvão, minérios, coque, cascalho, areia, petróleo, ferro e aço semi-processado, grãos e cimento compõem mais de 90% do tráfego nas hidrovias. Todos estes produtos são de baixo valor específico e não perecíveis, de maneira que seus custos de estoque não são excessivos e, portanto, utilizam serviço lento e sazonal em troca de fretes baixos.

Segundo São Paulo/DH (2012), o sistema hidroviário Tietê-Paraná possui 2.400 quilômetros de vias navegáveis de Piracicaba e Conchas (ambos em São Paulo) até Goiás e Minas Gerais (ao norte) e Mato Grosso do Sul, Paraná e Paraguai (ao sul). Liga cinco dos maiores estados do País e é considerada a Hidrovia do MERCOSUL.

Segundo Brasil/AHARANA (2012), a extensão da hidrovia do Paraná é de 1.020 km. Para identificação, a rota de navegação foi dividida em quatro trechos, conforme apresentado a seguir:

- O trecho 1 da hidrovia está situado entre a UHE de Itaipu e a entrada do canal de navegação, sob a ponte rodoviária Ayrton Senna, apresentando profundidades que variam entre 10m e 180m, com extensão de 170 km.
- O trecho 2, com extensão de 245 km, estende-se desde o canal de navegação sob a Ponte Rodoviária Ayrton Senna até a UHE Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera).
- O trecho 3, com extensão de 270 km e totalmente situado no reservatório da UHE de Engenheiro Sérgio Motta.
- O trecho 4, com extensão de 225 km, apresenta boas condições de navegação desde a foz do rio São José dos Dourados até o complexo portuário de São Simão (GO), com o percurso de 55 km no Rio Paraná, 170 km no Rio Paranaíba e 80 km no Rio Grande.

De acordo com Aracena (2011), uma das rotas hidroviárias que escoaria etanol do centro-oeste do Brasil até o município de Anhembi (SP) é a hidrovía Tietê-Paraná, a partir de, Aparecida do Taboado (MS) no Rio Paraná.

#### **4.5 Características do transporte rodoviário**

Segundo Pozo (2002), o transporte rodoviário é para serviços de rotas curtas de produtos acabados ou semi-acabados, e oferece entregas razoavelmente mais rápidas e confiáveis de cargas parceladas, assim sendo, o sistema fica mais competitivo no mercado de pequenas cargas.

Dias (1993), descreve que as rodovias respondiam pelo transporte de 70% à 80% das cargas movimentadas no Brasil, e sem entrar no mérito dos erros e acertos da política brasileira de transporte, essa realidade não se modificará sensivelmente em termos globais nas próximas décadas.

Segundo Ballou (1993), nos Estados Unidos, por rodovias são comumente transportados instrumentos, móveis e acessórios, metais e bebidas.

Segundo Scandiffio e Leal (2009), os caminhões-tanque das distribuidoras transportam o álcool combustível da usina até as suas bases ou terminais. A partir deste ponto, entregam o produto aos postos de abastecimento ou ao revendedor retalhista. Este último fornece o combustível para as pequenas empresas e produtores rurais. A partir da usina ou destilaria, o álcool pode também seguir diretamente para os terminais portuários, para ser enviado ao mercado externo.

Para Milanez et. al (2010), a predominância da modalidade rodoviária no transporte de etanol deve-se à sua competitividade em rotas curtas e baixo volume de carga. As usinas estão situadas, em geral, em regiões agrícolas afastadas das importantes vias de transporte e, isoladamente, não têm escalas de produção que viabilizem a utilização e os investimentos em outras modalidades de transporte. Em função disso, praticamente todo etanol deixa as usinas por meio de transporte rodoviário com destino direto às distribuidoras e portos.

Para Caixeta-Filho e Gameiro (2001), o transporte rodoviário por caminhão possui capacidade de se ajustar mais facilmente às variações da demanda. Empresas individuais podem entrar ou sair da atividade em uma região, ajustando o seu

investimento às exigências do mercado consumidor. Este aspecto torna o custo fixo, por unidade transportada por rodovia, razoavelmente estável com respeito ao volume de carga.

Segundo Milanez et. al (2010) em poucos casos, ocorrem as “pontas rodoviárias”, curtos trechos rodoviários até terminais de transbordo para outros modais de transporte. Das distribuidoras, 80% do etanol parte diretamente rumo aos postos, enquanto o restante passa por fluxos de transferência. A predominância de fluxos exclusivamente rodoviários na ligação entre usinas, distribuidoras e postos destaca a possibilidade de entrega direta das usinas aos revendedores de combustíveis. A operação legal não é trivial, mas há casos de acordos comerciais entre usinas e distribuidoras que permitem o fluxo direto do etanol das unidades produtoras aos postos. No caso das regiões de consumo mais distantes, a concentração de carga nas bases de distribuição viabiliza o uso de outras modalidades de transporte para transferência do etanol até distribuidoras mais próximas das áreas de consumo finais.

Segundo Milanez et. al (2010), para que as exportações cheguem aos portos, o transporte rodoviário permanece como única alternativa para a grande maioria das usinas, em função de características de rotas curtas, de altos custos dos transbordos intermodais e de deficiências na infraestrutura das demais modalidades no acesso aos portos.

Ainda segundo Milanez et. al (2010), seguindo o crescimento de consumo de etanol, a primeira onda de investimentos em logística foi dedicada ao sistema rodoviário. A aquisição de novos equipamentos rodoviários para aumento da capacidade de transporte tem sido recorrente para as empresas prestadoras de serviços de transporte de combustíveis. Tendo em vista a ausência de estatísticas consolidadas sobre a utilização de equipamentos rodoviários específicos para a movimentação de etanol, utiliza-se aqui a descrição da frota disponível para transporte de grânéis líquidos, uma vez que essa frota, em tese, pode ser totalmente disponibilizada para o transporte de etanol.

Segundo ANTT (2009), os caminhões com carroceria tanque representam 4,9% do total da frota de caminhões nacionais. Supondo que essa participação de caminhões se mantenha constante na aquisição de novos equipamentos e considerando os preços médios de reboques, semi-reboques e caminhões, estimam-se aumento nos investimentos anuais em equipamentos para transporte rodoviário de grânéis líquidos nos próximos anos.

Valente, et al. (2003) relataram em seu trabalho que o transporte rodoviário de cargas no Brasil tem uma estrutura respeitável e é responsável pelo escoamento, que vai desde safras inteiras agrícolas até simples encomendas. Essa estrutura gira em torno de 7,5% do nosso PIB.

Bravin (2001) relata que a malha rodoviária do estado de Goiás é composta por 4.315 km de rodovias federais e 18.223 km de rodovias estaduais. A malha rodoviária do estado de Minas Gerais é composta por 13.026 km de rodovias federais e 14.270 km de rodovias estaduais. A malha rodoviária do estado de São Paulo é composta por 1.460 km de rodovias federais, 16.970 km de rodovias estaduais e mostra-se de grande relevância para o escoamento da produção agrícola.

Scandiffio e Leal (2009) observaram que a matriz de transporte de cargas em geral, no Brasil, é altamente concentrada no modal rodoviário, com o uso intensivo de óleo diesel, e o transporte de etanol, seja para o consumidor final no mercado interno ou para exportação, insere-se também neste contexto. Nos últimos cinco anos, o modal rodoviário tem participado com cerca 60% do total das cargas transportadas, seguido pelo modal ferroviário. O modal aquaviário é pouco significativo, quando comparado a outros países com dimensão similar à do Brasil. Tal domínio do transporte rodoviário mostra-se completamente incompatível com os volumes de álcool que deverão ser produzidos conforme os estudos elaborados.

Segundo Milanez et. al (2010), nota-se que os crescentes investimentos em equipamentos rodoviários para o transporte de líquidos têm conseguido fazer jus ao aumento da demanda de etanol. Entretanto, esse crescimento induz a uma estrutura logística inadequada para grandes demandas, uma vez que a matriz de transporte de combustível evolui de forma insensata quando o etanol transportado por caminhão substitui a gasolina escoada por dutos. Essa estrutura logística foi primeiramente desafiada em 2008 com a falta de oferta de caminhões e o aumento de custos de fretes durante o pico de exportação aos Estados Unidos. Dessa maneira, espera-se que: a) o planejamento e o investimento em estrutura logística do etanol permitam o desenvolvimento de um mercado mais confiável no qual grandes aumentos de demanda possam ser suportados por uma estrutura apropriada; e b) o mercado de transporte rodoviário seja coerentemente integrado e utilizado em conjunto com modais de transporte mais eficientes e indicados para a movimentação de grandes escalas de etanol a longas distâncias.

#### 4.6 Características do transporte ferroviário

Para Vieira (2009), com a chegada das ferrovias ao Brasil, surgiu o consórcio ferrovia-indústria. Os engenhos passaram a construir e também a utilizar a ferrovia nos transportes de cana, o que lhes permitiu expandir seu alcance territorial. Nessa época surgiu, também, a empresa comercial conjugada com a industrial, a agroindústria estruturada, em que o empresário passou a atuar na agricultura, na indústria e na comercialização de seu produto. Dessa forma, criaram-se unidades maiores de produção e acelerou-se a concentração. Ou seja, os engenhos maiores incorporaram ou eliminaram os menores, reduzindo o número de concorrentes, ao mesmo tempo em que aumentavam a produção.

Segundo Caixeta-Filho e Martins (2001), as ferrovias desempenharam importante contribuição ao desenvolvimento econômico das nações no século XIX. Na verdade, seu sucesso deve-se ao fato de ter preenchido a lacuna deixada pelo transporte hidroviário, que não conseguia movimentar cargas pesadas a grandes distâncias e apresentava dificuldades em suplantar barreiras naturais, o que fazia com que nem sempre atingisse localidades desejáveis.

Segundo Milanez et. al (2010), o aumento das distâncias e das escalas de volumes movimentados pode contribuir para viabilizar os projetos de investimento destinados à criação de um sistema de distribuição de etanol mais competitivo e eficiente. Os primeiros investimentos na logística do etanol priorizam o aumento de eficiência na utilização dos serviços de distribuição existentes. É o caso do transporte ferroviário de etanol, cujos investimentos buscam vencer gargalos como a falta de vagões-tanques, a falta de tração das locomotivas, a baixa capacidade da linha causada por falta de manutenção, a baixa velocidade, a baixa frequência de viagens, os horários limitados de tráfego, a falta de terminais de transbordo e dificuldades de integração das diferentes concessionárias.

Milanez et. al (2010), observam em seu trabalho que em 2008, na Região Sul, concentraram-se 68,3% da movimentação ferroviária nacional de etanol e sete dos 10 principais terminais ferroviários de destino do combustível. As distâncias médias ferroviárias da região foram de 900 km (entre 500 e 2.300 km), e o volume anual transportado totalizou aproximadamente 1,6 milhão de m<sup>3</sup> (movimentação entre 50 mil e 400 mil m<sup>3</sup> nos principais trechos). Contribui para o bom desempenho do transporte

ferroviário regional a integração dos fluxos de etanol com os derivados do petróleo. As principais origens do etanol movimentado na região foram Ourinhos (SP), Maringá (PR) e Londrina (PR), são também importantes destinos para os vagões inicialmente planejados para distribuir a gasolina e o óleo diesel produzidos na base primária de Araucária (PR).

Caixeta-Filho e Gameiro (2001) descrevem em seu livro que o transporte ferroviário, com suas características de custos fixos altos e custos variáveis relativamente baixos, se eficientemente operado, pode observar custos unitários reduzidos para movimentações que envolvam grandes quantidades de carga.

Ballou (1993) destaca que o transporte ferroviário com fretes mais baratos, concentra-se nas cargas de relação valor-massa ou valor-volume mais baixas. Produtos químicos, siderúrgicos e plásticos são exemplos de cargas comumente encontradas nos Estados Unidos.

Segundo Dias (1993), o sistema ferroviário brasileiro possui poucas linhas, distribuídas em bitolas diferentes.

Segundo Figueiredo et. al. (2003), bens de maior valor agregado incorrem em maior custo de estocagem por tonelada, resultando para alguns produtos, em embarcadores com estratégias de distribuição que enfatizam carregamentos menores e mais freqüentes.

Para Milanez et. al. (2010), a malha ferroviária paulista apresentou uma evolução da movimentação ferroviária de etanol por concessionárias que atuam na região. O crescimento de movimentação na malha paulista ocorreu em função da revitalização dos terminais distribuidores em Paulínia, além dos investimentos em terminais de carregamento existentes em algumas usinas, como em Pradópolis, e bases de distribuição (Araraquara, Bauru e São José do Rio Preto).

Segundo Junqueira (2011), o terminal ferroviário de Paulínia, interligado à malha dutoviária pode receber álcool diretamente das usinas (por rodovia) ou dos centros coletores (por ferrovia). Pode até ser capaz de enviar o álcool ao porto do Rio de Janeiro, através do sistema dutoviário da Transpetro.

Segundo Milanez et. al (2010), cabe destacar que a expansão tardia do transporte ferroviário de etanol no interior paulista foi inibida pelas curtas distâncias entre as usinas e o mercado consumidor, as quais variam entre 230 e 410 km. O crescimento recente das escalas de transporte contribui para aumentar a competitividade dessa alternativa. A maior participação do etanol na matriz de carga ferroviária ocorre na

malha sul da concessionária ALL (América Latina Logística), onde o produto representa 4,5% da movimentação total, enquanto a média nacional foi de 0,4% em 2008.

Segundo Junqueira (2011), são oito os centros coletores de etanol, interligados à malha ferroviária. Os centros coletores são instalações localizadas próximo às usinas produtoras, recebendo o álcool pelo modal rodoviário e expedindo-o pelo modal ferroviário, de menor custo. Através da malha ferroviária, podem atingir os portos de Paranaguá, Santos e São Sebastião. Possuem capacidade total de armazenamento de 90.000 m<sup>3</sup>;

#### **4.7 Características do transporte dutoviário**

Cabe ressaltar aqui a dificuldade em obter informações sobre o assunto junto às empresas envolvidas no processo de construção do alcoolduto ou etanolduto. Nenhuma empresa contatada ofereceu detalhes sobre a construção de seus projetos.

Para a Repórter Brasil (2011), o governo e o setor privado brasileiro avaliam que a queda de produção de etanol é conjuntural e apostam que o país pode se tornar um importante exportador em médio prazo. Em 2010, a Petrobras obteve a licença ambiental para iniciar a construção de um alcoolduto que ligará regiões produtoras de Minas Gerais e São Paulo ao porto de Santos e São Sebastião. As obras começaram no segundo semestre de 2011.

Segundo dados da Repórter Brasil (2011), essa expectativa tem incentivado governos estrangeiros e segmentos do setor privado a avançarem na criação de padrões de sustentabilidade para a importação de combustíveis renováveis, entre eles o etanol brasileiro. Os Estados Unidos, por exemplo, maiores consumidores de energia renovável do mundo, exigem que as usinas cadastrem-se na Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA, na sigla em inglês) em troca da redução das burocracias de exportação.

Existem pelo menos três tipos de transportes tubulares:

a) Terrestre: é o mais utilizado e seguro. A maior parte do trajeto ocorre por baixo do solo;

b) Subaquático: geralmente utilizado para gases ou óleo oriundos do mar aberto. Não é recomendado para o transporte do etanol haja vista o contato da água com o álcool gerar uma reação química que prejudicaria o transporte.

c) Aéreo: são tubulações suspensas que circulam entre torres, utilizada na própria usina de álcool, e pode vir a ser utilizada nos portos com caminhões adaptados que já despejariam o produto direto nos navios.

Para Milanez et. al (2010), novos ganhos de competitividade podem ser obtidos com o início da operação dos “alcooldutos”. Entretanto, para esses investimentos se viabilizarem, os volumes movimentados de etanol deverão atingir níveis muito superiores aos atuais. Para avaliar a viabilidade econômica do investimento em uma dutovia, foram empregadas as premissas a saber:

- investimento – R\$ 2,2 milhões  $\text{km}^{-1}$ ;
- receita – R\$ 30  $\text{m}^{-3}$  500  $\text{km}^{-1}$ ;
- custo operacional entre 7% e 9,5% do investimento; e
- taxa interna de retorno de 13%.

Segundo Milanez et. al (2010), nesse cenário, para que possa ser viabilizada a construção de uma dutovia com 500 km de distância, seriam necessários cerca de 4,5 milhões de metros cúbicos de etanol por ano. Atualmente, a utilização de dutos para a movimentação de etanol é limitada a poucas rotas de curtas distâncias, ligando a refinaria de Paulínia ao Rio de Janeiro e a de Araucária a Paranaguá e bases de Santa Catarina. Nesse sentido, o aumento das escalas de movimentação de etanol contribuirá para a criação de estrutura e a diminuição dos altos custos de transbordos de descarregamento rodo-ferro-dutoviário, incomuns para os demais tipos de combustíveis e um grande impeditivo à movimentação dutoviária do biocombustível. Outro fator que inibe a utilização do sistema de dutovias atualmente se refere à necessidade de volume mínimo e lastro operacional, exigidos pela operadora dos dutos (Transpetro), o que acaba inviabilizando o transporte dutoviário de pequenos volumes e baixa periodicidade.

Para Suzuki Junior (2011), é importante colocar que, além de São Paulo e Paraná, outros estados vêm sobressaindo na produção de cana-de-açúcar, como Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, cujas taxas anuais de crescimento da oferta primária alcançaram 16,4%, 19,2% e 19,2%, respectivamente, no intervalo 2002-2010. Em outras palavras, a apropriação de uma parte dos volumes de exportação gerados por outras



unidades da Federação seria importante, mas talvez não necessariamente imprescindível, para a viabilização econômica do alcoolduto.

Segundo a Suzuki Junior (2011), para tornar ainda mais complexa a questão da implantação dessa infraestrutura, deve-se levar em conta ainda os outros projetos em andamento. A título de exemplo, foi lançado em 2010, em Ribeirão Preto (SP) o projeto do alcoolduto que conectará as principais áreas produtoras paulistas ao complexo da Petrobras localizado em Paulínia (SP), visando, inclusive, à otimização da distribuição do etanol que será consumido internamente. Em sua totalidade, o projeto abrange municípios de Goiás e Minas Gerais, ligando-os a estruturas portuárias em São Sebastião (SP) e no Estado do Rio de Janeiro (Terminal da Ilha D'Água). Com a efetivação desses investimentos, torna-se necessária a discussão da inserção do alcoolduto paranaense na matriz nacional. Em suma, o projeto do alcoolduto estadual exige não apenas estudos sobre o potencial de crescimento da produção paranaense de cana-de-açúcar, como também avaliações relativas aos movimentos do segmento sucroalcooleiro em nível nacional, incluindo ainda perspectivas atinentes à demanda mundial por combustíveis alternativos.

Chamado de sistema multimodal de logística de etanol, o projeto da LOGUM (2012) se estenderá por cerca de 1.300 quilômetros atravessando 45 municípios, ligando as principais regiões produtoras de etanol nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, ao principal mercado consumidor de etanol do Brasil, a região da grande São Paulo, e também aos portos do Sudeste. O sistema é necessário à medida que a produção de etanol está cada vez mais distante dos centros consumidores e de exportação. A expectativa é de que o Estado de São Paulo, que em 2009 concentrava 69,3% da produção de etanol, chegue em 2021 com 48,06% do total produzido enquanto, no período, Goiás salte de 10,2% para 18,2% e Mato Grosso do Sul saia de 6,1% para 14,5%.

O sistema da LOGUM terá investimentos de R\$ 6 bilhões e quando concluído, em 2016, a expectativa é de uma capacidade de transporte de 21,8 bilhões de litros por ano, dos quais 12,7 bilhões deverão ser transportados via dutos e 9,1 bilhões de litros através de hidrovias.

Segundo a LOGUM (2012), nas cidades citadas, existirão centros de coletas e terminais de armazenamento com capacidade de 838 milhões de litros. A partir de Paulínia, onde está localizada a refinaria da Petrobras, um duto partirá em direção à cidade de São Paulo e dali para São Sebastião, no litoral paulista. Outro duto seguirá em direção ao Rio de Janeiro. E um terceiro duto vai até ao município de Anhembi, às margens do Rio

Tietê. Neste ponto, haverá uma conexão com a rede hidroviária do oeste paulista e de Mato Grosso do Sul, a bacia Tietê-Paraná. Os comboios de transporte serão construídos e operados pela Transpetro. A Transpetro deverá também operar os dutos do sistema a serviço da LOGUM Logística S.A.

Para o JEN (2010), o projeto da UNIDUTO, terá um total de 612,4 km de extensão de dutovia que passará por 46 municípios do Estado de São Paulo, sendo Americana, Analândia, Anhembi, Araras, Barueri, Botucatu, Caieiras, Cajamar, Campinas, Carapicuíba, Cordeirópolis, Corumbataí, Cosmópolis, Cotia, Cravinhos, Cubatão, Descalvado, Embu, Franco da Rocha, Hortolândia, Iracemápolis e Itapeçerica da Serra.

Segundo a UNIDUTO (2012), a dutovia é uma modalidade de transporte baseada em um conjunto de dutos (ou, simplesmente, tubos com características especiais de fabricação) para o transporte de produtos a granel, líquidos ou gasosos, por meio de bombeamento ou compressão do produto, de forma mais rápida, segura e em larga escala. A dutovia da Uniduto transportará apenas produtos líquidos (combustíveis).

Para a UNIDUTO (2012), os dutos poderão ajudar a reduzir os custos com o transporte do etanol em aproximadamente 20%. Além disso, um estudo da Secretaria de Desenvolvimento simulou o impacto das emissões de gases de efeito estufa para um alcoolduto com capacidade de movimentar cerca de 12 milhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, onde obteve a retirada de 266 mil viagens de caminhões-tanque das rodovias e a redução com gastos públicos anuais na área de saúde e prevenção de acidentes.

Ainda segundo a UNIDUTO (2012), outros produtos também poderão ser transportados pelos dutos da empresa, o principal será etanol e, eventualmente, em trechos específicos, outros combustíveis, tais como biodiesel e gasolina. De acordo com a empresa responsável do empreendimento, todas as empresas que estiverem interessadas em utilizar o serviço de logística de transporte de etanol do projeto Uniduto, poderão se utilizar dos serviços da dutovia.

Segundo o JEN (2010), para demonstrar a viabilidade do empreendimento, a Uniduto desenvolveu um minucioso estudo que envolveu 22 empresas de consultoria e mais de 100 especialistas das áreas de engenharia, geologia, biologia, economia, sociologia, geografia e comunicação social. Todos projetos levaram ao duto de aço carbono, seguindo as exigências de normas técnicas específicas. Eles apresentarão revestimentos especiais para evitar a corrosão e para proteção mecânica. As dimensões poderão variar, de acordo com o volume a ser transportado, a distância percorrida e o

relevo do traçado, mas podem ser de 10 polegadas (25 centímetros) até 30 polegadas (75 centímetros) de diâmetro. Um duto tem vida útil indeterminada, desde que mantida uma boa manutenção e de que não haja abrasão (ato ou efeito de raspar ou desgastar por atrito) pelo produto transportado.

Para o JEN (2010), por ser um sistema baseado em operação contínua, a dutovia é um modal com produtividade máxima. O transporte por dutos cumpre prazos e horários, já que não é afetado por interferências externas, como clima, geografia ou até mesmo o trânsito, e garante maior segurança para o meio ambiente e para a população, já que diminui o número de caminhões e, conseqüentemente, o risco de acidentes de trânsito.

Segundo a UNIDUTO (2012), sua companhia é composta por um grupo de mais de 80 usinas ligadas a 10 grandes grupos brasileiros produtores de etanol, a maioria instalada no Estado de São Paulo, responsável por 60% da produção nacional, que tem como principais acionistas grandes grupos sucroalcooleiros, como COPERSUCAR, COSAN, São Martinho, Santa Cruz, São João e Bunge.

Para o JEN (2010), em função do transporte dos combustíveis na dutovia ser realizado através de operação de bombeamento, a qual empregará basicamente energia elétrica, substituindo principalmente o modal rodoviário, o projeto UNIDUTO causará melhoria significativa sobre a qualidade do ar, uma vez que evitará a queima de combustíveis fósseis, principalmente o diesel. Estudos demonstram que o projeto evitará a circulação de 1600 caminhões tipos bitrens por dia nas estradas brasileiras, o que significará evitar a emissão de 2.100.000 t de CO<sub>2</sub> no período de 2014 a 2022.

Segundo o JEN (2010), também serão evitadas as emissões de outros poluentes atmosféricos, como CO, NOx, SOx, compostos orgânicos voláteis e particulados, gerando, segundo o decreto paulista 52.469, créditos de emissões, os quais permitirá a instalação de novos empreendimentos por terceiros nas áreas saturadas cruzadas pelo projeto.

JEN (2010) especifica que são vários os benefícios e as vantagens do transporte por dutos:

- redução de custos no transporte do etanol;
- criação de infraestrutura necessária para o escoamento da demanda crescente por etanol;
- integração de diferentes modais (ou modalidades) de transporte;

- geração de empregos e divisas;
- redução do tráfego e número de acidentes com carretas nas estradas paulistas;
- redução das emissões de poluentes na atmosfera, tais como os gases geradores do efeito estufa;
- evita-se a geração de resíduos sólidos (pneus, óleo, peças de reposição, lubrificantes etc.);
- praticamente não há queima de combustível fóssil no sistema;
- alta economia no transporte, sendo mais econômico que outros modais;
- alta confiabilidade;
- operação contínua;
- modal não afetado por condições adversas de tempo;
- elevado grau de automação na movimentação de produtos;
- relevante solução para o atual gargalo logístico da cadeia do etanol;
- menor potencial de impacto ambiental, tanto na fase de implantação quanto na fase de operação, se comparado com a implantação de rodovias e/ou ferrovias;
- maior segurança para o meio ambiente e a população (menor risco de acidentes).

## **4.8 Características da análise energética**

### **4.8.1 Energia**

Segundo Carvalho (2008), na medida em que ficavam mais problemáticas, as velhas fontes de energia foram sendo complementadas, senão substituídas, por novas fontes, mais eficientes: a força muscular foi complementada pela energia das águas e pela tração animal, que foi complementada pela energia eólica e pela lenha, que cedeu lugar ao carvão, que foi complementado pelo petróleo, ou por este substituído, na indústria, nos transportes e nos modernos sistemas agro-industriais. As novas fontes de energia induziam a criação e desenvolvimento de tecnologias industriais e agrícolas mais avançadas e, concomitantemente, as matrizes energéticas foram-se ajustando a essas fontes. Entretanto, até o presente não foram encontrados substitutos comparáveis ao petróleo e ao gás, no que diz respeito à densidade energética, à

transportabilidade e a outras características, que lhes conferem as qualidades para serem usados em larga escala nos transportes, na indústria e na agricultura.

Segundo Marquesin Junior (2011), a energia é a capacidade de realizar trabalho. Entretanto, o conceito de energia não é de fácil entendimento dado que se trata de uma grandeza abstrata sendo mais fácil observá-la quando está sendo transferida ou transformada. Encontrada sob várias formas como térmica, química, elétrica, mecânica, luminosa, dentre outras, a energia consumida diariamente pela humanidade é em sua grande maioria elétrica ou química.

Segundo Goldemberg e Moreira (2005), o uso de energia e de tecnologias modernas de uso final levou a mudanças qualitativas na vida humana, proporcionando tanto o aumento da produtividade econômica quanto do bem-estar da população. No entanto, mais do que o aumento do consumo de energia, são os serviços gerados pela energia que realmente conduzem a uma melhoria do bem-estar. Também o propósito para o qual os serviços energéticos são alocados é que determina, em última análise, o nível de desenvolvimento econômico atingido. Serviços energéticos somente são adquiridos por meio de uma combinação de tecnologia, infra-estrutura e suprimento de energia. No entanto, para os consumidores, o que realmente importa é a utilidade/satisfação derivada de serviços energéticos e o preço pago aos fornecedores de energia para obter tais serviços.

Segundo Moreira (2005), a energia é um dos insumos necessários ao desenvolvimento econômico. Ao lado das matérias-primas e da mão-de-obra, a energia permite a transformação dos materiais e a produção dos bens e serviços que asseguram a subsistência e conforto dos seres humanos.

Segundo Vieira (2009), o Brasil dispõe do etanol como energia que é um combustível limpo e renovável, neutro no que diz respeito às emissões dos gases do efeito estufa, que reduz em 50% a emissão de monóxido de carbono dos motores de veículos e que possibilitou a substituição total do chumbo tetraetila antes adicionado à gasolina.

Para Vieira (2009), a energia renovável produzida pelas usinas para uso externo, principalmente etanol, é cerca de nove vezes maior do que o insumo fóssil usado na sua produção, em grande parte por causa de sua autonomia energética. Dessa forma, o etanol da cana-de-açúcar se torna o mais atraente entre os usos comerciais de energia alternativa no mundo, do ponto de vista de sustentabilidade, com redução de

emissões de gases do efeito estufa em cerca de 12,7 milhões de toneladas de carbono equivalente.

Ainda segundo Vieira (2009), a preocupação da sociedade com o uso de combustíveis e tecnologias poluentes, a obrigação de reduzir os gases do efeito estufa, contida no Protocolo de Quioto, a instabilidade social e política das principais regiões produtoras de petróleo, aliadas à ameaça de ataques terroristas à sua infra-estrutura, são aspectos que reforçam a necessidade de diversificar a matriz energética e reduzir a importância do petróleo no mundo, substituindo as fontes fósseis por renováveis. Estados Unidos, Japão, União Européia, Índia e China, entre outros grandes consumidores de gasolina, buscam alternativas para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, através de redução de consumo. Assim, a produção e o consumo de etanol combustível com base na biomassa têm sido incentivados em diversos países, através de programas e políticas de governo para biocombustíveis e acordos internacionais.

Segundo Vieira (2009), a produção e o uso de energia renovável assumem importância fundamental quando se associam meio ambiente e desenvolvimento, levando à valorização da biomassa para esse fim. A cana-de-açúcar é um bom exemplo de biomassa e o uso do álcool combustível dela proveniente representa uma resposta rápida à necessidade de redução das emissões de gases do efeito estufa.

Segundo Costa e Bueno (2011), o consumo de energia, base das atividades produtivas, ocasiona inevitavelmente, impacto sobre o meio ambiente. Assim, se, no passado, a energia era tratada como sendo meramente um problema de fornecimento de insumos para a produção, ameaçada nos anos 1970, pelos choques de petróleo e pela conseqüente elevação do seu preço, nos anos 1980, torna-se uma questão fortemente ligada à preservação do meio ambiente. O que se constata nas discussões internacionais e nos estudos em diversos países é o aprofundamento dessa relação. A crescente ligação entre energia e meio ambiente articula-se com a ciência e a tecnologia, mobilizadas para resolver o problema de melhorar a eficiência na transformação (produção e consumo final), no transporte e na distribuição, e disposição de resíduos.

#### 4.8.2 Tipos de energia

Segundo a ANP (2012), como medidas de eficiência e substituição energética, a intensidade energética vem se reduzindo em razão de melhorias na eficiência da energia, substituição de combustíveis e mudanças em indústrias intensivas. A necessidade de ganhos de eficiência energética conjuga-se com os objetivos de segurança energética e de redução das emissões, gerando incentivos para a substituição de fontes de energia.

Segundo Comitê (1993), o fluxo externo ao sistema é aquele aplicado ao processo de produção e constitui-se de dois tipos básicos (energia direta e indireta). A energia direta é a soma de todas as quantidades calóricas provenientes de fontes energéticas na forma em que se apresentam, ou seja, entra diretamente na produção constituindo-se em energia intrínseca. É o caso dos combustíveis fósseis e daqueles provenientes da biomassa (biológica e elétrica). A indireta é empregada na fabricação, transporte e armazenagem de bens e serviços que são empregados na produção de novas mercadorias, ou seja, são energias consumidas no processo produtivo e distributivo de bens e serviços empregados na produção. É a energia embutida nas máquinas, implementos, insumos e construções, já que para atingirem a forma em que entram na produção, demandaram quantidades calóricas de trabalho humano, matéria-prima, combustível, transporte, etc.

Moreira (2005) relata em seu trabalho que a energia injetada no sistema estudado por ele foi subdividida em energia direta e energia indireta. Definiu-se como energia direta os combustíveis e insumos que tiveram o uso direto do petróleo. Também foi considerada como energia direta, a energia de origem biológica, como a mão-de-obra. Como energia indireta, foi definida a energia empregada na fabricação das máquinas e equipamentos.

Segundo Campos (2001), a forma de classificação da energia mais utilizada tem sido a divisão em energia direta e energia indireta. Na energia direta se enquadrariam os combustíveis fósseis, eletricidade e mão de obra diretamente consumidos. Na energia indireta se enquadrariam a energia consumida na indústria para as manufaturas das máquinas e equipamentos.

Romero (2005) traz em seu trabalho o transporte interno da produção de algodão em sistemas agrícolas familiares, apresentado na Tabela 1. Nesta

operação, destacou-se a utilização de óleo diesel. Os dispêndios relativos à energia biológica proveniente do trabalho humano, pouco contribuíram com 2,50 MJ. A operação de transporte interno da produção apresentou desproporcionalidade considerável entre as energias de tipo direta e indireta. A fonte fóssil constituída, principalmente, pela participação de óleo diesel, revelou-se relativamente alta.

**Tabela 1.** Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha<sup>-1</sup>, e participações percentuais na operação de transporte interno na produção de algodão em sistemas agrícolas familiares.

<u>TIPO, fonte e forma</u>	<u>Entradas culturais</u>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>288,97</u></b>	<b><u>96,16</u></b>
Biológica	2,50	0,87
Mão-de-obra	2,50	100,00
Fóssil	286,47	99,13
Óleo diesel	273,07	95,32
Lubrificante	1,25	0,44
Graxa	12,15	4,24
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>11,53</u></b>	<b><u>3,84</u></b>
Industrial	11,53	100,00
Caminhão	11,53	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>300,50</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

Segundo Bovolenta e Biaggioni (2007), estão apresentados na Tabela 2, uma análise comparativa entre as rotas 1 (multimodal) e 2 (unimodal) no transporte de soja:

- Nas entradas de energia, por tipo, fonte e forma, nas rotas 1 e 2 – multimodal e unimodal de Rio Verde (GO) à Santos (SP), notou-se uma maior participação de energia do tipo direta para a rota 2, unimodal. Isto explica-se devido ao alto consumo de óleo diesel apresentado pelos bitrens ao longo de um trajeto de 959 km, mesmo que a rota 1, multimodal, seja maior com 1.375 km.
- Destaca-se, uma maior participação de energia do tipo indireta para a rota 1, multimodal. Este fato é representado pelo elevado número de máquinas e equipamentos nos dois transbordos (São Simão-GO e Pederneiras-SP) e na descarga em Santos (SP) e pelo alto custo de implantação dos trechos.



- Pode-se representar, também, as participações de energia da seguinte forma: rota 1 - multimodal ( $0,34 \text{ MJ km}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ) com menor gasto energético, e rota 2 - unimodal ( $0,50 \text{ MJ km}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ) com maior gasto energético.

**Tabela 2.** Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, nas rotas 1 e 2 – multimodal e unimodal de Rio Verde (GO) à Santos (SP).

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Rotas</b>	
	<b>Rota 1</b>	<b>Rota 2</b>
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>2.411.049,97</u></b>	<b><u>2.617.512,21</u></b>
<u>Elétrica</u>	<u>47.806,68</u>	<u>5.510,61</u>
Tombador hidráulico	3.025,43	2.003,86
Correia transportadora	6.806,00	2.003,86
Correia elevadora	1.512,39	1.502,89
Portão eclusa à jusante	120,69	-
Portão eclusa à montante	48,28	-
Sugador pneumático	36.296,90	-
<u>Fóssil</u>	<u>2.362.421,66</u>	<u>2.610.373,38</u>
Óleo diesel	2.345.967,74	2.587.281,09
Lubrificante	16.185,25	21.498,78
Graxa	268,00	1.593,51
<u>Biológica</u>	<u>821,63</u>	<u>1.628,60</u>
Mão-de-obra	821,63	1.628,60
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>202.808,14</u></b>	<b><u>63.554,37</u></b>
<u>Industrial</u>	<u>50.390,54</u>	<u>27.286,45</u>
Bitrem graneleiro	4.420,82	26.560,45
Tombador hidráulico	608,56	403,01
Comboio hidroviário	35.066,06	-
Portão eclusa à jusante	19,39	-
Portão eclusa à montante	19,39	-
Sugador pneumático	4,33	-
Comboio ferroviário	9.499,87	-
Correia transportadora	562,05	134,04
Correia elevadora	190,13	188,95
<u>Industrial de manutenção</u>	<u>152.417,60</u>	<u>36.267,92</u>
Rodovia	5.649,49	32.835,54
Hidrovia	9.822,02	-
Ferrovia	136.946,09	-
Pedágios	-	3.432,38
<b>TOTAL</b>	<b>2.613.858,11</b>	<b>2.681.066,58</b>
<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b> ( $\text{MJ km}^{-1} \text{ t}^{-1}$ )	<b>0,34</b>	<b>0,50</b>

Fonte: O autor.

#### 4.8.2.1 Energia do tipo direta de fonte elétrica

Segundo Baêta et al (2012), a energia elétrica é a principal fonte de energia do Brasil, sendo, muitas vezes, a única utilizada nas indústrias. Esta fonte apresenta um custo relativamente elevado devido, principalmente, ao desperdício causado pelo mau uso da energia. Pesquisas realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostram que 46% da energia do nosso país são para uso do setor industrial que, por sua vez, é responsável por grande parte de seu desperdício. Surge então, o termo eficiência energética que, segundo Leonelli (2007) “consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização”, ou seja, é tentar aproveitar o total da potência empregada para determinada carga, evitando ao máximo as suas perdas. Estudos independentes mostram que 30% dos acionamentos e motores do setor industrial, ao operar em condições ideais de instalação, podem trabalhar de forma mais eficiente proporcionando uma economia de energia que chega até a 50%. A gestão eficiente de energia e da manutenção é, em muitas situações, o que define a lucratividade de uma operação, sendo assim, ao ser implantado o plano de eficiência energética em uma indústria, gera-se uma economia significativa, que acarreta na diminuição do custo do seu produto final, uma vez que sua produção é barateada.

Segundo Marquesin Junior (2011), a energia elétrica é a mais popular graças a sua versatilidade, é facilmente convertida em outras energias como mecânica, luminosa ou térmica, além de ser de fácil transporte e possuir baixas perdas em conversões. Sua obtenção provém principalmente das conversões de energia potencial obtida em quedas d'água como em usinas hidrelétricas ou então por processos térmicos que na verdade utiliza-se de energia química como no caso de termelétricas a carvão ou biomassa. Todos os processo de geração de energia elétrica consistem em alternadores acoplados à turbinas acionadas por energia mecânica.

Para Baêta et al (2012), em uma indústria os motores elétricos são os equipamentos que mais consomem energia, e assim ficou clara a necessidade de buscar sua maior eficiência. Um problema é o superdimensionamento, ou seja, não existe um estudo detalhado da aplicação dos motores, muitas vezes causado pelo desconhecimento de métodos de instalação e valor de carga, gerando assim um maior custo, redução do fator de potência e corrente de partida que acarretara um maior custo da instalação, manutenção e proteção. Os motores elétricos são os responsáveis pela transformação da energia elétrica

em mecânica. Possuem uma carga significativa nos processos industriais, pois sua força motriz corresponde a 51% do consumo dos equipamentos. Verifica-se, então, que motores com carregamento abaixo da média, utilizam uma maior quantidade de energia e próximos a plena carga, resultam em aquecimento reduzindo sua vida útil. Assim sendo algumas empresas fabricantes de motores chegaram à conclusão de que para aumentar sua vida útil e manter, como consequência sua eficiência, os seguintes fatores são considerados: Dimensionamento do motor, qualidade da energia da rede elétrica, seleção do motor mais adequado à potência mecânica exigida por um equipamento, uso de motores de alto rendimento e uso de inversores para motores com regime de carga muito variável;

Segundo Bovolenta e Biaggioni (2007), na conversão dos conteúdos energéticos dos equipamentos elétricos utilizados na logística de transporte multimodal da soja, foi adotado a seguinte metodologia. Os equipamentos utilizados para os cálculos foram: Tombador hidráulico, correia transportadora, correia elevadora, sugador pneumático e eclusa.

A conversão foi feita através da Equação 1:

$$EDIE = 0,745 \cdot 3,6 \cdot P \cdot T \cdot F \cdot Ne \quad (1)$$

Onde:

EDIE = energia do tipo direta de fonte industrial sob a forma elétrica (MJ);

P = potência (HP);

T = tempo de utilização (h);

F = fator de equivalência de carga;

Ne = número de equipamentos.

#### **4.8.2.2 Energia do tipo direta de fonte fóssil sob a forma de combustíveis e lubrificantes**

Segundo Comitê (1993), sobre o óleo diesel, óleo lubrificante e graxa, os valores adotados em seu trabalho são aqueles publicados no Balanço Energético

Nacional (1990), e que correspondem ao seu valor intrínseco, sem computar os gastos com a extração e refino do petróleo. Adotaram-se os valores de 9,21 Mcal L<sup>-1</sup> para óleo diesel, 8,59 Mcal L<sup>-1</sup> para lubrificante e 9,33 Mcal L<sup>-1</sup> para graxas.

Para Campos (2001), na contabilização energética dos combustíveis e lubrificantes há um custo energético para seus processamentos. Para a obtenção dos produtos derivados do petróleo é consumido 1,14 vezes seu poder calorífico, por Serra (1979), Cervinka (1980), Bueno (2002), Romero (2005) e Costa (2011). Os derivados de petróleo utilizados no trabalho de Campos (2001) foram; óleo diesel, óleo lubrificante e graxa que apresentam poderes caloríficos de 38.535 kJ L<sup>-1</sup>, 38.516 kJ L<sup>-1</sup> e 43.179 kJ kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Considerando o *input* energético para o processamento, os coeficientes energéticos dos produtos anteriormente citados, na mesma ordem, serão de: 43.930 kJ L<sup>-1</sup>, 43.908 kJ L<sup>-1</sup> e 49.224 kJ kg<sup>-1</sup>.

Pimentel (1980), citado por Moreira (2005), levou em conta no seu trabalho, para combustíveis e lubrificantes, o consumo de energia para o seu processamento. O óleo diesel foi de 43,93 MJ L<sup>-1</sup>; lubrificante de 43,91 MJ L<sup>-1</sup>; graxa 49,22 MJ kg<sup>-1</sup>; e gasolina de 34,05 MJ L<sup>-1</sup>. Para o cálculo do consumo de óleo lubrificante, foi considerado 1,5% do consumo de diesel e, para a graxa, 33% do consumo de lubrificante. No caso do óleo dois- tempos, lubrificantes dos motosserras, considerou-se com a mesma energia do lubrificante comum, com um consumo de 3,3% do consumo da gasolina. Multiplicando o poder calorífico do combustível utilizado pelo consumo específico da máquina, na operação realizada, obteve-se o total de energia dos combustíveis, em MJ ha<sup>-1</sup>, dado pela Equação 2:

$$TEc = \sum(PC \cdot C) \quad (2)$$

Onde:

TEc = total de energia embutida no combustível (MJ ha<sup>-1</sup>);

PC = poder calorífico do combustível (MJ kg<sup>-1</sup>);

C = quantidade de combustível (kg ha<sup>-1</sup>).

Segundo Bovolenta e Biaggioni (2007), na conversão dos consumos totais de combustíveis e lubrificantes na obtenção dos conteúdos energéticos foi utilizado o fator de 1,14 que corresponde a 14% do gasto energético utilizado para a produção do óleo diesel, óleo lubrificante e graxa. Os coeficientes energéticos adotados, conforme Romero (2005), com adaptações foram: óleo diesel  $40,87 \text{ MJ L}^{-1}$ , para o óleo lubrificante  $37,75 \text{ MJ L}^{-1}$  e para graxa  $43,37 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

A conversão foi feita através da Equação 3:

$$EDF = 1,14 \cdot CE \cdot CT \cdot F \quad (3)$$

Onde:

EDF = energia do tipo direta de fonte fóssil (MJ);

CE = coeficiente energético ( $\text{MJ L}^{-1}$ );

CT = consumo total (L);

F = fator de equivalência de carga.

Em Bovolenta e Biaggioni (2007), os combustíveis e lubrificantes utilizados para os cálculos na rota 1 multimodal rodo-hidro-ferroviário e rota 2 unimodal rodoviária foram: Bitrem (óleo diesel 100%, óleo lubrificante com 0,9% do consumo de óleo diesel e graxa com 6,31% do consumo de óleo lubrificante. A densidade da graxa foi considerada como sendo de  $0,88 \text{ t m}^{-3}$ . Os percentuais de consumo do óleo diesel, óleo lubrificante e graxa foram calculados segundo dados fornecidos segundo informação pessoal obtida junto à empresa Risso de transporte terrestre do município de Barra Bonita (SP), (De LUCCA, 2006). Comboio hidroviário (óleo diesel 100% e óleo lubrificante com 1,8% do consumo de óleo diesel. O percentual de consumo do óleo lubrificante seguiu os mesmos padrões de consumo dos motores de bitrens, apenas multiplicado por dois, pois em empurradores, são comumente instalados dois motores, e os mesmos, são apenas adaptados às condições de navegabilidade. Também não foi considerado o consumo de graxa, visto que, segundo Takahashi (2006), o valor é desprezível. E por último, Comboio ferroviário (óleo diesel 100% e óleo lubrificante com 0,04% do consumo de óleo diesel. O

percentual de consumo do óleo lubrificante e o desprezo pelo consumo da graxa seguiu as considerações da MRS logística, (EIRAS, 2006).

#### 4.8.2.3 Energia do tipo direta de fonte biológica sob a forma de mão-de-obra

Para Campos (2001), uma consideração inicial é a seguinte questão: seria lógico buscar uma conversão do trabalho humano para unidades de energia? Vários pesquisadores consideram ser muito teórico atribuir valores de energia ao trabalho (e ao ser humano), não justificando atentar a isto nas análises.

Campos (2001) ainda destaca que, dentre os trabalhos consultados na literatura, que fornecem dados relativos ao consumo instantâneo de energia (utilização direta de energia), para serviços braçais, abrangendo dados mais generalizados, ou seja, para diferentes atividades, destaca-se o de Giampietro e Pimentel (1990). Uma vez que na produção de feno estudada no seu trabalho, somente está envolvida mão-de-obra masculina, e o índice se reduz a 90 W, ou seja, 324,00 kJ h<sup>-1</sup>.

Campos (2001) compara o valor médio apresentado no trabalho de Carvalho (1974), que em seus estudos, para o cálculo do dispêndio calórico dos vários tipos de trabalhadores, utilizou um equipamento considerado de boa precisão, o respirômetro. Portanto, optou-se, como padrão, para todas atividades envolvendo mão-de-obra, o valor de 386,40 kJ h<sup>-1</sup>.

Ainsworth et. al. (1993) classificaram em seu trabalho o custo energético de atividades físicas humanas. É um esquema de codificação que classificam as atividades de acordo com seu propósito (por exemplo: esporte, ocupacional, auto-manutenção), tipo específico de atividade e sua intensidade enquanto taxa de trabalho metabólico - *Metabolic Employment Tax* (MET). O gasto energético em quilocalorias ou quilocalorias por quilograma de peso corporal podem ser estimadas para todas as atividades, atividades específicas ou tipos de atividades. O uso generalizado deste sistema de codificação poderá aumentar a comparabilidade dos resultados de estudos que apresentam dados referentes ao custo calórico de atividades físicas. Os valores do gasto energético podem ser expressos em kcal kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; kcal min<sup>-1</sup>; kcal h<sup>-1</sup> ou kcal 24 h<sup>-1</sup>. O gasto calórico em quilocalorias é medido durante o repouso (isto é, a taxa metabólica basal =

TMB) e multiplicá-la pelos valores de METs listados na Tabela 3 em atividades ocupacionais.

**Tabela 3. Dados para o cálculo do custo energético de atividades físicas humanas.**

<b>Atividades ocupacionais</b>	<b>MET</b>
Panificação em geral:	4,0
Carpintaria em geral:	3,5
Trabalhar em mina de carvão, geral:	6,0
Reforma de construções:	5,5
Trabalho de eletricista e bombeiro:	3,5
Atividade rural: dirigir trator:	2,5
Atividade rural: alimentar pequenos animais:	4,0
Atividade rural: alimentar gado:	4,5
Atividade rural: tirar leite de vaca manualmente:	3,0
Atividade rural: tirar leite de vaca mecanicamente:	1,5
Bombeiro em geral (apagar incêndio):	8,0
Lenhador: cortar madeira c/machado, rapidamente:	17,0
Lenhador: cortar madeira c/machado, lentamente:	5,0
Lenhador: trabalho geral:	8,0
Plantar com as mãos (florestas):	6,0
Andar a cavalo: galopando:	8,0
Andar a cavalo: trotando:	6,5
Andar a cavalo: passeando:	2,6
Operar equipamento pesado/automático:	2,5
Atividade policial: dirigir trânsito, de pé :	2,5
Atividade policial: dirigir uma viatura:	2,0
Atividade policial: fazer uma prisão:	8,0
Reparar calçados de forma geral:	2,5
Trabalho de escritório em geral (assentado):	1,5
Participar de reuniões em geral, conversando:	1,5
Trabalhos leves, na posição de pé:	2,5
Trabalhos leve/moderado na posição de pé:	3,0
Trabalhos pesados, na posição de pé:	4,0
Dirigir caminhão, carregando/descarregando:	6,5
Digitar máquina elétrica/manual ou em computador:	1,5
Operar máquinas:	2,6
Controlador de qualidade:	3,3
Trabalhar em forno de tratamento térmico:	3,4
Operar prensas leves de forjamento:	3,7
Servente de pedreiro:	5,0
Pedreiros:	5,2

Fonte: Ainsworth et. al. (1993).

De acordo com os dados, o cálculo é feito multiplica-se o peso corporal em Kg, pelo valor do MET e pela duração da atividade em horas, torna-se possível estimar o gasto energético (em kcal), que é específico ao peso corporal individual.

Segundo Romero (2005), no que diz respeito ao cálculo de energia investida pelos agricultores nas diferentes operações do itinerário técnico, seguiu-se a metodologia proposta por Carvalho et al. (1974), descritas em Bueno (2002) com adaptações necessárias. Assim sendo, discriminou-se a mão-de-obra envolvida através de anotações individuais, em questionários específicos e informações orais, que detalham dados acerca do gênero, massa, altura e idade de cada um dos agricultores e/ou trabalhadores, relacionado-os a cada operação realizada. Seguindo a metodologia do Carvalho et al. (1974), procedeu-se a determinação do GER (Gasto Energético no Repouso) de cada agricultor, através das Equações 4 e 5 descritas em Mahan e Escott-stum (1998). As equações determinam o gasto energético no repouso em kcal, e o dispêndio calórico final diário é apresentado em MJ.

- Para o gênero masculino

$$GER = 66,5 + 13,75P + 5,0A - 6,78I \quad (4)$$

- Para o gênero feminino

$$GER = 665 + 9,56P + 1,85A - 4,68I \quad (5)$$

Onde:

P = massa (kg);

A = altura (cm);

I = idade (anos completos).

A necessidade calórica final diária é a somatória da divisão em três períodos, segundo o modo de ocupação em número de horas para: tempo de sono, tempo de trabalho e tempo de ocupações não profissionais, entendida, segundo Bramsel citado em Carvalho et al. (1974), por refeições, higiene, deslocamentos, distrações, etc. Assim sendo, calculou-se a fração X/6 do GER, mantendo-se inalteradas as frações correspondentes ao tempo de sono (2/6 do GER 24h) e ocupações não profissionais (3/6 do GER 24h). O período de 24 horas, então, é primeiramente dividido igualmente em três.



Segundo Mahan e Escott-Stump (1998), o consumo calórico e os gastos energéticos variam, não apenas dentro do próprio grupo de trabalhadores de uma mesma atividade, mas também em função de culturas e localidades diferentes. Na região de dois portos, em Portugal, o Instituto de Fisiologia do trabalho, classificou e levou a composição de uma tipologia das atividades profissionais, tendo por fundamento o metabolismo basal (MB). Procedimentos de cálculo de necessidades calóricas para cada tipo de trabalhador ou profissão estudados são apresentados a seguir:

• Condução de trator	3/6 do MB 24h
• Pulverização manual, equipamento motorizado	5/6 do MB 24h
• Envarar parreira	6/6 do MB 24h
• Pulverização manual, equip.dorsal, poda	7/6 do MB 24h
• Tutoramento, aplicação de herbicida	8/6 do MB 24h
• Colheita e capinação de batata	9/6 do MB 24h
• Coveamento	14/6 do MB 24h

Segundo Comitre (1993), sobre a energia da mão de obra, em seu trabalho, foi adotado o valor de 292,50 kcal h<sup>-1</sup> ou 2,34 Mcal dia<sup>-1</sup>, como sendo aquele consumido pelo trabalhador de área rural não metropolitana do estado de São Paulo. A escolha desse coeficiente, que representa mais de perto as condições alimentares do trabalhador rural paulista, prende-se às dificuldades de se obter dados de atividades físicas específicas e as correspondentes necessidades energéticas.

Segundo Moreira (2005), a energia específica consumida pelo trabalhador rural e por tratoristas foi de 0,39 MJ h<sup>-1</sup> citado por Carvalho et al. (1974). Assim, multiplicando-se a energia específica pelo tempo de trabalho, obteve-se o consumo total de energia, sendo definida pela Equação 6:

$$TE_{mo} = \sum (EE \cdot T) \quad (6)$$

Onde:

- TE<sub>mo</sub> = consumo total de energia para mão-de-obra (MJ ha<sup>-1</sup>);  
 EE = energia específica (MJ h<sup>-1</sup>);  
 T = tempo despedido no trabalho (h ha<sup>-1</sup>).

Segundo Sharkey (2013), quando se fala de gasto calórico em aulas ou em qualquer outro tipo de atividade, deve-se levar em conta alguns fatores como: idade, peso corporal, estatura e nível de condicionamento. Para atividades predominantemente aeróbias há um gasto calórico aproximado de 5,0 kcal para cada litro de oxigênio consumido. É importante ressaltar que essas tabelas de gasto calórico para diferentes modalidades foram elaboradas com base em um indivíduo de referência.

Ainda de acordo com Sharkey, a pessoa sempre gasta alguma energia, mesmo quando está dormindo. Se ficar na cama por 24 horas sem fazer nada, gasta em torno de 1.600 kcal (para uma pessoa de 70 kg). O gasto calórico pode ir de 1,2 kcal min<sup>-1</sup> em repouso para mais de 20 kcal min<sup>-1</sup> durante o esforço vigoroso. "A atividade física tem o maior efeito nas necessidades de energia", diz o médico, explicando que a caminhada queima aproximadamente 5 kcal min<sup>-1</sup> e a corrida 15 kcal min<sup>-1</sup>.

Em Bovolenta e Biaggioni (2007) a metodologia adotada para os cálculos do dispêndio energético relativo à mão de obra seguiu Carvalho (1974), citado por Campos (2001), com adaptações necessárias, que utilizou um equipamento considerado de boa precisão, o respirômetro, em seus trabalhos. Sendo assim, optou-se por utilizar o valor de 386,40 kJ h<sup>-1</sup> ou 0,3864 MJ h<sup>-1</sup>, como padrão para todas atividades envolvendo mão-de-obra.

A conversão foi feita através da Equação 7:

$$EDBMO = 0,3864 \cdot N \cdot T \cdot F \quad (7)$$

Onde:

EDBMO = energia do tipo direta de fonte biológica sob a forma de mão de obra (MJ);

N = número de trabalhadores;

T = tempo de trabalho (h);

F = fator de equivalência de carga;

#### 4.8.2.4 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de máquinas e equipamentos

Para Moreira (2005), no passado, a principal fonte de energia era o trabalho humano. O trabalho dos animais complementou essa fonte de energia, permitindo o desenvolvimento de uma agricultura mais eficiente. As quantidades de energia envolvidas nesse período, bastante limitadas, só aumentaram com o desenvolvimento das cidades, da manufatura, do comércio e do transporte de novos produtos. Ainda assim, o consumo de energia per capita foi muito pequeno até o século XIX, quando a revolução industrial permitiu a utilização de máquinas e equipamentos em grande escala na produção e no transporte.

Jasper (2010), em máquinas e equipamentos utilizou-se da metodologia desenvolvida por Doering III et al. (1977), empregada por diversos autores: Serra et al. (1979), Castanho Filho e Chabaribery (1983), Ulbanere (1988), Beber (1989), Comitre (1993), Campos (2000), Campos (2001), Campos et al. (2004), Moreira (2005), Romero (2005), entre outros, baseada na depreciação energética que, a partir da massa das máquinas, consiste em depreciá-las durante sua vida útil.

Para Moreira (2005), o cálculo de energia indireta embutida nas máquinas e implementos foi baseado na massa dos equipamentos e fundamentados no conceito de valor adicionado. Sendo o cálculo realizado pela depreciação energética, segundo os dias de utilização e em função da vida útil dos equipamentos. Na determinação do consumo energético dos equipamentos foram adotados os seguintes coeficientes, conforme Macedônio e Picchioni (1985), 69,83 MJ ha<sup>-1</sup> para os tratores e motosserras e, 57,20 MJ ha<sup>-1</sup> para implementos. Equação 8:

$$TEma = [(CE \cdot P) \cdot VU^{-1}] \cdot C \quad (8)$$

Onde:

TEma = total de energia indireta da máquina ou implementos (MJ ha<sup>-1</sup>);

CE = coeficiente energético (MJ kg<sup>-1</sup>);

P = peso da máquina (kg);  
 C = horas trabalhadas (h ha<sup>-1</sup>);  
 VU = vida útil (h).

Segundo Romero (2005), a equação determinante e os coeficientes calóricos para o cálculo da depreciação energética das máquinas e implementos foram os mesmos adotados pelos autores Comitre (1993) e Bueno (2002). Porém, concordando com Mello (1986) que considerou óleos lubrificantes e graxas como itens relativos à manutenção. Sempre que possível substitui-se o percentual de 5% para reparos das máquinas e equipamentos e 12% para manutenção das mesmas, retirados em campo. Não sendo possível essa obtenção, utilizou-se dados disponíveis na literatura. Dessa forma, a Equação 9 da depreciação energética utilizada foi:

$$\text{Depreciação.energética} = a + b + c + d \bullet VU^{-1} \quad (9)$$

Onde:

a = massa das máquinas e implementos . coeficientes energéticos correspondentes;  
 b = 5% de "a";  
 c = número de pneus . peso . coeficiente energético de referência;  
 d = 12% de (a + b + c);  
 VU = vida útil (h).

Segundo Bovolenta e Biaggioni (2007) a metodologia adotada para os cálculos da depreciação energética relativa às máquinas e equipamentos seguiu Romeiro (2005) com adaptações necessárias. Os cálculos de energia indireta embutida foram baseados na massa multiplicada pelos seus respectivos coeficientes energéticos. Isto é multiplicado pelas horas de utilização e em função da vida útil. Para determinação do consumo energético das máquinas e equipamentos foram adotadas as Equações 10, 11 e 12:

$$EIIME = [(a + b + c + d) \cdot VU^{-1}] \cdot T \cdot F \cdot Ne \quad (10)$$

$$a = mme \cdot CE \quad (11)$$

b = 5% de "a";

$$c = np \cdot mp \cdot CE \quad (12)$$

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

Onde:

EIIME = energia indireta industrial de máquinas e equipamentos (MJ);

mme = massa das máquinas e equipamentos (kg);

CE = coeficiente energético de referência (MJ kg<sup>-1</sup>), Tabela 4;

np = número de pneus;

mp = massa do pneu (kg);

VU = vida útil (h).

T = tempo de trabalho (h);

F = fator de equivalência de carga;

Ne = número de equipamentos.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes energéticos utilizados nas Equações 11 e 12.

**Tabela 4.** Coeficientes energéticos (MJ kg<sup>-1</sup>) correspondentes a cada tipo de material utilizado nas depreciações energéticas de máquinas ou equipamentos.

Máquinas e equipamentos	Material	coeficiente energético
Bitrem - cavalo mecânico	aço	62,79
Bitrem – semi reboques	aço	62,79
Bitrem – semi reboque	madeira	10,47
Comboio fluvial	aço	62,79
Comboio ferroviário	aço	62,79
Tombador hidráulico	aço	62,79
Sugador pneumático	borracha	85,81
Correia transportadora	aço	62,79
Correia transportadora	borracha	85,81

Continua...

**Tabela 4.** Coeficientes energéticos ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ) correspondentes a cada tipo de material utilizado nas depreciações energéticas de máquinas ou equipamentos.

Máquinas e equipamentos	Material	coeficiente energético
Correia elevadora	aço	62,79
Moega	aço	62,79
Portão de eclusa	aço	62,79
Pneu	borracha	85,81

Fonte: O autor.

#### **4.8.2.5 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de depreciação de rodovias, hidrovias, ferrovias e dutovias:**

Segundo a ECOEDP (2013), “intensidade energética” é um indicador de eficiência energética que traduz a incidência do consumo de energia final sobre o PIB (Produto Interno Bruto). Quanto menor for a intensidade energética, maior é a eficiência energética de uma economia / produto.

Segundo o CBCME (2013) - Comitê Brasileiro do Conselho Mundial da Energia - a intensidade energética é amplamente utilizada para monitorar o grau de eficiência da utilização da energia e fornece sinais aos responsáveis pelas tomadas de decisão sobre as tendências da eficiência energética. Entretanto, a intensidade energética é influenciada por muitos fatores dos quais a eficiência energética é apenas um componente. Mudanças na estrutura da economia de um país ou na sua matriz energética podem causar um forte impacto nos indicadores da intensidade energética.

Segundo GUIALOG (2013), o investimento para se construir uma hidrovia é de, aproximadamente,  $34.000 \text{ US\$ km}^{-1}$ . O investimento para se construir uma ferrovia é de, aproximadamente,  $1.400.000 \text{ US\$ km}^{-1}$ . Já o investimento para se construir uma rodovia é de, aproximadamente,  $440.000 \text{ US\$ km}^{-1}$ .

Já Garcia (2008), relata em seu estudo que o fator multiplicador de custo de implantação para hidro, ferro e rodo são, respectivamente, 1:41:13.

Segundo Bigaran e Tizato (2009), uma das informações interessantes em seu trabalho seguiu os dados do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). Para construir um quilômetro de rodovia são investidos cerca de US\$ 1 milhão, em ferrovia US\$ 800 mil, e nas hidrovias o estimado é de US\$ 200 mil.

Segundo Bovolenta e Biaggioni (2007), a metodologia adotada para os cálculos de depreciação de vias foi a depreciação monetária considerando o valor residual igual a zero. O valor monetário foi convertido em energia pela "intensidade energética", isto é, a energia consumida no Brasil em 2004 dividida pelo produto interno bruto em 2004. Assim, a depreciação dos trechos, foi contemplada da seguinte maneira:

A conversão foi feita através das Equações 13 e 14:

$$EIIM = IE \cdot F \cdot \{[(CIT \cdot D) \cdot VU^{-1}] \cdot Vh^{-1}\} \quad (13)$$

$$IE = ECB \cdot PIB^{-1} \quad (14)$$

Onde:

EIIM = energia indireta industrial de Manutenção (MJ);

IE = intensidade Energética (MJ R\$<sup>-1</sup>);

F = fator de equivalência de carga (veículos);

ECB = energia consumida no Brasil em 2004 (MJ);

PIB = produto interno bruto do Brasil em 2004 (R\$);

CIT = custo de implantação do trecho (R\$ km<sup>-1</sup>);

D = distância do trecho (km);

VU = vida útil (h);

Vh = veículos por hora;

Os resultados obtidos foram: Rota 1, multimodal hidro-ferroviária (hidro - 9.822,02 MJ) e (ferro - 136.946,09 MJ). Rota 2, unimodal rodoviária (5.649,49 MJ)

#### 4.8.2.6 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de manutenção de rodovias, hidrovias, ferrovias e dutovias:

##### a. Rodovias

Segundo Figueiredo Junior (2013), o custo médio de manutenção de uma rodovia é “alto”, de uma ferrovia é “alto” e de uma hidrovia é “baixo”.

Segundo estimativas do ITA (2013), existem outros itens de projeto não relacionados diretamente a pavimentação, tais como: terraplenagem, drenagem, sinalização e obras complementares. Para as obras de construção, a pavimentação representa uma média de 45,95% do custo total da obra, e o restante de 54,05% é formado pelos demais itens do projeto que seguem a seguinte proporção; Terraplenagem 23,00%, Drenagem 12,47%, Sinalização 1,56%, Obras Complementares 3,36%, Componente Ambiental 3,51%, Obras de Artes Especiais 6,76% e Outros 3,40%.

Segundo Curi (2009), para se estimar o custo de manutenção da rodovia em seu trabalho, considerou-se que apenas conservações rotineiras, como limpeza do sistema de drenagem e capina, seriam realizadas. Os custos anuais de manutenção da rodovia considerados foram aqueles correspondentes à média do custo anual de uma conservação rotineira. Esse valor é de R\$ 34.000,00 por km de rodovia.

Segundo GEIPOT (2013), a Tabela 5 mostra um exemplo de custos unitários médios das operações de manutenção e reabilitação de uma malha rodoviária federal.

**Tabela 5.** Custos unitários médios das operações de manutenção e reabilitação de uma malha rodoviária federal.

<b>Operação</b>	<b>Custo</b>
Construção (pista simples)	400.000,00 R\$ km <sup>-1</sup>
Restauração	150.000,00 R\$ km <sup>-1</sup>
Reconstrução	300.000,00 R\$ km <sup>-1</sup>
Duplicação (região plana)	800.000,00 R\$ km <sup>-1</sup>
Duplicação (região montanhosa)	1.500.000,00 R\$ km <sup>-1</sup>
Tapa Buracos	10,00 US\$ m <sup>-2</sup>
Conservação Rotineira (pista simples)	2.500,00 US\$ km <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Conservação Rotineira (pista dupla)	4.500,00 US\$ km <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>

Fonte: GEIPOT, ano 2013.



## b. Ferrovias

Segundo Weingartner (2013), o custo médio de manutenção de uma ferrovia da ALL – América Latina Logística varia entre R\$ 30 mil e R\$ 50 mil por quilômetro por ano.

Segundo Curi (2013), a Tabela 6 mostra um exemplo de custos de manutenção e reabilitação de uma malha ferroviária.

**Tabela 6.** Custos de manutenção de uma malha ferroviária.

<b>Descrição</b>	<b>Custo R\$ km<sup>-1</sup></b>
Dormentes	811,84
Pedras	252,20
Metálicos	179,14
Amv	299,88
Infra-estrutura	1.448,80
Mecanização	1.304,67
Trilhos	660,39
Capina química	524,04
Turma fixa	2.423,58
Turma produção	1.158,74
<b>Total</b>	<b>5.480,96</b>

Fonte: (CURI, 2013).

A Tabela 6 acima, mostra os custos dos principais materiais da via permanente: os dormentes, as pedras, os materiais metálicos de fixação (grampos Pandrol, parafusos, placas de apoio, entre outros), os trilhos e os aparelhos de mudanças de via (Amv), cuja função é desviar os veículos com segurança e velocidade comercialmente compatível. Convém ressaltar que nos custos dos trilhos está embutido o custo de operação do aparelho de ultra-som, necessário para a detecção de defeitos em trilhos. Os custos com materiais equivalem a 40 % do custo de manutenção da ferrovia. Já o custo de manutenção da infraestrutura, que inclui a manutenção de pontes, túneis, passagens de níveis, aterros, sistemas de drenagem representa 26 % do custo de manutenção. A mão-de-obra necessária à manutenção da ferrovia foi dividida em turmas fixas e turmas de produção. Os funcionários da turma fixa são aqueles pertencentes à empresa e os funcionários da turma de produção são funcionários temporários, contratados para serviços específicos. O custo da mão-de-obra, somando-se as turmas fixas e de produção representa 65 % do custo total de manutenção.

### c. Hidrovias

Segundo Brasil (2006), as atividades de manutenção estão deficientes nas hidrovias brasileiras. Em muitos casos, o balizamento era inexistente ou mal localizado, havia trechos não sinalizados, com placas danificadas ou também mal localizadas, a sinalização foi considerada não confiável e foi relatada a ocorrência de trechos sem condições de navegação por falta de desassoreamento e dragagem. No entanto, conforme o cadastro de programas e ações de governo do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, a ação da Administração de Hidrovias do Programa de Manutenção de Hidrovias tem como finalidade garantir a satisfação da sociedade, mantendo as hidrovias e as eclusas operativas, capazes de oferecer segurança e confiabilidade a sua navegação.

Para Brasil (2006), as hidrovias possuem características que demandam distintas necessidades de intervenção e de atividades de manutenção, como diferentes profundidades de calado; variações significativas dos níveis de água entre os períodos de cheia e estiagem; existência de paliteiros, grandes troncos de madeira que se soltam das matas ciliares nas cheias e que podem provocar acidentes; presença de pedrais e bancos de areia, entre outros. Para a realização das atividades de manutenção, as administrações hidroviárias devem realizar a identificação dos pontos críticos da hidrovia, para que sejam sinalizados por meio de placas ou boias, bem como dragados antes dos períodos de seca, a fim de não haver o impedimento ou subutilização da via navegável.

Segundo a AHINOR (2013), o custo unitário médio das operações de manutenção de uma malha hidroviária é de 450,00 R\$ km<sup>-1</sup>.

### d. Dutovias

Com a finalidade de efetuar a limpeza e monitoração da integridade dos trechos dos dutos, devem ser instalados lançadores e recebedores de *pigs* (aparelhos/sensores utilizados na limpeza e detecção de imperfeições ou amassamentos na tubulação) no início e no final de cada trecho do duto. Esses dispositivos devem proporcionar o lançamento de *pigs* instrumentados, os quais permitirão a monitoração do estado físico da tubulação.

Segundo EBAH (2013), os dutos aparentes são visíveis no solo. O que normalmente acontece nas chegadas e saídas das estações de bombeio, nas estações de carregamento e descarregamento e nas estações de lançamento/recebimento de *pigs*. Dependendo do terreno, se muito acidentado ou rochoso, a instalação de dutos subterrâneos torna-se difícil e até mesmo inviável economicamente. Sendo assim, a linha é fixada em estruturas que servirão de sustentação e amarração para a tubulação.

#### **4.8.2.7 Equivalentes energéticos**

Para Comitre (1993), a necessidade básica do método é traduzir em unidades energéticas ou equivalentes energéticos os recursos produtivos e consumos intermediários que tornem viáveis a construção de indicadores, comparáveis entre si, e que, a partir de um quadro teórico, permitam intervir no sistema, visando melhorar a sua eficiência. A conversão dessas entradas e saídas em um equivalente energético, seja em joule ou caloria, permite o cálculo de eficiência energética do sistema de produção.

Segundo Marquesin Junior (2011), o conceito de eficiência energética ou utilização racional de energia de conhecimento público e diz respeito à utilização de menos energia nos processos obtendo-se o mesmo resultado final, em outras palavras consome-se menos energia para se fornecer o mesmo valor energético.

Segundo Baêta et al (2012), é notório que as fontes de energia estão cada vez mais escassas, e que a demanda por energia vem crescendo, sendo assim, surgiu a necessidade de obter maior aproveitamento da energia já produzida. O tema eficiência energética vem sendo alvo de discussões desde 1997 com o início do protocolo de Quioto<sup>1</sup>, visando os benefícios que a conservação de energia pode trazer para a sociedade e se agravou ainda mais com o racionamento em 2001 onde ficou evidente a crise do setor energético. A importância da conservação de energia vem ganhando espaço no mercado mundial, com o objetivo de conscientizar a população da importância de manter a busca por fontes sempre conservadas, gerando assim uma economia no consumo e no aproveitamento da mesma.

Segundo Sola (2006), o conceito de eficiência energética está ligado à minimização de perdas na conversão de energia primária em energia útil. As perdas ocorrem para qualquer tipo de energia, seja térmica, mecânica ou elétrica.

Comitre (1993) enfatiza que a análise energética colocada em termos de balanço tem sido objeto de estudo de pesquisadores no desenvolvimento de metodologias destinadas a contabilizar as energias produzidas (*outputs*) e as consumidas (*inputs*) em um determinado sistema de produção. Os fluxos energéticos inerentes a qualquer sistema expressam unidades calóricas por unidade de tempo, de massa, ou de área, traduzindo em análise de eficácia produtiva dos inputs calóricos daquele sistema. Esses são elementos fundamentais no cálculo da eficiência energética, representada por um índice que indica quantas unidades de energia são produzidas para cada unidade investida no processo produtivo.

No estudo de Romero (2008), observou-se que a análise energética pode fornecer indicadores de eficiência levando em conta a sustentabilidade na medida em que permite desagregar fontes de energia renováveis e não-renováveis, que entram como insumos no processo produtivo e a análise econômica procura determinar a eficiência da cultura, levando em conta as condições conjunturais de mercado. Assim, a análise energética combinada com a avaliação econômica, fornece parâmetros que permitem subsidiar a tomada de decisões no direcionamento de medidas tecnológicas para a agricultura

Para Argonese (2006), o balanço de energia nos sistemas agrícolas vem sendo estudado por diversos pesquisadores e se baseia no princípio físico de conservação de energia, também conhecido como primeiro princípio da termodinâmica, ou seja, a variação de energia em um processo pode ser explicada pelo balanço de energia, isto é, entradas, saídas e variação da energia interna.

Silva et al (2010) relataram no seu trabalho que na análise energética um dos indicadores para a equação da eficiência energética foram: saídas energéticas como o somatório de energia bruta dos produtos, e as entradas energéticas, como o total de energia biológica, fóssil e industrial.

Silva e Bueno (2011) observaram que o balanço energético traduz em unidades ou equivalentes energéticos os fatores de produção, apresentando indicadores comparáveis entre si, que potencialmente pode permitir a intervenção no sistema produtivo visando melhorar a eficiência deste.

Segundo Jasper et al (2010), o balanço energético visa a estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada, além da quantidade necessária para

produzir ou processar um quilograma de determinado produto. Nesse processo, quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. A determinação da eficiência energética é importante instrumento no monitoramento da sustentabilidade da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1 Delimitação da área de estudo**

Tendo em vista a ausência de pesquisas voltadas para análise energética na fase de escoamento do etanol, especificamente através de rotas de exportação, a obtenção dos dados pesquisados, em sua maioria, baseou-se na coleta junto às empresas, instituições e pessoas envolvidas no transporte considerando os diferentes modais (hidro, rodo, ferro e dutoviário) de Aparecida do Taboado (MS) até São Sebastião (SP), passando por Paulínia (SP). Foram coletadas informações sobre logística, multimodalidade de transporte e coeficientes energéticos.

O estudo iniciou-se pela roteirização multimodal, isto é, foram selecionados os principais caminhos para se atingir o destino desejado, combinando-os com os modais propostos neste estudo. Vale destacar, neste momento, que nem todas as 12 rotas assim estabelecidas estão em operação, pois em alguns trechos encontram-se em construção ou em fase de projeto, conforme apresentado mais à frente, na descrição de cada rota. Depois foi feito o estudo da mão-de-obra envolvida na movimentação do etanol. Logo após, foi realizado a delimitação dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol e finalizado na realização da conversão dos fatores físicos em energéticos.

Considerações ainda devem ser feitas sobre os veículos ou meios de transporte estudados. Os comboios hidroviários estão em construção no Estaleiro Rio Tietê

localizado no município de Araçatuba (SP). Os dutos, bitrens e locomotivas já existem no mercado de transportes.

Para todas as rotas e modais estudados, adotou-se um “fator de equivalência de carga”, deixando cada modalidade de transporte em condições semelhantes de carga transportada.

O fator de equivalência de carga (F) é um número utilizado para realizar a equiparação entre as cargas transportadas em cada trecho de uma determinada rota, uma vez que, em cada trecho temos um modal diferente que apresenta um volume diferente de etanol transportado. Assim, o fator de equivalência igual a 1 (carga de referência) prevaleceu sempre no trecho onde o modal transportou o maior volume de etanol.

Ao analisar o transporte para exportação de etanol, adotou-se como ponto de origem, para as 12 rotas multimodais (Figuras 1 e 2), o município de Aparecida do Taboado (MS). A escolha deste foi para possibilitar a análise de multimodalidade em um local que seria uma grande base coletora de etanol da região centro-oeste do país com capacidade de armazenagem de 20 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 2,4 milhões de m<sup>3</sup> de etanol. Como ponto intermediário de transbordo, adotou-se o município de Paulínia (SP), para todas as rotas, por ser uma das principais bases distribuidora de etanol do estado de São Paulo com capacidade de armazenagem de 224 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 8,9 milhões de m<sup>3</sup> de etanol. Para três rotas, o município de Anhembi (SP) também ficou como ponto intermediário que teria uma capacidade de armazenagem de 160 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 9,3 milhões de m<sup>3</sup> de biocombustíveis (etanol e biodiesel). Como ponto de destino para a exportação do etanol, adotou-se o município de São Sebastião (SP), litoral norte paulista, por ter um porto marítimo já estruturado para a logística de etanol. A capacidade de armazenagem do porto de São Sebastião é de 260 mil m<sup>3</sup> de etanol e capacidade de fluxo anual de 12,9 milhões de m<sup>3</sup> de etanol. A Tabela 7 resume os dados acima.

**Tabela 7.** Capacidade de armazenagem e fluxo operacional anual de etanol

<b>Municípios</b>	<b>Valores aproximados</b>
Aparecida do Taboado (MS)	20 mil m <sup>3</sup> 2,4 milhões de m <sup>3</sup>
Anhembi (SP)	160 mil m <sup>3</sup> 9,3 milhões de m <sup>3</sup>

Continua...

**Tabela 7.** Capacidade de armazenagem e fluxo operacional anual de etanol

<b>Municípios</b>	<b>Valores aproximados</b>
Paulínia (SP)	224 mil m <sup>3</sup> 8,9 milhões de m <sup>3</sup>
São Sebastião (SP)	260 mil m <sup>3</sup> 12,9 milhões de m <sup>3</sup>

Fonte: O autor.

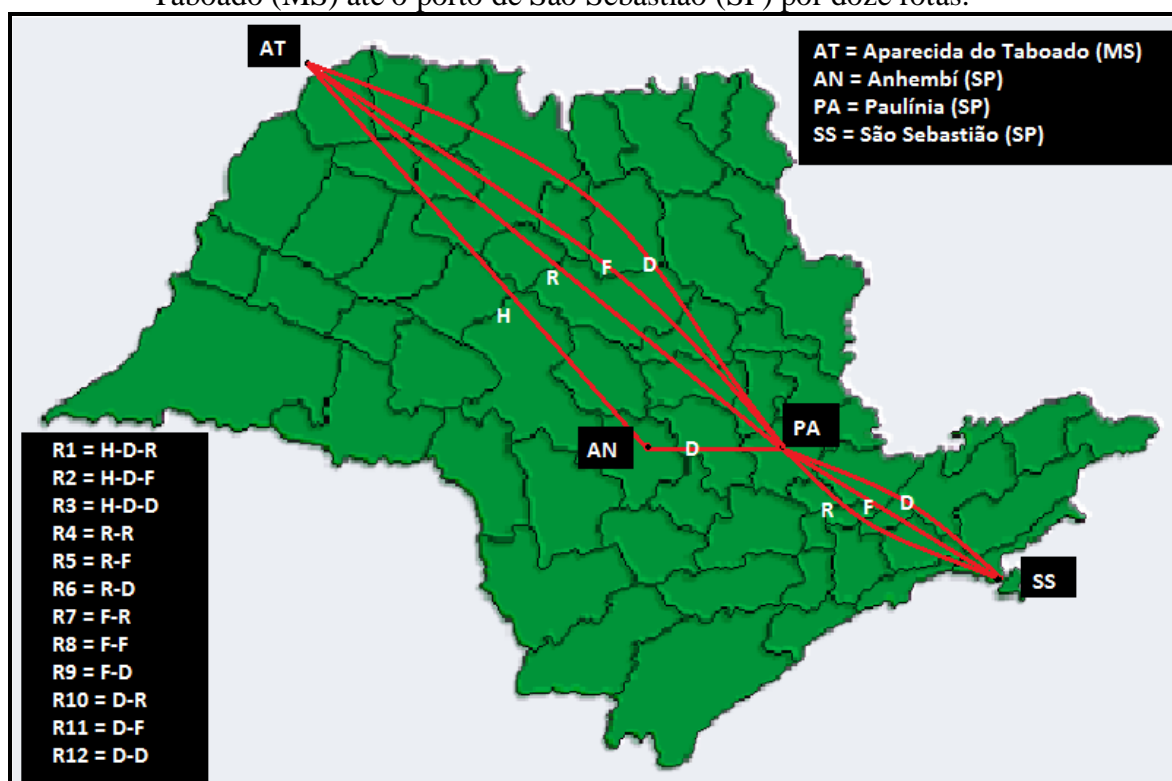
**Figura 1** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião (SP) por doze rotas.

<p><b>1ª Rota (R1): hidro-duto-rodoviária (H-D-R)</b> Aparecida do Taboado (hidrovia 584 km)→ Anhembí (dutovia 132 km)→Paulínia (rodovia 272 km)→São Sebastião = 988 km</p>
<p><b>2ª Rota (R2): hidro-duto-ferroviária (H-D-F)</b> Aparecida do Taboado (hidrovia 584 km)→ Anhembí (dutovia 132 km)→Paulínia (ferrovia 315 km)→São Sebastião = 1031 km (obs: maior rota)</p>
<p><b>3ª Rota (R3): hidro-duto-dutoviária (H-D-D)</b> Aparecida do Taboado (hidrovia 584 km)→ Anhembí (dutovia 132 km)→Paulínia (dutovia 240 km)→São Sebastião = 956 km</p>
<p><b>4ª Rota (R4): rodo-rodoviária (R-R)</b> Aparecida do Taboado (rodovia 559 km)→ Paulínia (rodovia 272 km)→São Sebastião = 831 km</p>
<p><b>5ª Rota (R5): rodo-ferroviária (R-F)</b> Aparecida do Taboado (rodovia 559 km)→ Paulínia (ferrovia 315 km)→São Sebastião = 874 km</p>
<p><b>6ª Rota (R6): rodo-dutoviária (R-D)</b> Aparecida do Taboado (rodovia 559 km)→ Paulínia (dutovia 240 km)→São Sebastião = 799 km (obs: menor rota)</p>
<p><b>7ª Rota (R7): ferro-rodoviária (F-R)</b> Aparecida do Taboado (ferrovia 648 km)→ Paulínia (rodovia 272 km)→São Sebastião = 920 km</p>
<p><b>8ª Rota (R8): ferro-ferroviária (F-F)</b> Aparecida do Taboado (ferrovia 648 km)→ Paulínia (ferrovia 315 km)→São Sebastião = 963 km</p>
<p><b>9ª Rota (R9): ferro-dutoviária (F-D)</b> Aparecida do Taboado (ferrovia 648 km)→ Paulínia (dutovia 240 km)→São Sebastião = 888 km</p>
<p><b>10ª Rota (R10): duto-rodoviária (D-R)</b> Aparecida do Taboado (dutovia 597 km)→ Paulínia (rodovia 272 km)→São Sebastião = 869 km</p>
<p><b>11ª Rota (R11): duto-ferroviária (D-F)</b> Aparecida do Taboado (dutovia 597 km)→ Paulínia (ferrovia 315 km)→São Sebastião = 912 km</p>
<p><b>12ª Rota (R12): duto-dutoviária (D-D)</b> Aparecida do Taboado (dutovia 597 km)→ Paulínia (dutovia 240 km)→São Sebastião = 837 km</p>

Fonte: O autor.



**Figura 2** - Mapa ilustrativo do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS) até o porto de São Sebastião (SP) por doze rotas.



Fonte: O autor.

## 5.2 Roteirização multimodal

### 5.2.1 H-D-R (R1)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com três trechos (Figura 3), composto pelo hidro, duto e rodoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 988 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP).

O que deve ser considerado atualmente para esta rota é o seguinte: o trecho hidroviário encontra-se operante, o trecho dutoviário encontra-se em construção e o trecho rodoviário também encontra-se operante.

No primeiro trecho, resumido na tabela 8, embarcariam pela hidrovía Tietê-Paraná 7600 m<sup>3</sup> (6004 t) de etanol em comboios fluviais até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Anhembi (SP) totalizando 584 km de distância em, aproximadamente, 80 horas. No segundo trecho, resumido na Tabela 9, o transporte seria

feito em alcoodutos e o etanol seguiria a  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $553 \text{ t h}^{-1}$ ) até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP), percorrendo 132 km em, aproximadamente, 22 horas. No terceiro e último trecho, resumido na Tabela 10, o etanol seguiria pelo modal rodoviário em bitrens com capacidade de  $45 \text{ m}^3$  ( $35,55 \text{ t}$ ) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP), num total parcial de 272 km em, aproximadamente, 4 horas.

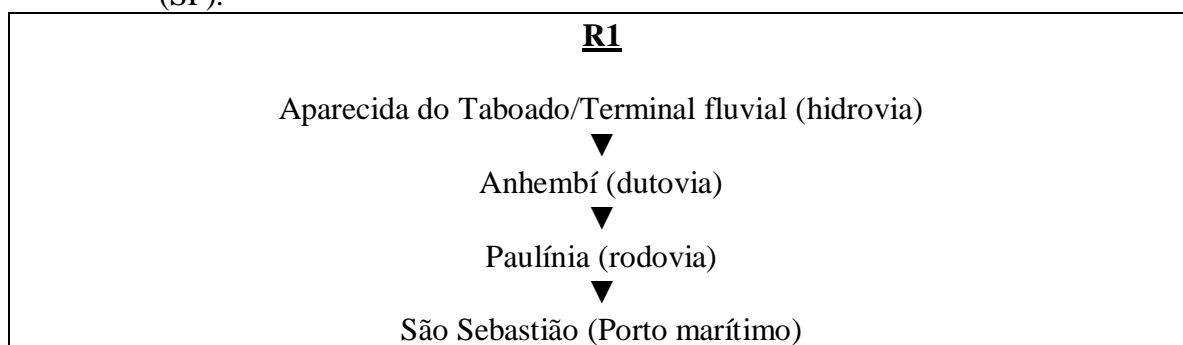
No primeiro trecho do percurso, pelo modal hidroviário, o comboio fluvial também passaria pelo canal de Pereira Barreto (SP) e seguiria pelas barragens de Nova Avanhandava (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com manobras de desmembramento do comboio de chatas em duas unidades por operação de eclusagem. Promissão (SP) com, aproximadamente, quatro horas de transposição com desmembramento também. Ibitinga (SP) com, aproximadamente, quatro horas de transposição com desmembramento. Bariri (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com desmembramento e Barra Bonita (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com desmembramento, finalizando a rota hidroviária no terminal multimodal de Anhembí (SP).

No decorrer da viagem pela hidrovía Tietê-Paraná, o comboio ainda passaria por seis pontes com possíveis manobras de desmembramento do comboio, também, em duas chatas cada passagem. São elas: Ponte do álcool na rodovia SP-591 onde levariam, aproximadamente, duas horas para completar a operação. Ponte FEPASA em Pederneiras em, aproximadamente, duas horas. Ponte Ferrão na rodovia SP-333 em, aproximadamente, duas horas. Ponte Barbosa em, aproximadamente, três horas. Ponte SP-191 em, aproximadamente, duas horas e Ponte na cidade de Barra Bonita em, aproximadamente, duas horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “2,03” para o transporte hidroviário, “1,00” (carga de referência) para o dutoviário e “342,22” para o rodoviário, isto é, nesta 1ª rota estudada multimodal hidro-duto-rodoviária, no 2º trecho dutoviário, o volume transportado de etanol é o maior e corresponde a  $15.400 \text{ m}^3$ . Como no 1º trecho hidroviário um comboio hidroviário transporta  $7.600 \text{ m}^3$ , o maior ( $15.400 \text{ m}^3$ ) dividido pelo menor ( $7.600 \text{ m}^3$ ) resulta num fator de equivalência de carga de “2,03”. No 3º trecho rodoviário, o volume transportado de etanol por um caminhão bitrem é de  $45 \text{ m}^3$ . O maior ( $15.400 \text{ m}^3$ ) que continua sendo o trecho dutoviário, dividido pelo menor ( $45 \text{ m}^3$ ) resulta

num fator de equivalência de carga de “342,22”. Isto foi repetido em todas as rotas restantes.

**Figura 3** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Anhembi (SP), Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

**Tabela 8** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Aparecida do Taboado (MS) à Anhembi (SP)

Transporte Hidroviário	Dados
Volume de etanol transportado	7.600 m <sup>3</sup>
Massa de etanol transportado	6.000 t
Velocidade média do veículo	10 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	584 km
Tempo de percurso	80 h
Eclusas	5
Pontes	6

Fonte: O autor.

**Tabela 9** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Anhembi (SP) à Paulínia (SP)

Transporte Dutoviário	Dados
Vazão de etanol transportado	700 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Vazão mássica de etanol transportado	553 t h <sup>-1</sup>
Velocidade média do fluxo	6 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	132 km
Tempo de percurso	22 h

Fonte: O autor.

**Tabela 10** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP).

Transporte Rodoviário	Dados:
Volume de etanol transportado	45 m <sup>3</sup>
Massa de etanol transportado	35,55 t
Velocidade média do veículo	70 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	272 km
Tempo de percurso	4 h

Fonte: O autor.

### 5.2.2 H-D-F (R2)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com três trechos (Figura 4), composto pelo hidro, duto e ferroviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 1031 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 2ª rota estudada, atualmente, o trecho hidroviário encontra-se operante, o trecho dutoviário encontra-se em construção e o trecho ferroviário encontra-se em projeto.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 8, embarcariam pela hidrovia Tietê-Paraná 7.600 m<sup>3</sup> (6004 t) de etanol em comboios fluviais até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Anhembi (SP) totalizando parcialmente 584 km de distância em, aproximadamente, 80 horas. No segundo trecho, resumido na Tabela 9, o transporte seria feito em alcoodutos e o etanol seguiria à 700 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (553 t h<sup>-1</sup>) até os tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) percorrendo parcialmente 132 km em, aproximadamente, 22 horas. No terceiro e último trecho, resumido na Tabela 11, o etanol seguiria pelo modal ferroviário em comboios ferroviários com capacidade total de 6.000 m<sup>3</sup> (4.740 t) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 315 km em, aproximadamente, 10 horas.

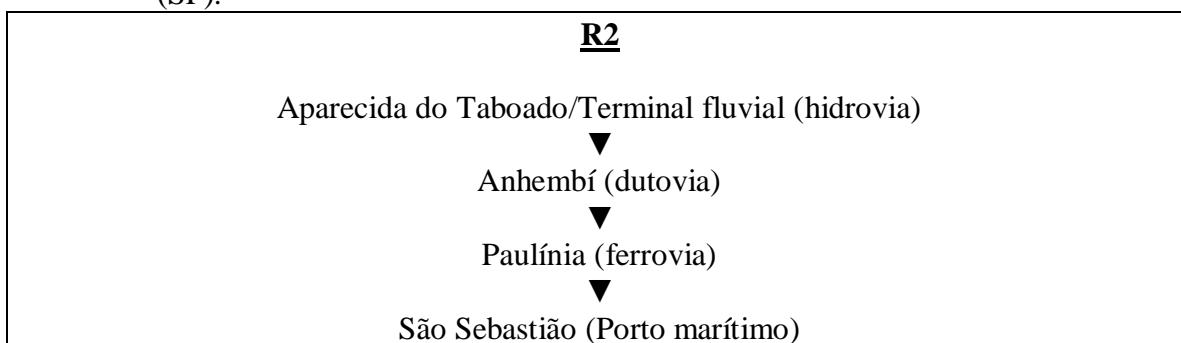
No primeiro trecho do percurso, pelo modal hidroviário, o comboio fluvial também passaria pelo canal de Pereira Barreto (SP) e seguiria pelas barragens de Nova Avanhandava (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com manobras de desmembramento do comboio de chatas em duas unidades por operação de eclusagem. Promissão (SP) com, aproximadamente, quatro horas de transposição com desmembramento também. Ibitinga (SP) com, aproximadamente, quatro horas de transposição com desmembramento. Bariri (SP) com, aproximadamente, cinco horas de

transposição com desmembramento e Barra Bonita (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com desmembramento, finalizando a rota hidroviária no terminal multimodal de Anhembi (SP).

No decorrer da viagem pela hidrovía Tietê-Paraná, o comboio ainda passaria por seis pontes com possíveis manobras de desmembramento do comboio, também, em duas chatas cada passagem. São elas: Ponte do álcool na rodovia SP-591 onde levariam, aproximadamente, duas horas para completar a operação. Ponte FEPASA em Pederneiras em, aproximadamente, duas horas. Ponte Ferrão na rodovia SP-333 em, aproximadamente, duas horas. Ponte Barbosa em, aproximadamente, três horas. Ponte SP-191 em, aproximadamente, duas horas e Ponte na cidade de Barra Bonita em, aproximadamente, duas horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “2,03” para o transporte hidroviário, “1,00” (carga de referência) para o dutoviário e “2,57” para o ferroviário.

**Figura 4** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Anhembi (SP), Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

**Tabela 11** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP).

Transporte Ferroviário	Dados:
Volume de etanol transportado	6.000 m <sup>3</sup>
Massa de etanol transportado	4.740 t
Velocidade média do veículo	30 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	315 km
Tempo de percurso	10 h

Fonte: O autor.

### 5.2.3 H-D-D (R3)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com três trechos (Figura 5), composto pelo hidro, duto e dutoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 956 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 3ª rota estudada, atualmente, o trecho hidroviário encontra-se operante, o 1º trecho dutoviário encontra-se em construção e o 2º trecho dutoviário encontra-se operante.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 8, embarcariam pela hidrovia Tietê-Paraná  $7600 \text{ m}^3$  (6004 t) de etanol em comboios fluviais até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Anhembi (SP) totalizando parcialmente 584 km de distância em, aproximadamente, 80 horas. No segundo trecho, resumido na Tabela 9, o transporte seria feito em alcoodutos e o etanol seguiria à  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $553 \text{ t h}^{-1}$ ) até os tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) percorrendo parcialmente 132 km em, aproximadamente, 22 horas. No terceiro e último trecho, resumido na Tabela 12, o etanol seguiria pelo modal dutoviário em alcoodutos à  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $553 \text{ t h}^{-1}$ ) até os tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 240 km em, aproximadamente, 40 horas.

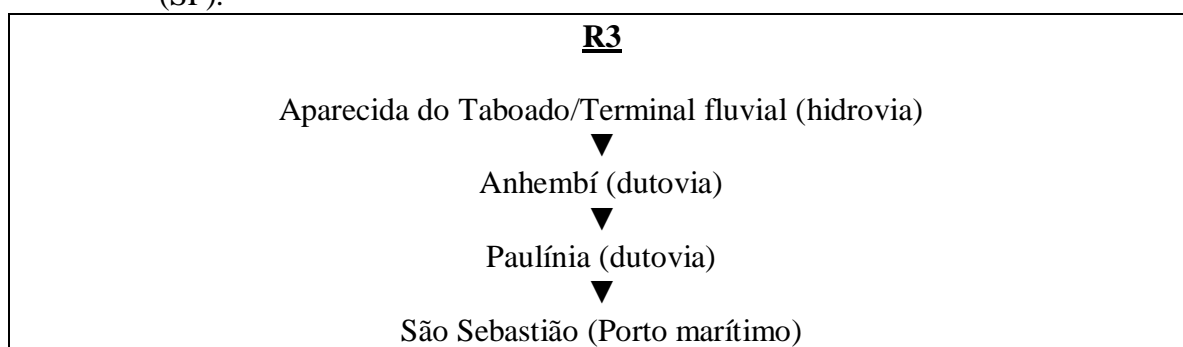
No primeiro trecho do percurso, pelo modal hidroviário, o comboio fluvial também passaria pelo canal de Pereira Barreto (SP) e seguiria pelas barragens de Nova Avanhandava (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com manobras de desmembramento do comboio de chatas em duas unidades por operação de eclusagem. Promissão (SP) com, aproximadamente, quatro horas de transposição com desmembramento também. Ibitinga (SP) com, aproximadamente, quatro horas de transposição com desmembramento. Bariri (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com desmembramento e Barra Bonita (SP) com, aproximadamente, cinco horas de transposição com desmembramento, finalizando a rota hidroviária no terminal multimodal de Anhembi (SP).

No decorrer da viagem pela hidrovia Tietê-Paraná, o comboio ainda passaria por seis pontes com possíveis manobras de desmembramento do comboio, também, em duas chatas cada passagem. São elas: Ponte do álcool na rodovia SP-591 onde levariam, aproximadamente, duas horas para completar a operação. Ponte FEPASA em Pederneiras em, aproximadamente, duas horas. Ponte Ferrão na rodovia SP-333 em,

aproximadamente, duas horas Ponte Barbosa em, aproximadamente, três horas. Ponte SP-191 em, aproximadamente, duas horas e Ponte na cidade de Barra Bonita em, aproximadamente, duas horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “3,68” para o transporte hidroviário, “1,82” para o transporte dutoviário no 2º trecho e “1,00” (carga de referência) para o dutoviário no 3º trecho.

**Figura 5** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Anhembi (SP), Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

**Tabela 12** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP)

Transporte Dutoviário	Dados:
Vazão de etanol transportado	700 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Vazão mássica de etanol transportado	553 t h <sup>-1</sup>
Velocidade do fluxo	6 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	240 km
Tempo de percurso	40 h

Fonte: O autor.

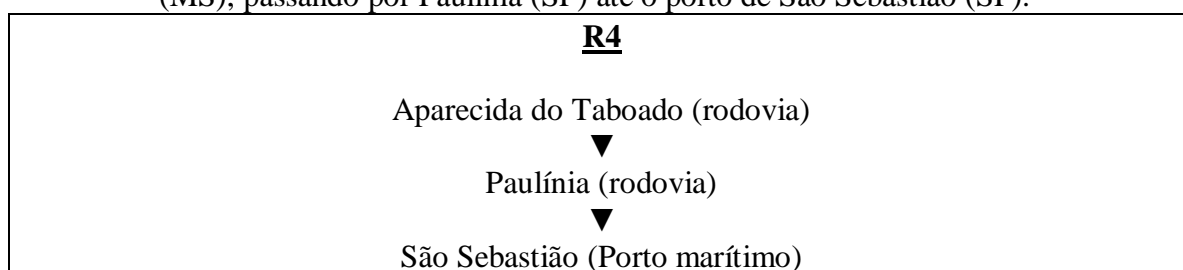
#### 5.2.4 R-R (R4)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o unimodal com dois trechos (Figura 6), composto pelo rodoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 831 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 4ª rota estudada unimodal rodo-rodoviária, atualmente, os dois trechos encontram-se operantes.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 13, embarcariam pela rodovia 45 m<sup>3</sup> (35,55 t) de etanol em bitrens até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 559 km de distância em, aproximadamente, oito horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 10, o etanol seguiria também pelo modal rodoviário em bitrens com capacidade de 45 m<sup>3</sup> (35,55 t) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 272 km em, aproximadamente, quatro horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “1,0” para o rodoviário, ou seja, inexistente, pois a rota seria apenas feita por um modal.

**Figura 6** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

**Tabela 13** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Aparecida do Taboado (SP) à Paulínia (SP).

Transporte Rodoviário	Dados:
Volume de etanol transportado	45 m <sup>3</sup>
Massa de etanol transportado	35,55 t
Velocidade média do veículo	70 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	559 km
Tempo de percurso	8 h

Fonte: O autor.

### 5.2.5 R-F (R5)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com dois trechos (Figura 7), composto pelo rodo e ferroviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 874 km até o porto marítimo de

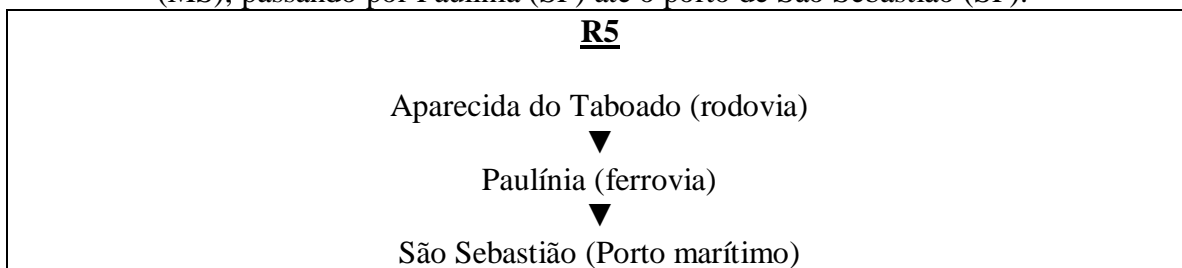


São Sebastião (SP). Nesta 5ª rota, atualmente, o trecho rodoviário encontra-se operante e o trecho ferroviário encontra-se em projeto.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 13, embarcariam pela rodovia  $45 \text{ m}^3$  (35,55 t) de etanol em bitrens até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 559 km de distância em, aproximadamente, oito horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 11, o etanol seguiria pelo modal ferroviário em comboios ferroviários com capacidade total de  $6.000 \text{ m}^3$  (4.740 t) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 315 km em, aproximadamente, dez horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “133,33” para o rodoviário e “1,00” (carga de referência) para o ferroviário.

**Figura 7** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

### 5.2.6 R-D (R6)

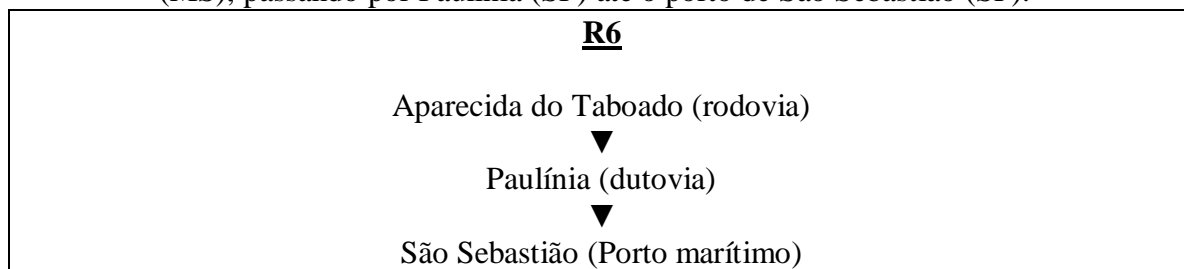
Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com dois trechos (Figura 8), composto pelo rodo e dutoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 799 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 6ª rota estudada, atualmente, os dois trechos encontram-se operantes.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 13, embarcariam pela rodovia  $45 \text{ m}^3$  (35,55 t) de etanol em bitrens até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 559 km de distância em, aproximadamente, oito horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 12, o etanol seguiria pelo modal dutoviário em alcoodutos à  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $553 \text{ t h}^{-1}$ ) até os tanques de

estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 240 km em, aproximadamente, 40 horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “622,22” para o rodoviário e “1,00” (carga de referência) para o dutoviário.

**Figura 8** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

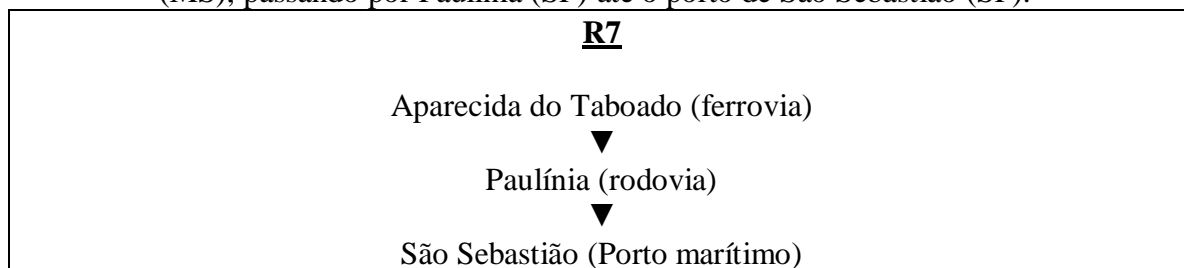
### 5.2.7 F-R (R7)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com dois trechos (Figura 9), composto pelo ferro e rodoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 920 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 7ª rota, atualmente, os dois trechos encontram-se operantes.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 14, o etanol seguiria pelo modal ferroviário em comboios ferroviários com capacidade total de 6.000 m<sup>3</sup> (4.740 t) até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 648 km de distância em, aproximadamente, 22 horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 10, o etanol seguiria pelo modal rodoviário em bitrens com capacidade de 45 m<sup>3</sup> (35,55 t) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 272 km em, aproximadamente, quatro horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “1,0” para o ferroviário (carga de referência) e “133,33” para o rodoviário.

**Figura 9** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

**Tabela 14** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP)

Transporte Ferroviário	Dados:
Volume de etanol transportado	6.000 m <sup>3</sup>
Massa de etanol transportado	4.740 t
Velocidade média do veículo	30 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	648 km
Tempo de percurso	22 h

Fonte: O autor.

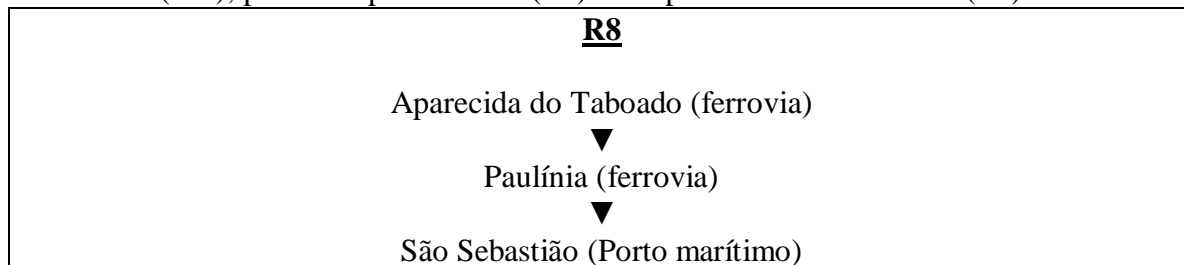
### 5.2.8 F-F (R8)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o unimodal com dois trechos (Figura 10), composto pelo ferroviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 963 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 8ª rota, atualmente, o 1º trecho ferroviário encontra-se operante e o 2º trecho ferroviário encontra-se em projeto

No primeiro trecho, resumido na Tabela 14, o etanol seguiria pelo modal ferroviário em comboios ferroviários com capacidade total de 6.000 m<sup>3</sup> (4.740 t) até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 648 km de distância em, aproximadamente, 22 horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 11, o etanol seguiria pelo modal ferroviário em comboios ferroviários com capacidade total de 6.000 m<sup>3</sup> (4.740 t) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 315 km em, aproximadamente, dez horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “1,0” ou inexistente

**Figura 10** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

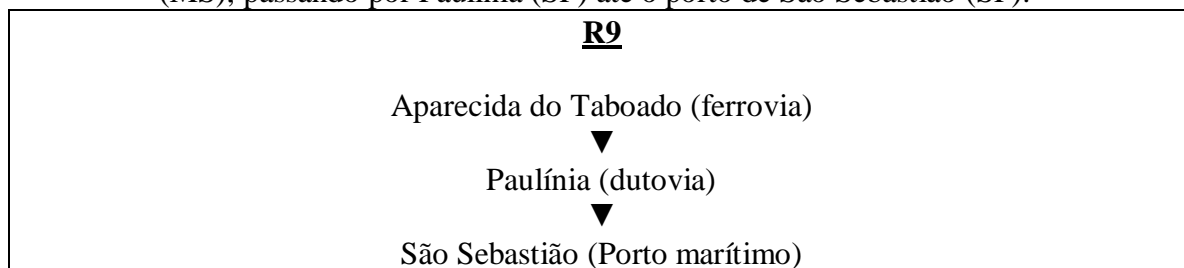
### 5.2.9 F-D (R9)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com dois trechos (Figura 11), composto pelo ferro e dutoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 888 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 9ª rota estudada, atualmente, os dois trechos encontram-se operantes.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 14, o etanol seguiria pelo modal ferroviário em comboios ferroviários com capacidade total de 6.000 m<sup>3</sup> (4.740 t) até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 648 km de distância em, aproximadamente, 22 horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 12, o etanol seguiria pelo modal dutoviário em alcoodutos à 700 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (553 t h<sup>-1</sup>) até os tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 240 km em, aproximadamente, 40 horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “4,67” para o ferroviário e “1,00” (carga de referência) para o dutoviário.

**Figura 11** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

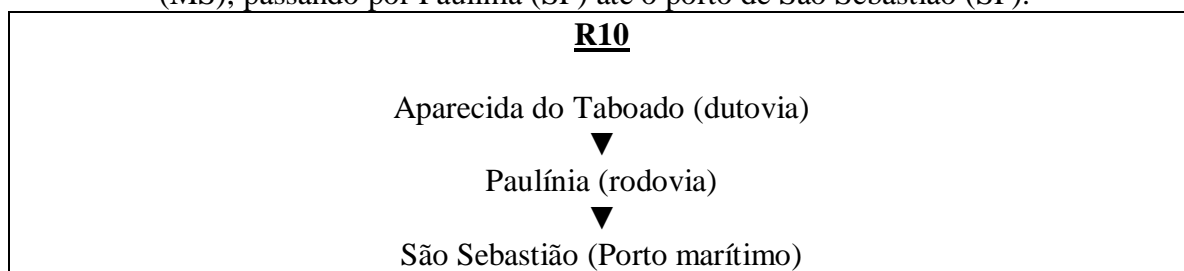
### 5.2.10 D-R (R10)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com dois trechos (Figura 12), composto pelo duto e rodoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 869 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 10ª rota estudada, atualmente, o 1º trecho encontram-se em projeto e o 2º trecho rodoviário encontra-se operante.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 15, seguiriam pela dutovia em alcoodutos  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $553 \text{ t h}^{-1}$ ) de etanol até os tanques de estocagem até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 597 km de distância em, aproximadamente, 99 horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 10, o etanol seguiria pelo modal rodoviário em bitrens com capacidade de  $45 \text{ m}^3$  ( $35,55 \text{ t}$ ) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 272 km em, aproximadamente, 4 horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “1,00” (carga de referência) para o dutoviário e “1.540,00” para o rodoviário.

**Figura 12** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

**Tabela 15** - Delimitação do trecho envolvido na movimentação do etanol de Paulínia (SP) à São Sebastião (SP)

Transporte Dutoviário	Dados:
Vazão de etanol transportado	700 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Vazão mássica de etanol transportado	553 t h <sup>-1</sup>
Velocidade do fluxo	6 km h <sup>-1</sup>
Distância percorrida	597 km
Tempo de percurso	99 h

Fonte: O autor.

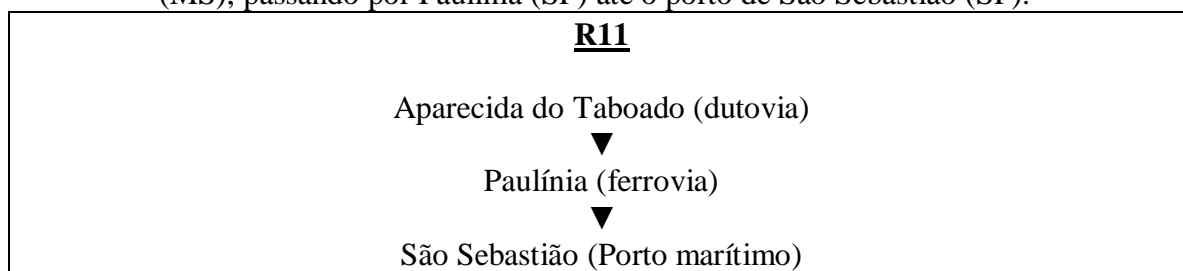
### 5.2.11 D-F (R11)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o multimodal com dois trechos (Figura 13), composto pelo duto e ferroviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 912 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 11ª rota estudada, atualmente, o 1º trecho dutoviário encontra-se em projeto e o 2º trecho ferroviário encontra-se em projeto.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 15, seguiriam pela dutovia em alcoodutos 700 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (553 t h<sup>-1</sup>) de etanol até os tanques de estocagem até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 597 km de distância em, aproximadamente, 99 horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 11, o etanol seguiria pelo modal ferroviário em comboios ferroviários com capacidade total de 6.000 m<sup>3</sup> (4.740 t) de etanol com destino aos tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 315 km em, aproximadamente, dez horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “1,0” (carga de referência) para o dutoviário e “11,55” para o ferroviário.

**Figura 13** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

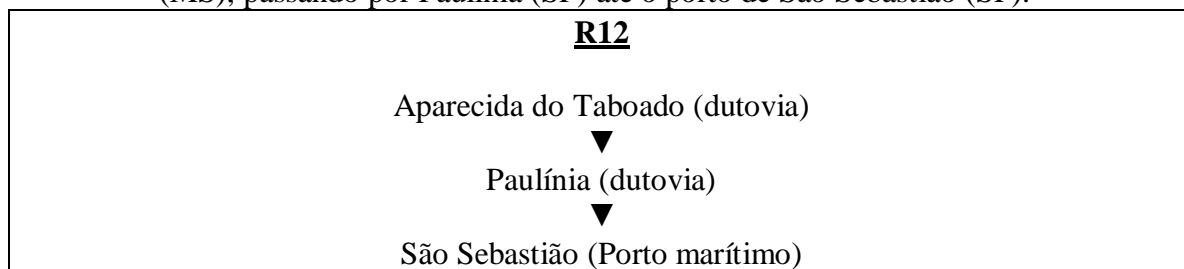
### 5.2.12 D-D (R12)

Neste modelo logístico de análise de transporte é utilizado o unimodal com dois trechos (Figura 14), composto pelo dutoviário. Tem como origem a cidade de Aparecida do Taboado (MS) e percorre 837 km até o porto marítimo de São Sebastião (SP). Nesta 12ª rota estudada unimodal duto-dutoviária, atualmente, o 1º trecho encontra-se em projeto e o 2º trecho operante.

No primeiro trecho, resumido na Tabela 15, seguiriam pela dutovia em alcoodutos  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $553 \text{ t h}^{-1}$ ) de etanol até os tanques de estocagem até a transferência em tanques de estocagem na cidade de Paulínia (SP) totalizando parcialmente 597 km de distância em, aproximadamente, 99 horas. No segundo e último trecho, resumido na Tabela 12, o etanol seguiria pelo modal dutoviário em alcoodutos à  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ( $553 \text{ t h}^{-1}$ ) até os tanques de estocagem no porto marítimo da cidade de São Sebastião (SP) num total parcial de 240 km em, aproximadamente, 40 horas.

O “fator de equivalência” de carga é de “1,0” (carga de referência) para o transporte dutoviário no 1º trecho e “2,48” para o transporte dutoviário no 2º trecho.

**Figura 14** - Fluxograma do escoamento multimodal do etanol, de Aparecida do Taboado (MS), passando por Paulínia (SP) até o porto de São Sebastião (SP).



Fonte: O autor.

### 5.3 Mão-de-obra envolvida na movimentação do etanol

Para todos os modais de transporte, tanto para o carregamento como para o descarregamento do etanol nos trechos intermediários, na origem e no destino, seriam necessários no mínimo dois operadores, o motorista e mais um ajudante (SILVA, 2013).

Ao longo do transporte no percurso de exportação do etanol pela hidrovia, encontraríamos nove tripulantes atuando em cada comboio hidroviário (ARACENA, 2012). Pela rodovia, um motorista operando cada bitrem tanque (SILVA, 2013). Pela ferrovia, encontraremos, um condutor maquinista e um ajudante no comboio ferroviário (BRAVIN, 2013). E pela dutovia, dois operadores nas bombas de transferência no alcooduto (LOGUN, 2013).

Pela hidrovia Tietê-Paraná, haveriam 15 transposições por cinco eclusas e cada transposição será operada por duas pessoas por eclusa/barragem que manipulariam os portões hidráulicos, entradas e saídas de água das câmaras de eclusagem. Ainda pela hidrovia, haveria a transposição do canal de Pereira Barreto operada por duas pessoas que manipulariam o rádio de comunicação (AES Tietê, 2013). A Tabela 16 resume a mão-de-obra envolvida na movimentação do etanol.

**Tabela 16** - Cálculo da mão-de-obra (nº de operários) envolvida na movimentação do etanol de **Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**.

<b>Forma de movimentação</b>	<b>Mão-de-obra (nº de operários)</b>
<b>Carregamento em Aparecida do Taboado (MS):</b>	
Para comboio fluvial	6
Para bitrem tanque	2
Para comboio ferroviário	2
Para alcooduto	2
<b>Transporte de Aparecida do Taboado (MS):</b>	
Por hidrovia	9
Por rodovia	1
Por ferrovia	2
Por dutovia	2
<b>Transposição:</b>	
Das eclusas	10
Do canal de Pereira Barreto	2
<b>Descarregamento em Anhembi (SP):</b>	
Do comboio fluvial	6
<b>Transporte de Anhembi (SP):</b>	
Por dutovia	2
<b>Descarregamento em Paulínia (SP):</b>	
Do bitrem tanque	2
Do comboio ferroviário	2
Do alcooduto	2
<b>Carregamento em Paulínia (SP):</b>	
Para bitrem tanque	2
Para comboio ferroviário	2
Para alcooduto	2

Continua...



**Tabela 16** - Cálculo da mão-de-obra (nº de operários) envolvida na movimentação do etanol de **Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**.

<b>Forma de movimentação</b>	<b>Mão-de-obra (nº de operários)</b>
<b>Transporte de Paulínia (SP):</b>	
Por rodovia	1
Por ferrovia	2
Por dutovia	2
<b>Descarregamento em São Sebastião (SP):</b>	
Do bitrem tanque	2
Do comboio ferroviário	2
Do alcooduto	2
<b>Administração da logística de transportes:</b>	
Por operadores logísticos	2

Fonte: O autor.

## 5.4 Materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol

### 5.4.1 Tanques

Os tanques de armazenamento/estocagem teriam como características principais: diâmetro 31,35 m, altura de 12 m e capacidade útil de 15.000 m<sup>3</sup>.

### 5.4.2 Modal hidroviário

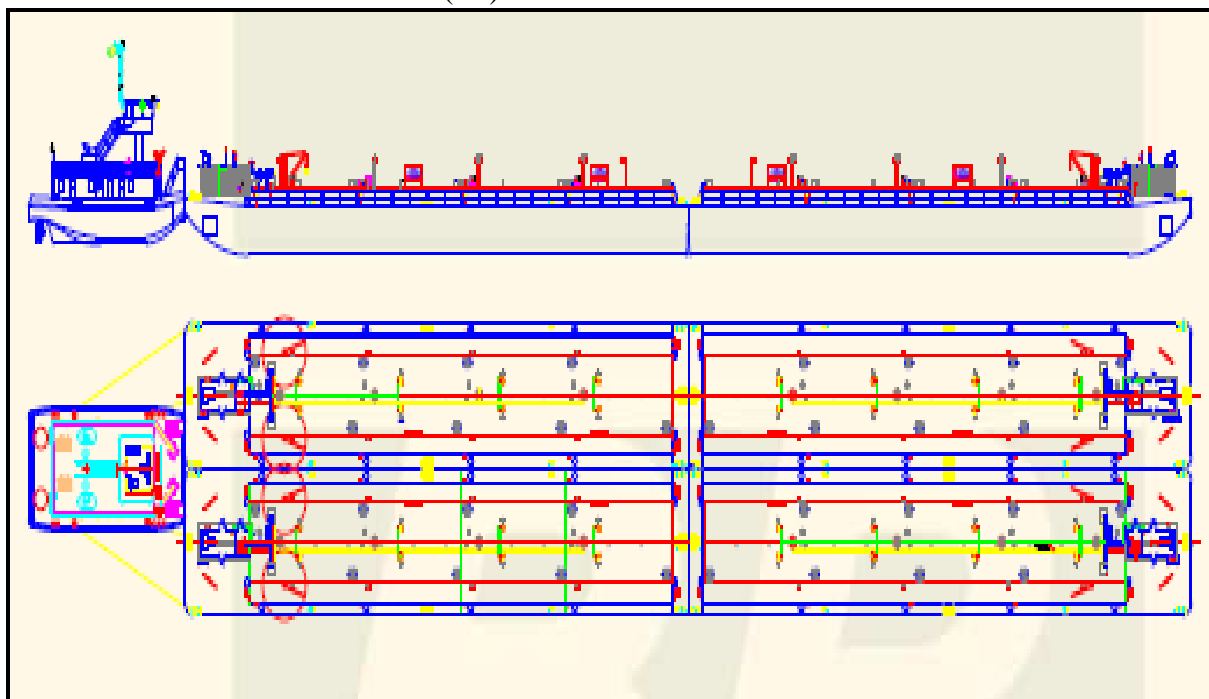
O comboio hidroviário fluvial (Figuras 15 e 16) seria composto de um empurrador medindo 18,5 m de comprimento, boca de 9 m e calado de 2,4 m, potência instalada total de 1200 HP (LADEIRA, 2013), massa de aproximadamente 140 t e vida útil, em anos de uso, de aproximadamente, 50 anos (GUIALOG, 2013). Completariam o comboio quatro barcaças de casco duplo com 60 m de comprimento, 11 m de boca e 3 m de calado (ARACENA, 2011), massa de aproximadamente 1320 t (330 t cada chata) e vida útil, em anos de uso, de aproximadamente, 50 anos (GUIALOG, 2013). O consumo médio de óleo Diesel do comboio hidroviário carregado, incluindo os dois motores principais e os dois motores auxiliares seria de aproximadamente 246 L h<sup>-1</sup> (LADEIRA, 2013). As principais características dos materiais e equipamentos utilizados estão apresentados na Tabela 17.

**Figura 15** - Exemplo ilustrativo de um comboio hidroviário alcooleiro.



Fonte: (Agência Petrobrás, 2012).

**Figura 16** - Arranjo Geral do comboio hidroviário alcooleiro, que transportará etanol por hidrovia até Anhembi (SP).



Fonte: (ARACENA, 2011).

Ao longo da hidrovia, haveria 15 transposições por eclusas (três em cada barragem devido ao desmembramento do comboio). As operações de eclusagens seriam comandadas por dois operadores por eclusa. Cada eclusa possui dois portões hidráulicos (Figuras 17 e 18), um a montante tipo esporão (duas folhas) com dois motores elétricos de 15 HP cada um, 115 t de massa total, construído em material aço carbono, vida útil em anos de uso de, aproximadamente, 50 anos e tempo de operação de três minutos. Outro portão, a jusante, é do tipo vagão (uma folha) com um motor elétrico de 75 HP, 115 t de massa total, construído em material aço carbono, vida útil em anos de uso de, aproximadamente, 50 anos e tempo de operação de 3 minutos. (AES TIETÊ, 2013)

**Figura 17** - Portão de eclusa a jusante tipo vagão (1 folha).



Fonte: (Pesquisa de Campo, 2012)

O sistema de carga/descarga seria constituído pelas seguintes redes de tubulações:

- Quatro redes de carga/descarga cada uma conectadas as bombas principais centrífugas submersas (ARACENA, 2011).
- Quatro *drop lines*, um por cada tanque de carga. Essas redes deverão ser de aço inox (ARACENA, 2011).

**Figura 18** - Portão de eclusa a montante tipo esporão (duas folhas).



Fonte: (Pesquisa de Campo, 2012).

O sistema de bombeamento seria constituído por:

- Um motor diesel por chata com potência de aproximadamente 550 HP, para acionamento das bombas. O consumo médio de óleo diesel seria de, aproximadamente,  $100 \text{ L h}^{-1}$  (LADEIRA, 2013).
- Quatro bombas de carga centrífugas, submersas com capacidade de carga/descarga de  $150 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  cada uma (ARACENA, 2011).

O sistema de força motriz e suprimento elétrico a bordo teria:

- Dois motores diesel para propulsão principal (MCP's) com potência aproximada de 600 HP cada um. O consumo médio de óleo diesel seria de, aproximadamente,  $110 \text{ L h}^{-1}$  cada um (LADEIRA, 2013).
- Dois motores diesel para geradores de corrente alternada (MCA's) com potência aproximada de 60 HP cada um. O consumo médio de óleo diesel seria de, aproximadamente,  $26 \text{ L h}^{-1}$  cada um (LADEIRA, 2013).

- Um banco de baterias, com energia suficiente para manter em funcionamento as luzes de navegação por 10 h e os sistemas de controle, alarmes e iluminação de emergência pelo período de duas horas (ARACENA, 2011).

Sistemas de óleo combustível e óleo lubrificante teriam:

- A lubrificação dos motores de combustão principais (MCP's) e os motores de combustão auxiliares (MCA's) seriam feitos pelo óleo lubrificante contido no cárter dos próprios motores.
- O óleo diesel combustível será armazenado nos tanques do próprio empurrador, e conduzido por uma bomba elétrica auxiliar até um tanque de uso diário, de onde deverá descer até a bomba injetora dos motores por gravidade.
- A capacidade dos tanques, seria de 80 m<sup>3</sup>, para atender a autonomia de 1.800 milhas náuticas ou 14 dias de navegação contínua, a uma velocidade 5,5 nós com 4 barcaças carregadas (ARACENA, 2011).

**Tabela 17** - Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por hidrovia.

<b>Materiais e equipamentos</b>	<b>Dados:</b>
<u>Características do empurrador do comboio fluvial:</u>	
Comprimento	18,5 m
Boca	9 m
Calado	2,4 m
Massa	140 t
Vida útil em anos de uso	50 anos
Potência instalada dos motores principais	1200 HP
Potência instalada dos motores auxiliares	120 HP
Consumo médio de óleo Diesel do comboio fluvial carregado	246 L h <sup>-1</sup>
<u>Características das chatas do comboio fluvial:</u>	
Comprimento	60 m
Boca	11 m
Calado	3 m
Massa	330 t
Vida útil em anos de uso	50 anos
<u>Características das eclusas da hidrovia do Tietê:</u>	
Potência instalada do portão hidráulico tipo esporão	15 HP
Potência instalada do portão hidráulico tipo vagão	75 HP
Tempo de operação dos portões hidráulicos das eclusas	3 min
Massa dos portões hidráulicos das eclusas	115 t
Vida útil em anos de uso dos portões hidráulicos das eclusas	50 anos

Continua...

**Tabela 17** - Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por hidrovia.

<b>Materiais e equipamentos</b>	<b>Dados:</b>
<u>Características do sistema de carga e descarga de etanol das chatas:</u>	
Massa das 4 redes de carga e descarga	1 t
Vida útil em anos de uso das 4 redes de carga e descarga	50 anos
Massa das 4 bombas de carga e descarga	1 t
Vida útil das 4 bombas de carga e descarga	50 anos
Vazão operacional das bombas	150 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Massa das 4 drop lines do sistema de carga e descarga	1 t
Vida útil das 4 drop lines do sistema de carga e descarga	50 anos
Potência instalada do motor Diesel que move as bombas	550 HP
Consumo médio de óleo Diesel do motor que move as bombas	100 L h <sup>-1</sup>
<u>Características dos sistemas de óleo combustível e óleo lubrificante:</u>	
Capacidade total de óleo Diesel no tanque	80 m <sup>3</sup>
Autonomia do óleo Diesel no tanque	14 dias

Fonte: O autor.

### 5.4.3 Modal dutoviário

O transporte de etanol seria realizado por tubulações de aço com diâmetro médio de 24 polegadas. A massa de cada duto com 18 metros de comprimento é de 8.000 kg cada (ANP, 2010) e vida útil em anos de uso de 40 anos (CERNE, 2000). A Tabela 19 e as Figuras 19, 20, 21, 22, 23 e 24, apresentam as características dos materiais e equipamentos utilizados no sistema dutoviário.

Ao longo de todo o sistema de transporte e movimentação do etanol por tubulações haveria *skids* de descarga (equipamentos compostos de mangueiras para acoplamento nos caminhões, tanque de desaeramento, bomba de transferência, instrumentos de medição de densidade e volume) que irão descarregar os caminhões e transportar os produtos até seu respectivo tanque de armazenamento/estocagem (ANP, 2010).

Dos tanques de armazenamento/estocagem, o etanol seria movimentado através das bombas intermediárias *Booster B-7776* até a sucção das bombas principais *Booster B-35001* nos dutos principais de 15 HP e destas o etanol seria bombeado até a REPLAN em Paulínia (SP) ou ao porto de São Sebastião (SP). Haveria estações de bombeamento a cada 200 km se necessário (ANP, 2010).

As características das bombas centrífugas dos dutos, equipamentos estes que irão transferir o etanol são:

- Seriam instaladas 2 bombas com capacidade unitária de  $700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , sendo que uma seria reserva. A vazão considerada no projeto foi de  $3.000.000 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  de etanol. Uma vez que, foi considerado no projeto que o mesmo operará, aproximadamente,  $22 \text{ h dia}^{-1}$  (ANP, 2010).

As seguintes características devem ser consideradas na Tabela 18:

**Tabela 18** - Resumo de algumas características de produtos combustíveis.

Produto	Massa específica	Viscosidade	Pressão de vapor
Etanol Anidro	$789 \text{ kg m}^{-3}$	$1,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	5.883,99 Pa
Etanol hidratado	$811 \text{ kg m}^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	5.883,99 Pa
Gasolina	$720 \text{ kg m}^{-3}$	$0,90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	39.226,61 Pa
Diesel	$880 \text{ kg m}^{-3}$	$9,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	7.845,32 Pa

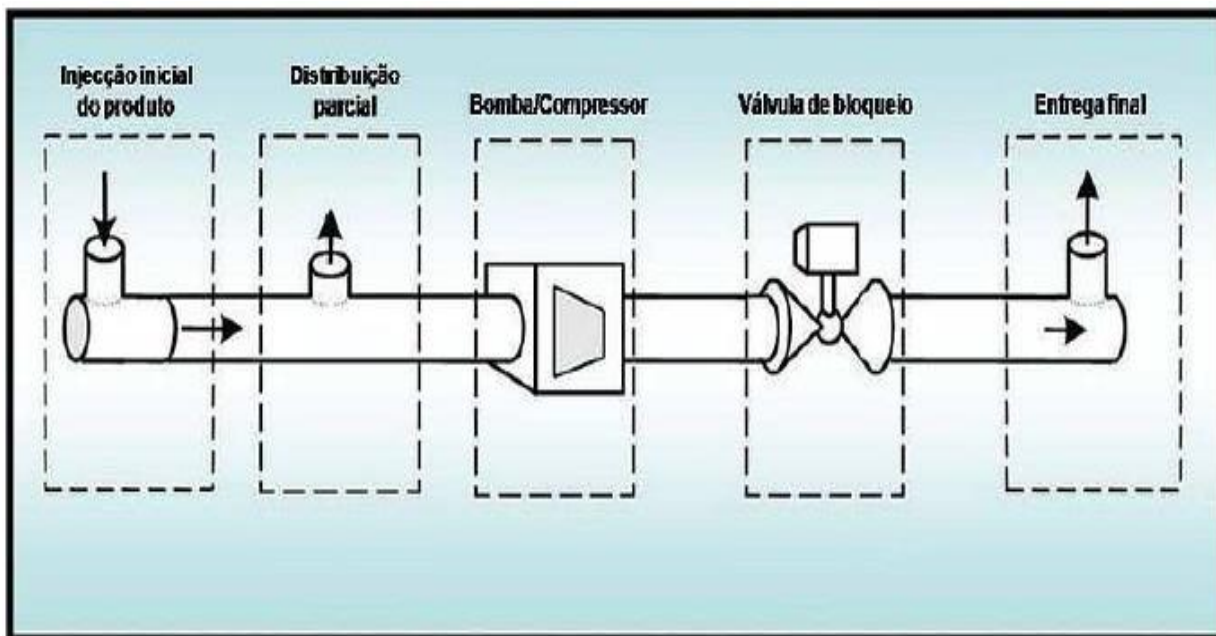
Fonte: (ANP, 2010).

**Figura 19** - Foto-exemplo de um sistema de dutos e tanques, que armazenariam e transportariam etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (Caxias online, 2012).

**Figura 20** - Subdivisão de componentes dos dutos, que transportariam etanol de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (WIKIPÉDIA, 2012).

**Figura 21** - Estoque de dutos, que transportaria etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (Blogspot, 2012).



**Figura 22** - Válvulas de bloqueio que fariam parte do alcooduto.



Fonte: (Blogspot, 2012).

**Figura 23** - Sistema de dutos sendo construído, que transportaria etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (ENGESA, 2012).

**Figura 24** - Sistema de dutos sendo construído, que transportaria etanol por dutovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP), de Anhembi (SP) até Paulínia e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (ENGESA, 2012).

**Tabela 19** - Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por dutovia.

<b>Materiais e equipamentos</b>	<b>Dados:</b>
<u>Características do alcooduto:</u>	
Comprimento de cada tubo	18 m
Diâmetro nominal	24 pol
Massa	8 t
Vida útil em anos de uso	40 anos
Potência das bombas	15 HP

Fonte: O autor.

#### 5.4.4 Modal rodoviário

O bitrem tanque tracionado é composto por um cavalo mecânico (Figuras 25 e 26) e dois semi-reboques tanques (Figura 27). A vida útil em anos de uso do veículo é de dez anos (GUIALOG, 2013) com um consumo médio de  $1,90 \text{ km L}^{-1}$  (MERCEDES-BENZ, 2013; TRANSPORTE MUNDIAL, 2013) de óleo diesel. Utiliza 28 pneus incluindo dois pneus reservas com massa aproximada de 58 kg por pneu. (SCANIA,

2012; GRUPO HUBNER, 2012; GOODYEAR, 2012). As principais características dos materiais e equipamentos utilizados estão apresentados na Tabela 20.

Os cavalos mecânicos dos bitrens são ideais para o transporte de combustíveis como gasolina, álcool, diesel, biodiesel, óleos e líquidos em geral. Algumas características e dimensões:

#### Pesos e cargas:

- Dianteiro 5.787 kg
- Traseiro 4.183 kg
- Tara total 9.970 kg

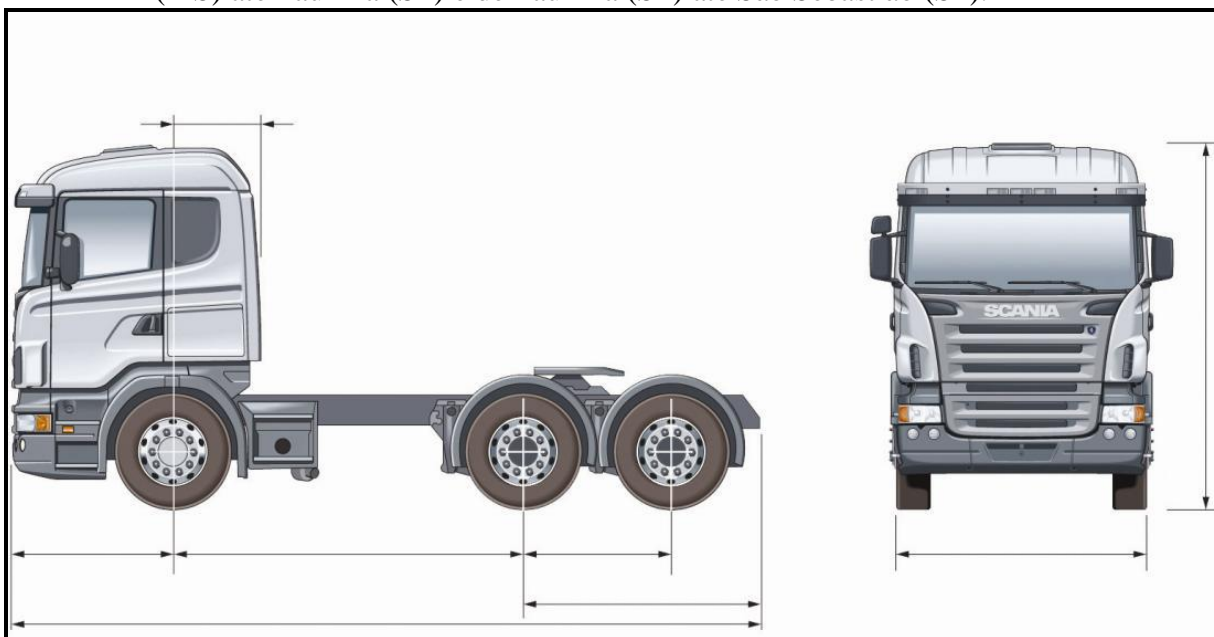
#### Veículo em ordem de marcha (tanque cheio + líquido + motorista):

- Carga do eixo dianteiro 7.500 kg;
- Capacidade técnica do *bogie* 26.000 kg (13.000 + 13.000);
- Peso bruto total técnico 33.500 kg;
- Capacidade máxima de tração 150.000 kg;
- Peso bruto total combinado legal 74.000 kg;
- Peso bruto total legal 23.000 kg;

#### Motor:

- Motor de 8 cilindros em “V”;
- Cilindrada 15,6 litros;
- Potência Máxima de 620 hp (456 kW) a 1.900 rpm;
- Torque Máximo 3.000 Nm entre 1100 a 1.400 rpm;
- Capacidade de Óleo 32 dm<sup>3</sup>;
- Freio Motor 304 kW a 2.400 rpm;

**Figura 25** - Vista transversal e longitudinal do cavalo mecânico, que rebocaria tanques de combustíveis para o transporte de etanol por rodovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (SCANIA, 2012).

Os semi-reboques tanques são ideais para o transporte de combustíveis como gasolina, álcool, diesel, biodiesel, óleos e líquidos em geral.

Características e dimensões dos tanques:

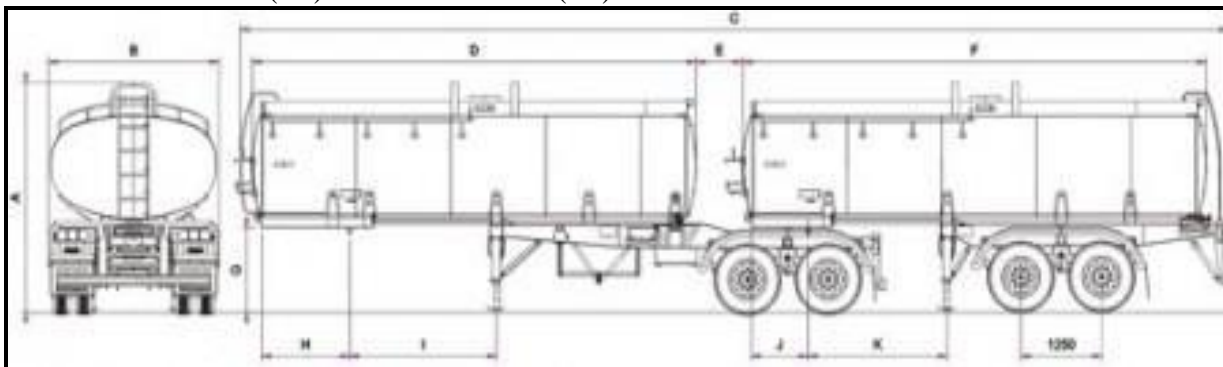
- Capacidade: 45.000 L
- Comprimento externo: 14.630 mm
- Largura: 2.600 mm
- Altura externa: 3.350 mm

**Tabela 20** - Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por rodovia.

<b>Materiais e equipamentos</b>	<b>Dados:</b>
<u>Características do cavalo mecânico do Bitrem:</u>	
Massa	9,97 t
Vida útil	10 anos
Potência instalada do motor	620 HP
Consumo médio de óleo diesel	1,9 km L <sup>-1</sup>
<u>Características dos semi-reboques tanques:</u>	
Massa	10,5 t
Vida útil em anos de uso	10 anos

Fonte: O autor.

**Figura 26** - Vista transversal e longitudinal dos semi-reboques tanques, que transportaria etanol por rodovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião(SP).



Fonte: (SCANIA, 2012).

**Figura 27** - Vista de dois semi-reboques tanques, que transportariam etanol por rodovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (METALESP, 2012).

#### 5.4.5 Modal ferroviário

O transporte ferroviário seria em média realizado por duas ou três locomotivas (Figuras 28 e 29) rebocando de 70 a 100 vagões tanque (Figuras 30 e 31). A vida útil em anos de uso do veículo é de 30 anos (GUIALOG, 2013) com um consumo

médio de 9 L km<sup>-1</sup> de óleo diesel cada locomotiva (BRAVIN, 2013). As principais características dos materiais e equipamentos utilizados estão apresentados na Tabela 21.

Locomotivas destinadas ao transporte de produtos derivados de petróleo e álcool hidratado:

Dados gerais:

- Modelo GL 8;
- Potência bruta 950 HP;
- Potência disponível para tração 875 HP;
- Peso Total 62.000 kg;
- Peso por eixo 15.500 kg;
- Esforço de tração máxima 10.000 kgf;
- Velocidade máxima 100 km h<sup>-1</sup>;
- Velocidade mínima 18 km h<sup>-1</sup>;
- Raio mínimo de inscrição 59 m;
- Tipo de transmissão diesel elétrica;
- Capacidade do tanque de óleo diesel 1.893 L;
- Capacidade de óleo lubrificante do cárter 492 L;
- Motor de 8 cilindros;
- Princípio de funcionamento 2 tempos;
- Refrigeração a água.

**Figura 28** - Locomotiva da ALL (América Latina Logística) que reboca vagões tanques no transporte de etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (ALL, 2012).

**Figura 29** - Locomotiva da MRS (Minas Gerais/Rio de Janeiro/São Paulo) que reboca vagões tanques no transporte de etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (MRS, 2012).

Vagão tanque destinado ao transporte de produtos derivados de petróleo e álcool hidratado:

- Tara 25.750 kg
- Lotação 54.250 kg
- Peso bruto máximo 80.000 kg

Características gerais do vagão tanque:

- Capacidade volumétrica: 60 m<sup>3</sup>
- Pressão de teste: 60 psi
- Capacidade de expansão: 2%

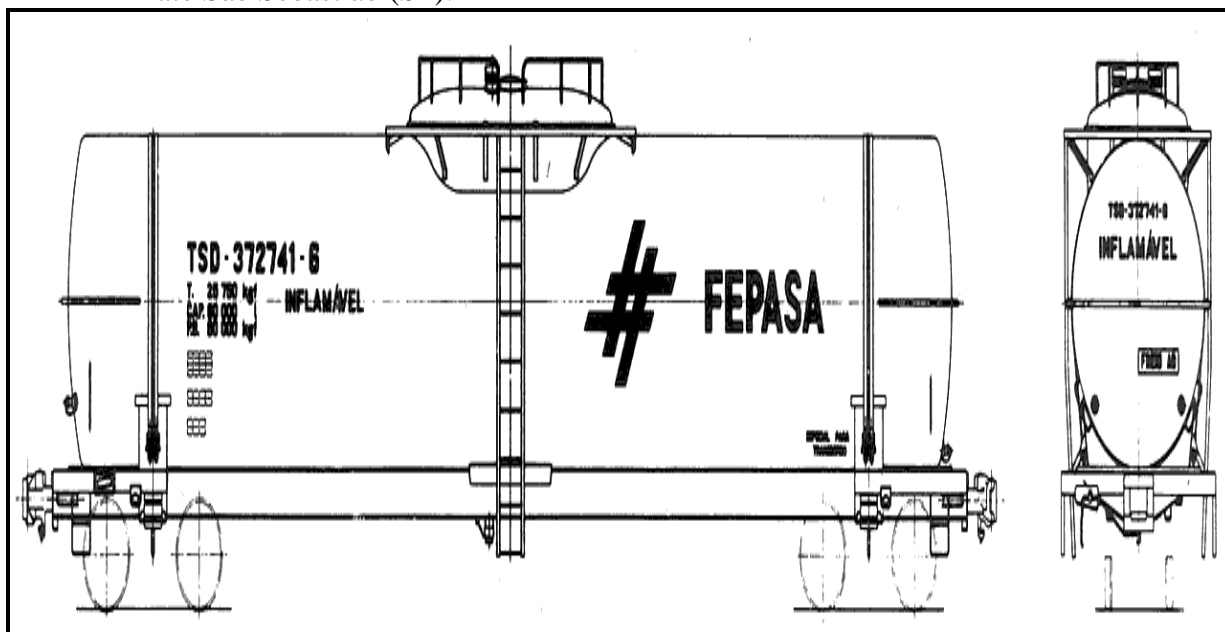
**Figura 30** - Vagão tanque que transporta etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (BRAZÍLIA, 2012).



**Figura 31** - Vista longitudinal e transversal de um vagão tanque que transporta etanol por ferrovia de Aparecida do Taboado (MS) até Paulínia (SP) e de Paulínia (SP) até São Sebastião (SP).



Fonte: (BRAZILIA, 2012).

**Tabela 21** - Resumo das principais características dos materiais e equipamentos envolvidos na movimentação do etanol por ferrovia.

<b>Materiais e equipamentos</b>	<b>Dados:</b>
<u>Características da locomotiva do comboio ferroviário:</u>	
Massa	62 t
Vida útil em anos de uso	30 anos
Potência instalada do motor	875 HP
Consumo médio de óleo Diesel do comboio fluvial carregado	246 L h <sup>-1</sup>
<u>Características dos tanques do comboio ferroviário:</u>	
Massa	25,75 t
Vida útil em anos de uso	30 anos

Fonte: O autor.

## 5.5 Conversão dos fatores físicos em energéticos

### 5.5.1 Energia do tipo direta de fonte industrial sob a forma elétrica:

Neste item, discrimina-se a obtenção dos conteúdos energéticos dos equipamentos elétricos utilizados no sistema.

Os equipamentos utilizados para os cálculos foram:

- Portão de eclusa à montante nas hidrovias;
- Portão de eclusa à jusante nas hidrovias;
- Bombas hidráulicas *booster* nas dutovias;

A conversão foi feita através da Equação 15:

$$EDIE = 0,745 \cdot 3,6 \cdot P \cdot T \cdot F \cdot Ne \quad (15)$$

Onde:

EDIE = energia do tipo direta de fonte industrial sob a forma elétrica (MJ);

P = potência (HP);

T = tempo de utilização (h);

F = fator de equivalência de carga;

Ne = número de equipamentos.

### **5.5.2 Energia do tipo direta de fonte fóssil sob a forma de combustíveis e lubrificantes:**

Para a obtenção dos conteúdos energéticos de combustíveis e lubrificantes foi utilizado o fator de 1,14 sobre seus poderes caloríficos, que corresponde a 14% do gasto energético utilizado para a produção do óleo diesel, óleo lubrificante e graxa descritas em (BUENO, 2002).

Os coeficientes energéticos adotados foram: óleo diesel 38,54 MJ L<sup>-1</sup>, para o óleo lubrificante 38,52 MJ L<sup>-1</sup> e para graxa 43,18 MJ kg<sup>-1</sup>; (CAMPOS, 2001).

A conversão foi feita através da Equação 16:

$$EDF = 1,14 \cdot CE \cdot CT \cdot F \quad (16)$$

Onde:

EDF = energia do tipo direta de fonte fóssil (MJ);

CE = coeficiente energético ( $\text{MJ L}^{-1}$ );

CT = consumo total (L);

F = fator de equivalência de carga.

Os combustíveis e lubrificantes utilizados para os cálculos foram:

#### a) Rodoviário

- Bitrem tanque:
- Óleo diesel;
- Óleo lubrificante (0,9% do consumo de óleo diesel);
- Graxa (6,31% do consumo de óleo lubrificante).

Algumas observações devem ser percebidas: a densidade da graxa foi considerada como sendo de  $0,88 \text{ t m}^{-3}$ . Os percentuais de consumo do óleo diesel, óleo lubrificante e graxa foram calculados segundo dados fornecidos segundo informação pessoal obtida junto a empresa RISSO de transporte terrestre do município de Barra Bonita (SP), (De LUCCA , 2006).

#### b) Hidroviário

- Comboio hidroviário:
- Óleo diesel;
- Óleo lubrificante (1,8% do consumo de óleo diesel);

O percentual de consumo do óleo lubrificante seguiu os mesmos padrões de consumo dos motores de bitrens, apenas multiplicado por dois, pois em empurradores são comumente instalados dois motores e os mesmos são apenas adaptados

às condições de navegabilidade. Também não foi considerado o consumo de graxa, visto que, segundo (TAKAHASHI, 2006), o valor é desprezível.

### c) Ferroviário

- Comboio ferroviário:
- Óleo diesel;
- Óleo lubrificante (0,04% do consumo de óleo diesel);

O percentual de consumo do óleo lubrificante e o desprezo pelo consumo da graxa seguiram as considerações da MRS logística, (EIRAS, 2006).

### d) Dutoviário

O consumo do óleo Diesel, óleo lubrificante e graxa é praticamente “zero”. No sistema dutoviário, o etanol é impulsionado em dutos por bombas hidráulicas movidas a eletricidade ou pela força da gravidade em terrenos íngremes.

## 5.5.3 Energia do tipo direta de fonte biológica sob a forma de mão de obra:

A conversão do dispêndio energético devido a mão-de-obra envolvida nos 12 sistemas de transporte seguiu (AINSWORTH et. al. 1993). Eles classificaram em seu trabalho o custo energético de atividades físicas humanas. É um esquema de codificação que classifica as atividades de acordo com seu propósito (por exemplo: esporte, ocupacional, auto-manutenção), tipo específico de atividade e sua intensidade enquanto taxa de trabalho metabólico em relação à taxa de trabalho metabólico - *Metabolic Employment Tax* (MET). O gasto energético corporal pode ser estimado para todas as atividades, atividades específicas ou tipos de atividades. Os valores de METs listados na Tabela 22 são para algumas atividades ocupacionais.

**Tabela 22** - Dados para o cálculo do custo energético de atividades físicas humanas.

<b>Atividades ocupacionais</b>	<b>MET</b>
Panificação em geral:	4,0
Carpintaria em geral:	3,5
Trabalhar em mina de carvão, geral:	6,0
Reforma de construções:	5,5
Trabalho de eletricista e bombeiro:	3,5
Atividade rural: dirigir trator:	2,5
Atividade rural: alimentar pequenos animais:	4,0
Atividade rural: alimentar gado:	4,5
Atividade rural: tirar leite de vaca manualmente:	3,0
Atividade rural: tirar leite de vaca mecanicamente:	1,5
Bombeiro em geral (apagar incêndio):	8,0
Lenhador: cortar madeira c/machado, rapidamente:	17,0
Lenhador: cortar madeira c/machado, lentamente:	5,0
Lenhador: trabalho geral:	8,0
Plantar com as mãos (florestas):	6,0
Andar a cavalo: galopando:	8,0
Andar a cavalo: trotando:	6,5
Andar a cavalo: passeando:	2,6
Operar equipamento pesado/automático:	2,5
Atividade policial: dirigir trânsito, de pé :	2,5
Atividade policial: dirigir uma viatura:	2,0
Atividade policial: fazer uma prisão:	8,0
Reparar calçados de forma geral:	2,5
Trabalho de escritório em geral (assentado):	1,5
Participar de reuniões em geral, conversando:	1,5
Trabalhos leves, na posição de pé:	2,5
Trabalhos leve/moderado na posição de pé:	3,0
Trabalhos pesados, na posição de pé:	4,0
Dirigir caminhão, carregando/descarregando:	6,5
Digitar máquina elétrica/manual ou em computador:	1,5
Operar máquinas:	2,6
Controlador de qualidade:	3,3
Trabalhar em forno de tratamento térmico:	3,4
Operar prensas leves de forjamento:	3,7
Servente de pedreiro:	5,0
Pedreiros:	5,2

Fonte: Ainsworth et. al. (1993).

A conversão foi feita através da Equação 17:

$$EDFB = 0,00418 \bullet MET \bullet M \bullet T \bullet F \bullet NP \bullet ND \quad (17)$$

Onde:

EDFB = energia do tipo direta de fonte biológica (MJ);

MET = taxa metabólica no repouso;

M = massa corporal (kg);

T = tempo (h);

F = fator de equivalência;

NP = número de pessoas;

ND = número de dias.

#### 5.5.4 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de máquinas e equipamentos:

A metodologia adotada para os cálculos da depreciação energética relativa às máquinas e equipamentos seguiu Moreira (2005), com adaptações. Os cálculos de energia indireta embutida foram baseados na massa multiplicada pelos seus respectivos coeficientes energéticos. Isto é multiplicado pelas horas de utilização e em função da vida útil. O acréscimo de 5% de “a” corresponde ao custo com reparos e 12% de “a + b + c” corresponde ao custo com manutenção. Para determinação do consumo energético das máquinas e equipamentos foram adotadas as Equações 18, 19 e 20:

$$EIIME = [(a + b + c + d) \cdot VU^{-1}] \cdot T \cdot F \cdot Ne \quad (18)$$

$$a = mme \cdot CE \quad (19)$$

b = 5% de “a”;

$$c = np \cdot mp \cdot CE \quad (20)$$

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

Onde:

EIIME =	energia indireta industrial de máquinas e equipamentos (MJ);
mme =	massa das máquinas e equipamentos (kg);
CE =	coeficiente energético de referência (MJ kg <sup>-1</sup> ), Tabela 23;
np =	número de pneus;
mp =	massa do pneu (kg);
VU =	vida útil (h).
T =	tempo de trabalho (h);
F =	fator de equivalência de carga;
Ne =	número de equipamentos.

A Tabela 23 apresenta os coeficientes energéticos utilizados nas equações 19 e 20.

**Tabela 23** - Coeficientes energéticos (MJ kg<sup>-1</sup>) correspondentes a cada tipo de material utilizado nas depreciações energéticas de máquinas ou equipamentos.

Máquinas e equipamentos	Material	coeficiente energético
Bitrem - cavalo mecânico	aço	62,79
Bitrem – semi reboques	aço	62,79
Pneu dos Bitrens	borracha	85,81
Comboio fluvial	aço	62,79
Bombas do comboio fluvial	aço	62,79
Redes do comboio fluvial	aço	62,79
Drop lines do comboio fluvial	aço	62,79
Portão de eclusa à Jusante	aço	62,79
Portão de eclusa à Montante	aço	62,79
Locomotiva do comboio ferroviário	aço	62,79
Tanques do comboio ferroviário	aço	62,79
Alcooduto	aço	62,79
Bombas <i>booster</i> do alcooduto	aço	62,79
Válvula de bloqueio do alcooduto	aço	62,79

Fonte: O autor.

### 5.5.5 Energia do tipo indireta de fonte industrial sob a forma de depreciação de rodovias, hidrovias, ferrovias e dutovias:

A metodologia adotada para os cálculos foi a depreciação monetária considerando o valor residual igual a zero, com adaptações. O valor monetário foi convertido em energia pela "intensidade energética", isto é, a energia consumida no Brasil em 2011 dividida pelo produto interno bruto em 2011.

A energia consumida no Brasil em 2011 foi de 10,36 trilhões de MJ (BRASIL, 2012), enquanto que o produto interno bruto do Brasil em 2011 foi de 4,14 trilhões de Reais (IBGE, 2012). O percentual de energia consumida pelo setor de transporte em 2011 foi de 30% do total, enquanto que o percentual do PIB relacionado ao transporte em 2011 foi de, aproximadamente, 5% do total.

Assim, a depreciação das vias, foi calculada da seguinte maneira:

a) Hidrovia: O custo de implantação do trecho é de, aproximadamente, 34.000 US\$ km<sup>-1</sup> (ABAG, 2005), multiplicado pela sua distância. O resultado obtido dividiu-se pela sua vida útil, em anos de uso, que seria de, aproximadamente, 100 anos (FIGUEIREDO JUNIOR, 2013). Em seguida, este valor foi dividido pela quantidade média de veículos que trafegam por hora pelo trecho que é de 0,33 (FIGUEIREDO JUNIOR, 2013). Para finalizar, multiplicou-se pelo fator de equivalência de carga do modal e pela “intensidade energética” (14,81 MJ R\$<sup>-1</sup>).

b) Rodovia: O custo de implantação do trecho é de, aproximadamente, 440.000 US\$ km<sup>-1</sup> (ABAG, 2005), multiplicado pela sua distância. O resultado obtido dividiu-se pela sua vida útil, em anos de uso, que é de, aproximadamente, 10 anos (FIGUEIREDO JUNIOR, 2013). Em seguida, este valor foi dividido pela quantidade média de veículos que trafegam por hora pelo trecho que é de 2.833,33 (CENTROVIAS, 2013). Para finalizar a conversão, multiplicou-se pelo fator de equivalência de carga do modal e pela “intensidade energética” (14,81 MJ R\$<sup>-1</sup>).

c) Ferrovia: O custo de implantação do trecho é de, aproximadamente, 1.400.000 US\$ km<sup>-1</sup> (ABAG, 2005), multiplicado pela sua distância. O resultado dividiu-se pela sua vida útil, em anos de uso, que é de, aproximadamente, 50 anos (WEINGARTNER, 2013). Em seguida, este valor foi dividido pela quantidade média de veículos que trafegam por hora pelo trecho que é de 0,25 (WEINGARTNER, 2013). Para finalizar a conversão, multiplicou-se pelo fator de equivalência de carga do modal e pela “intensidade energética” (14,81 MJ R\$<sup>-1</sup>).



c) Dutovia: O custo de implantação do trecho é de, aproximadamente, 1.500.000 US\$ km<sup>-1</sup> (SÃO PAULO, 2012), multiplicado pela sua distância. O resultado dividiu-se pela sua vida útil, em anos de uso, que é de, aproximadamente, 40 anos (CERNE, 2000). Em seguida, este valor foi dividido pela quantidade média de veículos que trafegam por hora pelo trecho que é de 1 (um). Para finalizar a conversão, multiplicou-se pelo fator de equivalência de carga do modal e pela “intensidade energética” (14,81 MJ R\$<sup>-1</sup>).

A conversão foi feita através das Equações 21 e 22:

$$EIIM = IE \cdot F \cdot \{[(CIT \cdot D) \cdot PM \cdot VU^{-1}] \cdot Vh^{-1}\} \quad (21)$$

$$IE = ECB \cdot PIB^{-1} \quad (22)$$

Onde:

EIIM =	energia indireta industrial de manutenção (MJ);
IE =	intensidade Energética (MJ R\$ <sup>-1</sup> );
F =	fator de equivalência de carga;
ECB =	energia consumida no Brasil em 2011 (MJ);
PIB =	produto interno bruto do Brasil em 2011 (R\$);
CIT =	custo de implantação do trecho (R\$ km <sup>-1</sup> );
D =	distância do trecho (km);
PM =	percentual de manutenção;
VU =	vida útil (h);
Vh =	veículos por hora;

## 5.6 Indicadores de eficiência energética

Serão construídos indicadores energéticos no sentido de mensurar e comparar relações e grandezas que “entram” e “saem” de sistemas produtivos. Para a análise foram determinados os seguintes indicadores:

### 5.6.1 Balanço energético renovável comparativo às entradas de energias fósseis

A determinação será feita através da Equação 23:

$$BEr = \Sigma SERT - \Sigma EENRT \quad (23)$$

Onde:

BEr = balanço energético renovável (MJ);

$\Sigma SERT$  = somatório da “saída” energética renovável total (MJ);

$\Sigma EENRT$  = somatório das “entradas” energéticas não-renováveis totais (MJ).

### 5.6.2 Balanço energético líquido comparativo às entradas de energias totais

A determinação será feita através da Equação 24:

$$BEI = \Sigma SERT - \Sigma EET \quad (24)$$

Onde:

BEI = balanço energético líquido (MJ);

$\Sigma SERT$  = somatório da “saída” energética renovável total (MJ);

$\Sigma EET$  = somatório das “entradas” energéticas totais (MJ).

### 5.6.3 Eficiência energética renovável comparativa às entradas de energias fósseis

A determinação será feita através da Equação 25:

$$EEr = \Sigma SERT * \Sigma EENRT^{-1} \quad (25)$$

Onde:

EEr = eficiência energética renovável;  
 $\Sigma$ SERT = somatório da “saída” energética renovável total (MJ);  
 $\Sigma$ EENRT = somatório das “entradas” energéticas não-renováveis totais (MJ).

#### 5.6.4 Eficiência energética global comparativa às entradas de energias totais

A determinação será feita através da Equação 26:

$$EEg = \Sigma SERT * \Sigma EET^{-1} \quad (26)$$

Onde:

EEg = eficiência energética global;  
 $\Sigma$ SERT = somatório da “saída” energética renovável total (MJ);  
 $\Sigma$ EET = somatório das “entradas” energéticas não-renováveis totais (MJ).

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Demandas energéticas das rotas estudadas**

#### **6.1.1 Multimodalidade pela R1 (H-D-R)**

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte no 1º trecho (hidroviário) pela R1 multimodal (hidro-duto-rodoviária), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 24.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo direta (97,56%), representada pela fonte fóssil (99,85%), sob a forma de óleo diesel (98,23%). Tal demanda pode ser explicada pelo alto consumo de combustível ( $246 \text{ L h}^{-1}$ ).

A participação de energia do tipo indireta (2,44%) foi baixa em relação à direta, sendo resultante do número de máquinas e equipamentos (89,76%), bem como, pela depreciação da hidrovia (10,24%).

A participação de energia do tipo direta de fonte elétrica (0,02%), também foi baixa em relação a direta de fonte fóssil.

A fonte de energia biológica (0,12%), representada pela mão de obra, também apresentou baixa participação.

**Tabela 24** - Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **hidroviário R1 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**.

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>1.780.557,61</u></b>	<b><u>97,56</u></b>
Elétrica	367,50	0,02
Portão eclusa à jusante	306,25	83,33
Portão eclusa à montante	61,25	16,67
Fóssil	1.778.030,19	99,85
Óleo diesel	1.746.591,54	98,23
Lubrificante	31.438,65	1,77
Biológica	2.159,92	0,12
Mão-de-obra	2.159,92	100,00
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>44.593,43</u></b>	<b><u>2,44</u></b>
Industrial	40.025,85	89,76
Comboio hidroviário	39.972,61	99,87
Portão eclusa à jusante	26,62	0,07
Portão eclusa à montante	26,62	0,07
Industrial de depreciação	4.567,58	10,24
Hidrovia	4.567,58	100,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1.825.151,04</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte no 2º trecho (dutoviário) pela R1 multimodal (hidro-duto-rodoviária), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 25.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo indireta (99,67%), representada pela fonte industrial (93,66%). Tal demanda é explicada pela grande quantidade de aço para a construção dos alcodutos.

A participação de energia do tipo direta (0,33%) foi baixa em relação à indireta, devido a dutovia não utilizar óleo diesel para a condução do etanol.

**Tabela 25** -Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **dutoviário R1 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP).**

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>952,01</u></b>	<b><u>0,33</u></b>
Elétrica	885,06	92,97
Bomba hidráulica	885,06	100,00
Biológica	66,95	7,03
Mão-de-obra	66,95	100,00
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>290.387,32</u></b>	<b><u>99,67</u></b>
Industrial	271.974,42	93,66
Alcooduto	271.974,42	100,00
Industrial de depreciação	18.412,90	6,34
Dutovia	18.412,90	100,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>291.339,33</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte no 3º trecho (rodoviário) pela R1 multimodal (hidro-duto-rodoviaria), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 26.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo direta (98,56%), representada pela fonte fóssil (99,06%), sob a forma de óleo diesel (99,11%). Tal demanda pode ser explicada pelo alto consumo de combustível (1,9 km L<sup>-1</sup>) apresentada pelo bitrem tanque.

A participação de energia do tipo indireta (1,43%) foi baixa em relação à direta, sendo resultante do número de máquinas e equipamentos (82,31%), bem como, pela depreciação da rodovia (17,68%).

**Tabela 26** - Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **rodoviário R1 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP).**

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>2.193.895,49</u></b>	<b><u>98,56</u></b>
Fóssil	2.162.238,10	99,06
Óleo diesel	2.141.890,66	99,11
Lubrificante	19.277,03	0,89
Graxa	1.070,41	0,05

Continua...

**Tabela 26** - Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **rodoviário R1 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**.

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<u>Biológica</u>	<u>10.413,89</u>	<u>0,94</u>
<b>Mão-de-obra</b>	<b>10.413,89</b>	<b>100,00</b>
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>31.657,39</u></b>	<b><u>1,43</u></b>
<u>Industrial</u>	<u>26.058,79</u>	<u>82,31</u>
<b>Bitrem graneleiro</b>	<b>26.058,79</b>	<b>100,00</b>
<u>Industrial de depreciação</u>	<u>5.598,60</u>	<u>17,68</u>
<b>Rodovia</b>	<b>5.598,60</b>	<b>100,00</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>2.225.552,88</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

### 6.1.2 Multimodalidade pela R2 (H-D-F)

As entradas de energia para os dois primeiros trechos desta rota são os mesmos obtidos na R1 (Tabelas 24 e 25) considerando o fator de equivalência.

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte para o 3º trecho (ferroviário) pela R2 multimodal (hidro-duto-ferroviária), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 27.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo direta (72,56%), representada pela fonte fóssil (99,99%), sob a forma de óleo diesel (99,96%). Tal demanda pode ser explicada pelo alto consumo de combustível ( $9 \text{ L km}^{-1}$ ) apresentada pelo comboio ferroviário.

A participação de energia do tipo indireta (27,44%) foi relevante, sendo resultante da grande quantidade de aço das máquinas e equipamentos (5,51%), bem como, pela depreciação da ferrovia (94,49%).

**Tabela 27** - Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **ferroviário R2 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**.

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>956.083,34</u></b>	<b><u>72,56</u></b>
<u>Fóssil</u>	<u>955.985,58</u>	<u>99,99</u>
<b>Óleo diesel</b>	<b>955.603,34</b>	<b>99,96</b>
<b>Lubrificante</b>	<b>382,24</b>	<b>0,04</b>
<u>Biológica</u>	<u>97,76</u>	<u>0,01</u>
<b>Mão-de-obra</b>	<b>97,76</b>	<b>100,00</b>
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>361.558,73</u></b>	<b><u>27,44</u></b>
<u>Industrial</u>	<u>19.937,56</u>	<u>5,51</u>
<b>Comboio ferroviário</b>	<b>19.937,56</b>	<b>100,00</b>
<u>Industrial de depreciação</u>	<u>341.621,17</u>	<u>94,49</u>
<b>Ferrovia</b>	<b>341.621,17</b>	<b>100,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.317.642,07</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

### 6.1.3 Multimodalidade pela R3 (H-D-D)

As entradas de energia para os dois primeiros trechos desta R3 são os mesmos obtidos na R1 (Tabelas 24 e 25) considerando o fator de equivalência.

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte para o 3º trecho (dutivoário) pela R3 multimodal (hidro-duto-dutivoária), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 28.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo indireta (99,81%), representada pela fonte industrial (96,41%). Tal demanda é explicada pela grande quantidade de aço para a construção dos alcodutos.

A participação de energia do tipo direta (0,19%) foi baixa em relação à indireta, devido a dutovia não utilizar óleo diesel para a condução do etanol.



**Tabela 28** -Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **dutoviário R3 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP).**

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>1.791,78</u></b>	<b><u>0,19</u></b>
<u>Elétrica</u>	<u>1.609,2</u>	<u>89,81</u>
<b>Bomba hidráulica</b>	<b>1.609,2</b>	<b>100,00</b>
<u>Biológica</u>	<u>182,58</u>	<u>10,19</u>
<b>Mão-de-obra</b>	<b>182,58</b>	<b>100,00</b>
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>932.607,87</u></b>	<b><u>99,81</u></b>
<u>Industrial</u>	<u>899.129,86</u>	<u>96,41</u>
<b>Alcooduto</b>	<b>899.129,86</b>	<b>100,00</b>
<u>Industrial de depreciação</u>	<u>33.478,01</u>	<u>3,59</u>
<b>Dutovia</b>	<b>33.478,01</b>	<b>100,00</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>934.399,65</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

#### **6.1.4 Unimodalidade pela R4 (R-R)**

As entradas de energia para o 2º trecho (rodoviário) desta R4 são os mesmos obtidos no 3º trecho da R1 (Tabela 26) considerando o fator de equivalência.

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte para o 1º trecho (rodoviário) pela rota 4 unimodal (rodo-rodoviária), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 29.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo direta (99,11%), representada pela fonte fóssil (99,77%), sob a forma de óleo diesel (99,11%). Tal demanda pode ser explicada pelo alto consumo de combustível (1,9 km L<sup>-1</sup>) apresentada pelo bitrem tanque.

A participação de energia do tipo indireta (0,89%) foi baixa em relação à direta, sendo resultante do número de máquinas e equipamentos (81,92%), bem como, pela depreciação da rodovia (18,08%).

**Tabela 29** -Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **rodoviário R4 unimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP).**

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>13.045,19</u></b>	<b><u>99,11</u></b>
<u>Fóssil</u>	<u>12.984,76</u>	<u>99,77</u>
<b>Óleo diesel</b>	<b>12.862,57</b>	<b>99,11</b>
<b>Lubrificante</b>	<b>115,76</b>	<b>0,89</b>
<b>Graxa</b>	<b>6,43</b>	<b>0,05</b>
<u>Biológica</u>	<u>60,86</u>	<u>0,23</u>
<b>Mão-de-obra</b>	<b>60,86</b>	<b>100,00</b>
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>185,91</u></b>	<b><u>0,89</u></b>
<u>Industrial</u>	<u>152,29</u>	<u>81,92</u>
<b>Bitrem graneleiro</b>	<b>152,29</b>	<b>100,00</b>
<u>Industrial de depreciação</u>	<u>33,62</u>	<u>18,08</u>
<b>Rodovia</b>	<b>33,62</b>	<b>100,00</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>13.231,53</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

### **6.1.5 Multimodalidade pela R5 (R-F)**

As entradas de energia para o 1º trecho (rodoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 1º trecho da R4 (Tabela 29) considerando o fator de equivalência e as entradas de energia para o 2º trecho (ferroviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R2 (Tabela 27) considerando o fator de equivalência.

### **6.1.6 Multimodalidade pela R6 (R-D)**

As entradas de energia para o 1º trecho (rodoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 1º trecho da R4 (Tabela 29) considerando o fator de equivalência e as entradas de energia para o 2º trecho (dutoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R3 (Tabela 28) considerando o fator de equivalência.

### 6.1.7 Multimodalidade pela R7 (F-R)

As entradas de energia para o 2º trecho (rodoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R1 (Tabela 26) considerando o fator de equivalência.

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte para o 1º trecho (ferroviário) desta R7 multimodal (ferro-rodoviária), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 30.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo direta (72,48%), representada pela fonte fóssil (99,99%), sob a forma de óleo diesel (99,96%). Tal demanda pode ser explicada pelo alto consumo de combustível (9 L km<sup>-1</sup>) apresentada pelo comboio ferroviário.

A participação de energia do tipo indireta (27,52%) foi relevante, sendo resultante da grande quantidade de aço das máquinas e equipamentos (5,87%), bem como, pela depreciação da ferrovia (94,13%).

**Tabela 30** - Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **ferroviário R7 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**.

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>765.297,26</u></b>	<b><u>72,48</u></b>
<u>Fóssil</u>	<u>765.213,58</u>	<u>99,99</u>
<b><u>Óleo diesel</u></b>	<b><u>764.907,62</u></b>	<b><u>99,96</u></b>
<b><u>Lubrificante</u></b>	<b><u>305,96</u></b>	<b><u>0,04</u></b>
<u>Biológica</u>	<u>83,68</u>	<u>0,01</u>
<b><u>Mão-de-obra</u></b>	<b><u>83,68</u></b>	<b><u>100,00</u></b>
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>290.516,02</u></b>	<b><u>27,52</u></b>
<u>Industrial</u>	<u>17.067,17</u>	<u>5,87</u>
<b><u>Comboio ferroviário</u></b>	<b><u>17.067,17</u></b>	<b><u>100,00</u></b>
<u>Industrial de depreciação</u>	<u>273.448,85</u>	<u>94,13</u>
<b><u>Ferrovia</u></b>	<b><u>273.448,85</u></b>	<b><u>100,00</u></b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.055.813,28</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

### 6.1.8 Unimodalidade pela R8 (F-F)

As entradas de energia para o 1º trecho (ferroviário) desta rota são os mesmos obtidos no 1º trecho da R7 (Tabela 30) considerando o fator de equivalência e

as entradas de energia para o 2º trecho (ferroviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R2 (Tabela 27) considerando o fator de equivalência.

### 6.1.9 Multimodalidade pela R9 (F-D)

As entradas de energia para o 1º trecho (ferroviário) desta rota são os mesmos obtidos no 1º trecho da R7 (Tabela 30) considerando o fator de equivalência e as entradas de energia para o 2º trecho (dutoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R3 (Tabela 28) considerando o fator de equivalência.

### 6.1.10 Multimodalidade pela R10 (D-R)

As entradas de energia para o 2º trecho (rodoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R1 (Tabela 26) considerando o fator de equivalência.

As demandas de energia, por tipo, fonte e forma, e participações percentuais nas operações de transporte para o 1º trecho (dutoviário) nesta R10 multimodal (duto-rodoviária), de Aparecida do Taboado (MS) ao porto de São Sebastião (SP), são apresentadas na Tabela 31.

Analisando-se os dados, verifica-se uma maior participação de energia do tipo indireta (99,91%), representada pela fonte industrial (98,52%). Tal demanda é explicada pela grande quantidade de aço para a construção dos alcoodutos.

A participação de energia do tipo direta (0,09%) foi baixa em relação à indireta, devido a dutovia não utilizar óleo diesel para a condução do etanol.

**Tabela 31** - Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **dutoviário R10 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**.

<u>TIPO, fonte e forma</u>	<u>Entradas de energia</u>	
	(MJ)	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>4.886,55</u></b>	<b><u>0,09</u></b>
Elétrica	3.982,77	81,50
Bomba hidráulica	3.982,77	100,00
Biológica	903,78	18,50
Mão-de-obra	903,78	100,00

Continua...

**Tabela 31** - Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ, e participações percentuais na operação de transporte **dutoviário R10 multimodal de Aparecida do Taboado (MS) à São Sebastião (SP)**

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>Entradas de energia</b>	
	(MJ)	(%)
<b>ENERGIA INDIRETA</b>	<b>5.618.825,73</b>	<b>99,91</b>
Industrial	5.535.549,19	98,52
Alcooduto	5.535.549,19	100,00
Industrial de depreciação	83.276,54	1,48
Dutovia	83.276,54	100,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>5.623.712,28</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor.

### 6.1.11 Multimodalidade pela R11 (D-F)

As entradas de energia para o 1º trecho (dutoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 1º trecho da R10 (Tabela 31) considerando o fator de equivalência e as entradas de energia para o 2º trecho (ferroviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R2 (Tabela 27) considerando o fator de equivalência.

### 6.1.12 Unimodalidade pela R12 (D-D)

As entradas de energia para o 1º trecho (dutoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 1º trecho da R10 (Tabela 31) considerando o fator de equivalência e as entradas de energia para o 2º trecho (dutoviário) desta rota são os mesmos obtidos no 3º trecho da R3 (Tabela 28) considerando o fator de equivalência.

### 6.1.13 Análise comparativa das demandas energéticas

Ao compararmos as 12 rotas estudadas, adotou-se um “fator de equivalência de carga”, deixando cada rota de transporte em condições semelhantes de carga transportada. Assim, o fator de equivalência igual a 1 (carga de referência) prevaleceu sempre na rota 12 (R12) onde transportou-se o maior volume de etanol.

Analisando-se os dados na Tabela 32, verifica-se uma maior participação de energia consumida de mão-de-obra na R4, justificada pelo alto fator de equivalência de carga transportada pelo modal rodoviário.

Na análise comparativa para fonte elétrica, verifica-se uma maior participação de energia consumida na R3, pelo fato das bombas hidráulicas do alcooduto necessitarem alta demanda de energia elétrica para conduzir o etanol da origem ao destino.

Os dados compilados na fonte fóssil verifica-se uma maior participação de energia consumida na R4, devido ao fato do alto fator de equivalência de carga transportada pelo modal rodoviário.

Comparando as entradas para fonte industrial sob a forma de máquinas e equipamentos, a R12 demandou mais energia. Isto se deve ao fato do alcooduto contemplar muita massa de aço na fabricação.

Finalmente, na fonte industrial sob a forma de vias, a R8 foi a maior. Isto é justificado pelo fato de que a ferrovia demanda um alto valor econômico na implantação dos seus trechos.

**Tabela 32 - Análise comparativa entre entradas de energia por modal estudado em valores absolutos das 12 rotas.**

<b>Rota</b>	<b>Fonte</b>	<b>(MJ)</b>
1.	Mão-de-obra	79.888,71
	Elétrica	7.916,12
	Fóssil	24.902.497,24
	Industrial (comboio hidro + alcooduto + bitrem)	2.136.541,16
	Industrial (hidrovia + dutovia + rodovia)	180.598,93
2.	Mão-de-obra	14.691,66
	Elétrica	7.916,12
	Fóssil	17.278.979,60
	Industrial (comboio hidro + alcooduto + c. ferro)	2.097.847,09
	Industrial (hidrovia + dutovia + ferrovia)	2.304.282,37
3.	Mão-de-obra	14.558,83
	Elétrica	13.407,39
	Fóssil	11.120.133,63
	Industrial (comboio hidro + alcooduto + alcooduto)	5.060.054,45
	Industrial (hidrovia + dutovia + dutovia)	259.680,26
4.	Mão-de-obra	197.389,06
	Elétrica	0
	Fóssil	41.737.397,53
	Industrial (bitrem)	493.937,54
	Industrial (rodovia)	108.046,13

Continua...

**Tabela 32 - Análise comparativa entre entradas de energia por modal estudado em valores absolutos das 12 rotas.**

<b>Rota</b>	<b>Fonte</b>	<b>(MJ)</b>
5.	Mão-de-obra	132.152,03
	Elétrica	0
	Fóssil	34.093.469,66
	Industrial (bitrem + comboio ferroviário)	454.895,39
	Industrial (rodovia + ferrovia)	2.227.401,03
6.	Mão-de-obra	131.275,57
	Elétrica	5.551,74
	Fóssil	27.873.851,93
	Industrial (bitrem + alcooduto)	3.428.912,70
	Industrial (rodovia + dutovia)	187.669,82
7.	Mão-de-obra	67.124,15
	Elétrica	0
	Fóssil	26.059.658,31
	Industrial (comboio ferroviário + bitrem)	441.240,25
	Industrial (ferrovia + rodovia)	4.467.942,85
8.	Mão-de-obra	1.973,08
	Elétrica	0
	Fóssil	18.433.888,8
	Industrial (comboio ferroviário)	402.412,93
	Industrial (ferrovia)	6.587.344,75
9.	Mão-de-obra	1.453,21
	Elétrica	0
	Fóssil	12.350.536,63
	Industrial (comboio ferroviário + alcooduto)	275.240,41
	Industrial (ferrovia + dutovia)	4.405.727,56
10.	Mão-de-obra	47.765,98
	Elétrica	3.982,77
	Fóssil	9.730.135,80
	Industrial (alcooduto + bitrem)	5.652.820,19
	Industrial (dutovia + rodovia)	108.455,54
11.	Mão-de-obra	1.343,14
	Elétrica	3.982,77
	Fóssil	4.296.355,37
	Industrial (alcooduto + comboio ferroviário)	5.625.151,90
	Industrial (dutovia + ferrovia)	1.618.577,85
12.	Mão-de-obra	1.356,58
	Elétrica	7.973,59
	Fóssil	0
	Industrial (alcooduto)	7.765.391,24
	Industrial (dutovia)	166.302,00

Fonte: O autor.

## 6.2 Análise comparativa do consumo específico de energia

O consumo específico de energia, em ( $\text{MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) das 12 rotas pode ser encontrado na Tabela 33.

Analisando-se os dados, verifica-se maior participação de energia consumida na R4 (rodo-rodoviária), com um consumo específico ( $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ). Tal demanda é explicada, principalmente, devido ao fato do modal rodoviário ser o de maior consumo de energia fóssil, mais precisamente, óleo diesel e, por ser uma rota unimodal, transportar um volume de carga menor (relativo aos outros modais) ao longo de todo o percurso.

A menor participação de energia consumida foi a R12 (duto-dutoviária), com um consumo específico ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ). Isto se explica, principalmente, devido ao modal dutoviário não demandar energia fóssil, mas também por ser uma rota unimodal que transporta um alto volume de carga ao longo do percurso total, comparado aos outros modais.

Analisando-se a R1, verifica-se que o valor final atingido ( $0,28 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho hidroviário ( $0,20 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (584 km) por este modal. O trecho rodoviário (272 km), com um consumo específico de energia ( $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) cerca de quatro vezes maior que o trecho dutoviário ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) e com extensão duas vezes superior ao trecho dutoviário (132 km), fez com que o consumo final de energia específica ( $0,28 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ), fosse o dobro em relação ao consumo do trecho dutoviário ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ).

Ao Analisar-se a R2, verifica-se que o valor final atingido ( $0,22 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho hidroviário ( $0,20 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (584 km) por este modal. O trecho ferroviário (315 km), com um consumo específico de energia ( $0,27 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) e com extensão duas vezes superior ao trecho dutoviário (132 km) que ficou com consumo específico de ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ), fez com que o consumo final de energia específica ( $0,22 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ), ficasse entre os consumos energéticos específicos hidro e ferroviário.

Pela R3, verifica-se que o valor final atingido ( $0,18 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho hidroviário ( $0,20 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (584 km) por este modal. Porém, os trechos dutoviários (132 e 240 km), com consumos específicos de energia ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ), fizeram com



que o consumo final de energia específica ( $0,18 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ), ficasse abaixo do consumo energético específico hidroviário.

Já a R4 unimodal rodoviária, verifica-se a maior participação de energia consumida pelas 12 rotas, com um consumo específico ( $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ). Tal demanda é explicada pelo alto consumo de energia fóssil, mais precisamente, óleo diesel e movimentar ao longo do percurso baixo volume relativo de carga etanol.

Na R5, verifica-se que o valor final atingido ( $0,43 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho rodoviário ( $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (559 km) por este modal.

Ao analisarmos a R6, verifica-se que o valor final atingido ( $0,40 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho rodoviário ( $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (559 km) por este modal.

Analisando-se a R7, verifica-se que o valor final atingido ( $0,35 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho ferroviário ( $0,27 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (648 km) por este modal.

Ao analisar-se a R8 unimodal ferroviária, verifica-se que o valor final atingido foi ( $0,27 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ). Tal demanda esta entre, o menor valor ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) representada pela rota 12 unimodal dutoviária e o maior valor ( $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) pela rota 4 unimodal rodoviária, entre as 12 rotas estudadas.

Analisando-se a R9, verifica-se que o valor final atingido ( $0,24 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho ferroviário ( $0,27 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (648 km) por este modal.

Na R10, verifica-se que o valor final atingido ( $0,26 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho dutoviário ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (597 km) por este modal.

Pela R11, verifica-se que o valor final atingido ( $0,18 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) ficou mais próximo do consumo específico do trecho dutoviário ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ) devido a maior extensão percorrida (597 km) por este modal.

Finalmente, analisando-se a R12 unimodal dutoviária, verifica-se a menor participação de energia consumida pelas 12 rotas, com um consumo específico ( $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ ). Tal demanda é explicada pela ausência de entradas de energia fóssil e movimentar altos volumes de carga em relação aos outros modais.

**Tabela 33** -Análise comparativa entre as 12 rotas de transporte multimodal de Aparecida do Taboado (MS) ao Porto de São Sebastião (SP).

Rota	Entradas de energia			
	(MJ)	(km)	(MJ km <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> )	
1.	SUBTOTAL H	1.825.151,04	584	0,20
	SUBTOTAL D	291.339,33	132	0,14
	SUBTOTAL R	2.225.552,88	272	0,53
	<b>TOTAL</b>	<b>4.342.043,25</b>	<b>988</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,28</b>
2.	SUBTOTAL H	1.825.151,04	584	0,20
	SUBTOTAL D	291.339,33	132	0,14
	SUBTOTAL F	1.317.642,07	315	0,27
	<b>TOTAL</b>	<b>3.434.132,44</b>	<b>1031</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,22</b>
3.	SUBTOTAL H	3.308.658,70	584	0,20
	SUBTOTAL D (1º trecho)	527.324,18	132	0,14
	SUBTOTAL D (2º trecho)	934.399,65	240	0,14
	<b>TOTAL</b>	<b>4.770.382,54</b>	<b>956</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,18</b>
4.	SUBTOTAL R (1º trecho)	13.231,53	559	0,53
	SUBTOTAL R (2º trecho)	6.434,14	272	0,53
	<b>TOTAL</b>	<b>19.665,67</b>	<b>831</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,53</b>
5.	SUBTOTAL R	1.760.102,66	559	0,53
	SUBTOTAL F	512.701,19	315	0,27
	<b>TOTAL</b>	<b>2.272.803,85</b>	<b>874</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,43</b>
6.	SUBTOTAL R	8.213.988,43	559	0,53
	SUBTOTAL D	934.399,65	240	0,14
	<b>TOTAL</b>	<b>9.148.388,08</b>	<b>799</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,40</b>
7.	SUBTOTAL F	1.055.813,28	648	0,27
	SUBTOTAL R	857.863,89	272	0,53
	<b>TOTAL</b>	<b>1.913.677,17</b>	<b>920</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,35</b>
8.	SUBTOTAL F (1º trecho)	1.055.813,28	648	0,27
	SUBTOTAL F (2º trecho)	512.701,19	315	0,27
	<b>TOTAL</b>	<b>1.568.514,47</b>	<b>963</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,27</b>
9.	SUBTOTAL F	4.930.648,02	648	0,27
	SUBTOTAL D	934.399,65	240	0,14
	<b>TOTAL</b>	<b>5.865.047,67</b>	<b>888</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,24</b>

Continua...

**Tabela 33** -Análise comparativa entre as 12 rotas de transporte multimodal de Aparecida do Taboado (MS) ao Porto de São Sebastião (SP).

Rota	Entradas de energia			
	(MJ)	(km)	(MJ km <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> )	
<b>10.</b>	SUBTOTAL D	5.623.712,28	597	0,14
	SUBTOTAL R	9.908.575,60	272	0,53
	<b>TOTAL</b>	<b>15.532.287,88</b>	<b>869</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,26</b>
<b>11.</b>	SUBTOTAL D	5.623.712,28	597	0,14
	SUBTOTAL F	5.896.063,69	315	0,27
	<b>TOTAL</b>	<b>11.519.775,97</b>	<b>912</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,18</b>
<b>12.</b>	SUBTOTAL D (1º trecho)	5.623.712,28	597	0,14
	SUBTOTAL D (2º trecho)	2.317.311,13	240	0,14
	<b>TOTAL</b>	<b>7.941.023,41</b>	<b>837</b>	
	<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>			<b>0,14</b>

Fonte: O autor.

### 6.3 Indicadores de balanço e eficiência energética

O Ganho Energético líquido (GEl), a Eficiência Energética global (EEg), o Balanço Energético renovável (BEr) e a Eficiência Energética renovável (EEr) das 12 rotas pode ser encontrado na Tabela 34 e Figuras 32 e 33.

Analisando-se os dados, verifica-se que a R12 é a melhor classificada dentre todas. Isto se deve ao fato dela ser uma rota unimodal dutoviária, energeticamente mais viável e principalmente por não utilizar óleo diesel para transportar etanol. Verifica-se que R3 e R11, também, são bem classificadas. Explica-se por serem rotas que contêm trechos dutoviários, hidroviários e ferroviários. Os modais hidroviário e ferroviário utilizam óleo diesel para transportar etanol, mas em comparação ao modal rodoviário, são mais econômicos energeticamente.

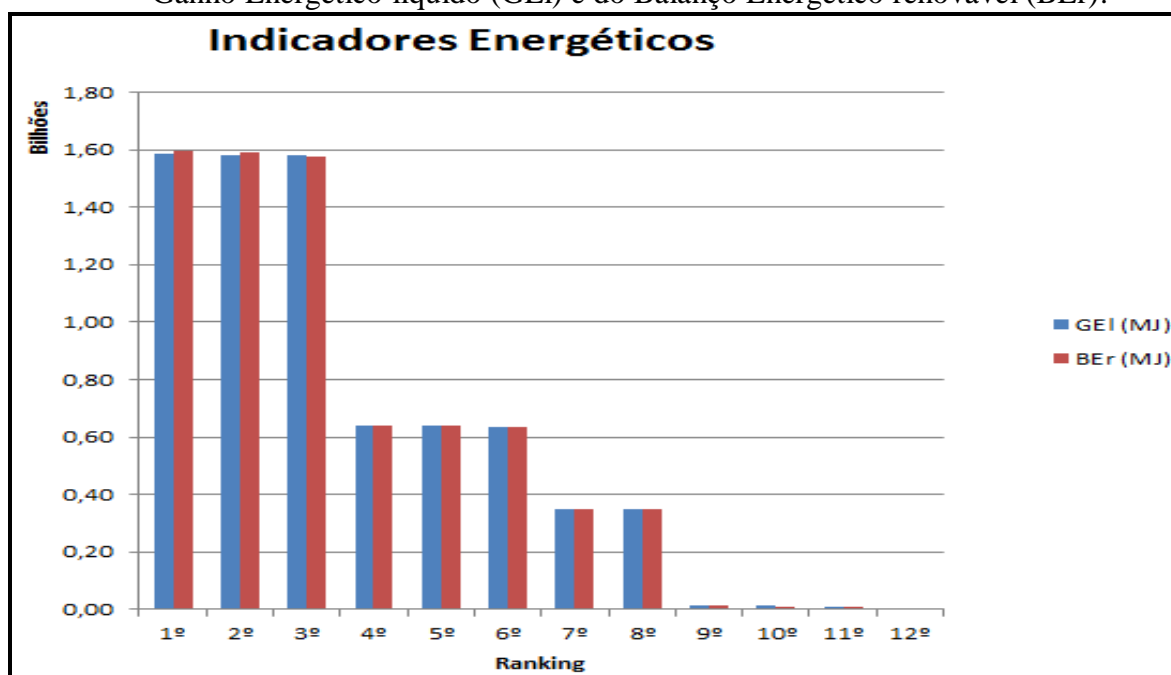
Por outro lado, verifica-se que a R4 é a pior classificada dentre todas. Isto se deve ao fato dela ser uma rota unimodal rodoviária, muito dependente do óleo diesel. Também é verificado entre as piores rotas, R5 e R7. Explica-se por serem rotas que contêm trechos rodoviários relativamente extensos.

**Tabela 34** - *Ranking* comparativo entre as 12 rotas, obtido a partir dos indicadores de balanço e eficiência energética.

GEI (MJ)	EEg	BEr (MJ)	EEr
1.585.958.977,00 (R12)	200,72 (R12)	1.593.900.000,00 (R12)	----- (R12)
1.582.380.224,00 (R11)	138,36 (R11)	1.589.603.645,00 (R11)	370,99 (R11)
1.578.367.712,00 (R10)	134,99 (R10)	1.573.903.470,00 (R3)	199,80 (R3)
639.229.617,50 (R3)	109,80 (R3)	640.776.772,90 (R9)	180,21 (R9)
638.134.952,30 (R9)	103,14 (R9)	640.426.452,60 (R2)	129,55 (R2)
634.851.611,90 (R6)	102,62 (R6)	635.920.622,60 (R10)	89,94 (R1)
350.765.867,60 (R2)	82,02 (R2)	351.465.984,20 (R1)	79,71 (R10)
349.881.616,90 (R1)	70,39 (R1)	350.262.148,30 (R6)	79,71 (R6)
12.231.485,53 (R8)	52,71 (R8)	12.662.807,60 (R4)	53,64 (R4)
11.886.322,83 (R7)	8,79 (R5)	11.696.763,12 (R8)	12,14 (R8)
11.527.196,15 (R5)	7,21 (R7)	11.303.528,37 (R7)	6,56 (R5)
1.015.364,76 (R4)	6,07 (R4)	1.015.704,03 (R5)	5,52 (R7)

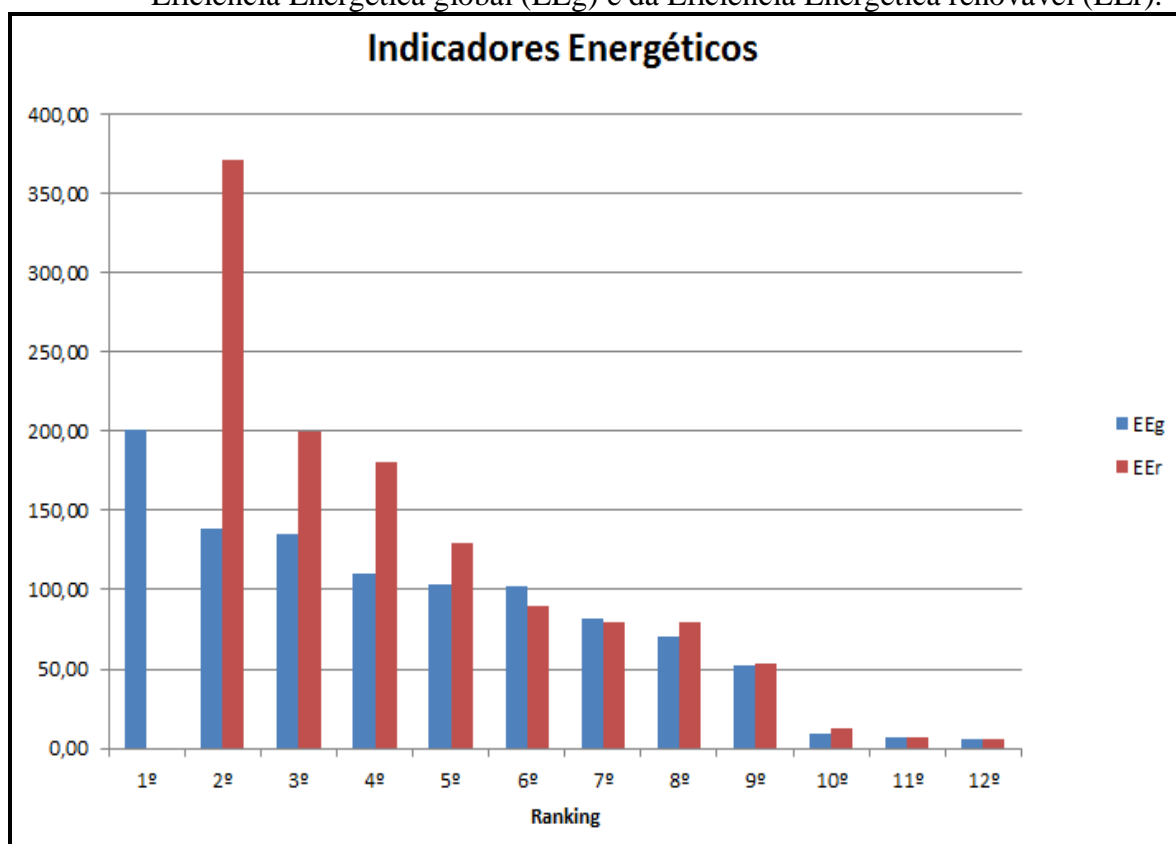
Fonte: O autor.

**Figura 32** – Gráfico mostrando o *Ranking* comparativo das 12 rotas estudadas, a partir do Ganho Energético líquido (GEI) e do Balanço Energético renovável (BEr).



Fonte: O autor.

**Figura 33** - Gráfico mostrando o *Ranking* comparativo das 12 rotas estudadas, a partir da Eficiência Energética global (EEg) e da Eficiência Energética renovável (EEr).



Fonte: O autor.

## 7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas discussões apresentadas no estudo das 12 rotas multimodais de transporte para o escoamento do etanol para exportação, podem-se destacar as seguintes conclusões:

A maior participação de energia consumida de mão-de-obra foi na R4, rodo-rodoviária. Na fonte elétrica, verifica-se uma maior participação de energia consumida na R3, hidro-duto-dutoviária. Para fonte fóssil verifica-se uma maior participação de energia consumida na R4, novamente. Comparando as entradas para fonte industrial sob a forma de máquinas e equipamentos, a R12, demandou mais energia. Finalmente, na fonte industrial sob a forma de vias, a R8, ferro-ferroviária, foi a que consumiu mais energia.

A R4, rodo-rodoviária, atingiu o maior consumo específico de energia com  $0,53 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$  e a R12, duto-dutoviária, teve o menor consumo específico de energia com  $0,14 \text{ MJ km}^{-1} \text{ m}^{-3}$ .

Quando foi contabilizado e comparado o ganho energético líquido, a eficiência energética global, o balanço energético renovável e a eficiência energética renovável, que são indicadores energéticos, nas 12 rotas, obteve-se: a R12, duto-dutoviária, é a melhor classificada dentre todas; a R3, hidro-duto-dutoviária e a R11 (duto-ferroviária), também são bem classificadas; a R4, rodo-rodoviária, é a pior classificada; a R5, rodo-ferroviária, e a R7, ferro-rodoviária, também estão entre as piores classificadas.

O estudo feito neste trabalho confirma a hipótese levantada no início, onde o modal dutoviário seria classificado como o que menos dispense energia e o

modal rodoviário o que mais demanda energia. Gera, também, uma reflexão de cada modal: o modal dutoviário é, sem dúvida, o melhor meio de transporte para produtos granéis líquidos, mesmo sendo alto o valor de implantação de sua via. Em seguida, nota-se que os modais hidroviário e ferroviário, são também energeticamente viáveis em comparação ao modal rodoviário. No modal rodoviário, encontram-se várias desvantagens energéticas, porém este tipo de transporte, quando na ausência de outros tipos de vias, é fundamental para completar a multimodalidade.

Este tipo de estudo demonstra a urgente necessidade de se buscar alternativas de escoamento de produtos em conjunto, tais como, a multimodalidade de transporte, que são mais sustentáveis energeticamente, ou seja, que possibilitem utilização mais racional de recursos naturais não renováveis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAG - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGRONEGÓCIO DA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO. **Informações sobre custo médio de implantação de hidrovias, ferrovia e rodovia.** Comissão de Agricultura, Pecuária, Abastecimento e Desenvolvimento Rural da Câmara dos Deputados. Reunião Ordinária - audiência pública. Ribeirão Preto - SP, mar. 2005.

AES.TIETÊ. **Informações sobre eclusas da hidrovias do Tietê** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <tiete.faleconosco@aes.com> em 10 mai. 2013.

AES.TIETÊ. **Informações sobre tráfego de comboios hidroviários** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <haroldo.silva@aes.com> em 20 jul. 2013.

AHARANA – ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DO PARANÁ: **Informações sobre a hidrovias Paraná.** Disponível em: <[http://www.ahrana.gov.br/a\\_hidrovia.html](http://www.ahrana.gov.br/a_hidrovia.html)>. Acesso em: 13 jul. 2012.

AHINOR - AGÊNCIA HIDROVIÁRIA DO NORDESTE. **Informações sobre custo de manutenção de hidrovias.** Disponível em: <<http://www.ahinor.gov.br/indicadores.html>>. Acesso em: 11 jun. 2013.

AINSWORTH, B.E. et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. **Medicine and Science in Sports and Exercise's.** Indianápolis - USA, v. 25, n. 1, p. 71-80, 1993.

ALCOPAR - ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE ÁLCOOL E AÇÚCAR DO ESTADO DO PARANÁ. **Informações sobre etanol.** Disponível em: <[http://www.alcopar.org.br/produtos/hist\\_produtos.php](http://www.alcopar.org.br/produtos/hist_produtos.php)>. Acesso em: 03 dez. 2012.

ALL - AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA – Empresa de Transporte Ferroviário. **Foto de Locomotiva.** Disponível em: <<http://mundoferreo.wordpress.com/2011/03/03/locomotiva-sd40-all/>>. Acesso em 21 jul. 2012.



ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Despacho do Superintendente nº 1.464, de 14 de setembro de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 set. 2010.

ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Relatório anual de acompanhamento das concessões rodoviárias e ferroviárias e evolução destes**. Brasília, 2009. 20 p.

ARACENA, J. G. N. **Projeto básico do comboio para o sistema multimodal do Tietê-Paraná**. TRANSPETRO: Apresentação Semana da Tecnologia, Jahu, 2011.

ARACENA, J. G. N. **Informações sobre comboio fluvial de etanol – projeto TRANSPETRO**. Out. 2012. Entrevistador: Fábio César Bovolenta. Rio de Janeiro: Congresso Nacional de Engenharia Naval, Rio de Janeiro, 2012.

ARGONESE, A. 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.

BAÊTA, H. N. S.; SILVA, M. G. P. T.; CARVALHO, S. S. **A eficiência energética na execução de um projeto industrial**. Maceió: Centro Universitário CESMAC, 2012. 12 p.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial**. São Paulo: Atlas, 1993. 388 p.

BARAT, J. **O investimento em transporte como fator de desenvolvimento regional: uma análise da expansão rodoviária no Brasil**. Revista Brasileira de Economia, v. 23, n. 3, p. 25-52, 1969.

BARRETO, J. **Logística transmodal**. São Paulo, 2006. 33 p.

BIGARAN, J. T; TIZATO, L. H. G. **Informações sobre custo de implantação da hidrovía Tietê-Paraná**. Disponível em: <<http://esalqlog.esalq.usp.br/A7E19595-B58C-48FE-B46F-7CBF5B6F5673/FinalDownload/DownloadId-075DD4E7551475B26887596E6444A9FB/A7E19595-B58C-48FE-B46F-7CBF5B6F5673/files/biblioteca/arquivo3813.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

BLOGSPOT. **Fotos sobre dutovias**. Disponível em: <[http://2.bp.blogspot.com/\\_FqCetaBxHc/Sg8FML8gKEI/AAAAAAAAAEY/CH4pgfKPbRk/s1600-h/MAX19-041.JPG](http://2.bp.blogspot.com/_FqCetaBxHc/Sg8FML8gKEI/AAAAAAAAAEY/CH4pgfKPbRk/s1600-h/MAX19-041.JPG)>. Acesso em: 10 de jul.

BOVOLENTA, F. C. **Análise energética comparativa na logística de transporte multimodal da soja**. 2007. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BOVOLENTA, F. C, BIAGGIONI, M. A. M. **Análise energética na logística de transporte fluvial do etanol**. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 2012, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Engenharia Naval, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional - BEN 2006**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programs=display.do?chn=88258&pag=9292>>. Acesso em: 13 out. 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – BEN - 1999**. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/49161A6F-49A4-46D7-B92D-A8949358E942/FinalDownload/DownloadId-6849A31A61AF9B3685914C0372FC1D3F/49161A6F-49A4-46D7-B92D-A8949358E942/brasil-rounds/round2/Pdocs/Papresent/ben\\_p99.pdf](http://www.anp.gov.br/49161A6F-49A4-46D7-B92D-A8949358E942/FinalDownload/DownloadId-6849A31A61AF9B3685914C0372FC1D3F/49161A6F-49A4-46D7-B92D-A8949358E942/brasil-rounds/round2/Pdocs/Papresent/ben_p99.pdf)>. Acesso em: 05 mai. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional – BEN - 2011**. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/EE33D585-275D-42C3-8013-556AB755C8CF/FinalDownload/DownloadId-D39F9F06B8F0009D9EAC82B64020A740/EE33D585-275D-42C3-8013-556AB755C8CF/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2\\_-\\_BEN\\_-\\_Ano\\_Base/1\\_-\\_BEN\\_Portugues\\_-\\_Inglxs\\_-\\_Completo.pdf](http://www.mme.gov.br/EE33D585-275D-42C3-8013-556AB755C8CF/FinalDownload/DownloadId-D39F9F06B8F0009D9EAC82B64020A740/EE33D585-275D-42C3-8013-556AB755C8CF/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2012.

BRAVIN, L. F. N. **Análise de transporte multimodal na região da hidrovia Tietê-Paraná**. 2001. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BRAZÍLIA. **Fotos sobre comboio ferroviário – vagão tanque**. Disponível em: <<http://vfco.brazilia.jor.br/vag/mafersaTSRfepasa.shtml>>. Acesso em: 10 de jul. 2012.

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.

CAIXETA FILHO, J. V., **Logística na produção de cana-etanol**. In: Workshop Instrumentação e Automação Agrícola e Agroindustrial na Cadeia Cana-Etanol, 2008, São Carlos. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008.

CAIXETA FILHO, J. V., GAMEIRO, A. H. **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. 218 p.

CAIXETA FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2001. 296 p.

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

CARVALHO, J. F. **Combustíveis fósseis e insustentabilidade**. Revista Ciência e Cultura, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 6, 2008.

CASTRO, N. P. **Intermodalidade, intramodalidade e o transporte de longa distância no Brasil**. Rio de Janeiro: Ipea, 1995.

CAXIAS ONLINE. **Fotos de dutos**. Disponível em:

<<http://noticias.caxiasonline.com.br/meio-ambiente/transpetro-integra-operacao-de-dutos-220>>. Acesso em 28 jun. 2012.

CBCME - COMITÊ BRASILEIRO DO CONSELHO MUNDIAL DA ENERGIA.

**Informações sobre análise energética**. Disponível em:

<[http://www.worldenergy.org/documents/eficincia\\_energica\\_mundial.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/eficincia_energica_mundial.pdf)>. Acesso em 11 mai. 2013

CEISE - CENTRO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Consultoria em etanol e açúcar**: informações sobre exportação de etanol. Disponível em:

<<http://www.ceisebr.com/site/index.php/conteudo/visualizar/mercado-de-exportacao-para-o-etanol-sera-de-25-bi-de-litros>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

CENTROVIAS. **Informações sobre a rodovia Washington Luiz**. Disponível em:

<<http://www.centrovias.com.br/?link=institucional>>. Acesso em 15 de ago. 2013.

CERNE - CENTRO DE ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS E ENERGIA. **Estudo de vida útil econômica e taxa de depreciação**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Vol. 1/2, nov. 2000.

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

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamentos de Safra**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>. Acesso em: 9 mai. 2012.

COSTA, Z. F.; BUENO, O. C. **Eficiência energética e econômica da produção de leite bovino em explorações familiares no município de pardinho, região de Botucatu-SP**. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 26, n. 1, p. 126-140, 2011.

CUNHA, M. J. B. **O transporte intermodal e multimodal**. Portal Suply Chain – decisões. 2012.

CURI, M. L. C. C. **Análise comparativa de custos dos modais ferroviário e rodoviário para o transporte de cargas na Amazônia**. 2009. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009.

DATAGRO - ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE ÁLCOOL E AÇÚCAR DO ESTADO DO PARANÁ. **Informações sobre etanol**. Disponível em:

<<http://www.datagro.com.br/secao/134/etanol>>. Acesso em: 23 nov. 2012.

DE LUCCA, J. F. **Informações sobre consumo de óleo diesel, óleo lubrificante e graxa em bitrens** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <delucca@risso.com.br> em 28 set. 2006.

DH - DEPARTAMENTO DE HIDROVIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO:

**Informações sobre a hidrovía Tietê-Paraná.** Disponível em:

<[http://www.transportes.sp.gov.br/programas-projetos\\_/hidrovia-tiete.asp](http://www.transportes.sp.gov.br/programas-projetos_/hidrovia-tiete.asp)>. Acesso em: 13 jul. 2012.

DIAS, M. A. **Administração de materiais:** uma abordagem logística. São Paulo: Atlas, 1985. 296 p.

DIAS, M. A. **Administração de materiais:** uma abordagem logística. São Paulo: Atlas, 1993. 399 p.

EBAH. **Rede social de compartilhamento acadêmico.** Disponível em:

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAu2YAA/modal-transporte-dutoviario>>. Acesso em: 16 mai. 2013.

ECOEDP. ECO Energias De Portugal. **Informações sobre análise energética.** Disponível em: <[http://www.eco.edp.pt/component/option,com\\_glossary/id,36/](http://www.eco.edp.pt/component/option,com_glossary/id,36/) 2013>. Acesso em: 13 mar. 2013.

EIRAS, M. **Informações sobre ferrovias e locomotivas da MRS que operam na malha ferroviária Pederneiras (SP)/Santos (SP).** Dez. 2006. Entrevistador: Fábio César Bovolenta. Jahu: Faculdade de Tecnologia.

ENGESA - EMPRESA DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO PESADA. **Fotos de dutos.** Disponível em: <[http://www.egesa.com.br/areasdeatuacao2.php?id\\_cat=3](http://www.egesa.com.br/areasdeatuacao2.php?id_cat=3)>. Acesso em: 12 mar. 2012.

ERNST & YOUNG TERCO. **Perspectivas dos mercados de petróleo, etanol e gás.** São Paulo, 2011. 91 p.

FIGUEIREDO, K. F. et al. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos.** São Paulo: Atlas, 2003. 483 p.

FIGUEIREDO JUNIOR, J. P. DH/São Paulo – Departamento hidroviário de São Paulo **Informações sobre a hidrovía Tietê.** [entrevista pessoal]. em: 03 set. 2013.

GARCIA, L. E. **A logística aplicada na armazenagem, transporte, distribuição e movimentação da cana, do açúcar e do álcool: a hidrovía como alternativa.** Diretor do Departamento do Fundo Nacional de Infra-estrutura de Transportes do Ministério dos Transportes. Revista Opinião, Brasília, 2008.

GEIPOT - EXTINTA EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. **Informações sobre custo de implantação e manutenção de rodovias.** Disponível em:

<[http://www.geipot.gov.br/indicadores\\_internet/Subsetor%20Rodovi%C3%A1rio/CUSTO](http://www.geipot.gov.br/indicadores_internet/Subsetor%20Rodovi%C3%A1rio/CUSTO)

S% 20UNIT% C3% 81RIOS% 20DAS% 20OPERA% C3% 87% C3% 95ES% 20DE% 20MANUTEN% C3% 87% C3% 83O% 20E% 20REABILITA% C3% 87% C3% 83O% 20DA% 20MALHA% 20RODOVI% C3% 81RIA% 20FEDERAL.htm> Acesso em: 14 mar. 2013.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. **Política energética no Brasil - estudos avançados**. 2005. 15 p.

GOODYEAR. **Informações sobre massa de pneus**. Disponível em: <<http://www.goodyear.com.br/tirecatalog/truck/>>. Acesso em: 13 jul. 2012.

GRUPO HUBNER. **Informações sobre semi-reboques de bitrens**. Disponível em: <<http://www.grupohubner.com.br/rodolinea/03-bitrem.html>>. Acesso em: 02 dez. 2012.

GUIALOG. Guia Logístico. **Informações sobre vida útil de veículos hidroviários, ferroviários e rodoviários e custo de implantação de rodovias, ferrovias e hidrovias**. Disponível em: <<http://www.guialog.com.br/ARTIGO383.htm>>. Acesso em: 7 jul. 2013.

GURGEL, F. A. **Administração dos fluxos de materiais e de produtos**. São Paulo: Atlas, 1996. 206 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto interno bruto**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1830&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1830&id_pagina=1)>. Acesso em: 17 jul. 2012.

ITA - INSTITUTO TECNOLÓGICO AERONÁUTICO. **Informações sobre projetos de rodovias**. Disponível em: <[http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2009/TGIEI012\\_Cancado.pdf](http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2009/TGIEI012_Cancado.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2013.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M; SILVA, P. R.A.; SEKI, A. S.; BUENO, O. C. **Análise energética da cultura do CRAMBE (Crambe abyssinica Hochst) produzida em plantio direto**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, maio/jun. 2010.

JEN – Jornal Expresso Notícia. **Alcooduto passará pela região – Transporte dutoviário**. 2010. 1 f. Artigo de Jornal, Cordeirópolis SP, 2010.

JUNQUEIRA, A. **O transporte de etanol pela hidrovía Tietê-Paraná**. Diretor de Transporte Marítimo - PETROBRAS Transporte S/A– TRANSPETRO. 2º Seminário de Portos e Vias Navegáveis. Brasília, 2011.

LADEIRA, R. **Informações sobre empurradores e barcaças da TRANSPETRO**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[adriano.ladeira@estaleirort.com.br](mailto:adriano.ladeira@estaleirort.com.br)> em 11 nov. 2012.

LOGUM Logística S.A: **Informações sobre dutos**. Disponível em: <<http://www.logum.com.br/php/fale-conosco.php>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

MACEDO, I. C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Campinas: Unicamp, 2007. 165p.

MARQUESIN JUNIOR, N. **Estudo de eficiência energética em uma planta industrial**. 2011. Projeto de formação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

METALESP – METALÚRGICA PARA PROJETOS ESPECIAIS - Equipamentos para Transporte de Cargas: **Fotos de um semi-reboque tanque**. Disponível em: <[http://www.metalesp.com.br/produtos/detalhe/21/Bitrem\\_Tanque\\_Aco\\_Carbono\\_45.000\\_L](http://www.metalesp.com.br/produtos/detalhe/21/Bitrem_Tanque_Aco_Carbono_45.000_L)>. Acesso em: 21 mai. 2012.

MERCEDES-BENS. **Informações sobre bitrens tanques**. Disponível em: <[http://www.mercedes-benz.com.br/pdfs/caminhoes/news\\_pdf\\_2012/Axor\\_2536.pdf](http://www.mercedes-benz.com.br/pdfs/caminhoes/news_pdf_2012/Axor_2536.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2013.

MICHELLON, E.; SANTOS A. A. L.; RODRIGUES J. R. A. **Breve descrição do proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil**. Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 2007, Londrina - PR. Resumo dos Anais. Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural - SOBER, Rio de Janeiro, 2007.

MILANEZ, A. Y. et al. **Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros**. 2010. 50 f. Resumo expandido - Departamento de Economia, Administração e Sociologia – ESALQ – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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.

MRS – MINAS GERAIS, RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO – EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO. **Foto de Locomotiva**. Disponível em: <<http://mundoferreo.wordpress.com/2011/03/03/locomotiva-sd40-all/>>. Acesso em 21 jul. 2012.

NOVAIS, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. São Paulo: Campus, 2007. 243 p.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton USA: CRC Press Inc, 1980. 475 p.

PUC RIO – PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO. **O transporte multimodal**. Rio de Janeiro, 2012. 21 f.

POZO, H. **Administração de recursos materiais e patrimoniais**. São Paulo: Atlas, 2002. 195 p.

REPORTER BRASIL. **O etanol brasileiro no mundo: os impactos socioambientais causados por usinas exportadoras.** São Paulo: Centro de Monitoramento de Agrocombustíveis, 2011. 21 p.

RISOUD, B. **Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles.** Économie Rurale, Boca Raton USA, n. 252, p. 16-27, 1999.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional.** 3. ed. São Paulo: Edições Aduaneiras Ltda., 2004. 180 p.

ROMERO, M. G. R. **Análise energética e econômica do cultivo de algodão em sistemas agrícolas familiares.** 2005. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

ROMERO, M. G. C; ESPERANCINI, M. S. T; BUENO, O. C. **Eficiência energética e econômica em sistemas familiares de produção de algodão.** Congresso Brasileiro do Algodão, 2008, Uberlândia. Anais. Uberlândia - MG, 2008.

ROSSONI, C. F. **Intermodalidade e multimodalidade.** Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Faculdade de Tecnologia de Jundiaí - Curso Superior de Tecnologia em Logística. Jundiaí, 2012.

SCANDIFFIO, M. I. G., LEAL, M. R. L. V. **Novo desenho logístico para exportação de etanol: uma visão de longo prazo.** 2009. 12 f. Artigo - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

SCANIA: **Fotos de bitrens.** Disponível em: <<http://www.scania.com.br/caminhoes/rodoviarior/informacoes-tecnicas.aspx>>. Acesso em 15 abr. 2012.

SERAFIM, M. C. S. **Análise das políticas públicas para infraestrutura de transporte no Brasil a partir da década de 90.** 2009. 62 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SHARKEY, B. J. **Informações sobre gasto calórico.** Disponível em: <[http://aalvarompe.blogspot.com.br/2008\\_12\\_01\\_archive.html](http://aalvarompe.blogspot.com.br/2008_12_01_archive.html)>. Acesso em 07 ago. 2013.

SILVA, G. H.; ESPERANCINI, M. S. T; BUENO, O. C. **Eficiência e energética de sistemas de produção de mamona no estado de minas gerais.** Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 52-69, 2010.

SILVA, M. C.; BUENO, O. C. **Análise energética na agricultura: ferramenta importante para uma produção agrícola mais sustentável.** ANAP – Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, Fórum Ambiental da Alta Paulista. V. 07, N. 07, 2011 – Categoria: Artigo Completo.

SILVA, N. A. Presidente do SINDICAM-SP. Sindicato dos Transportadores Rodoviários Autônomos de Bens do Estado de São Paulo. São Paulo. **Informações sobre mão-de-obra e nova lei dos caminhoneiros**. [entrevista pessoal]. em: 10 ago. 2013.

SOLA, A. V. H. **Análise dos fatores determinantes para eficiência energética**. Revista Produção Online, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC - Florianópolis, vol. 6, n.1, Abril de 2006, p.5.

SUZUKI JUNIOR, J. T. **O alcooduto e as exportações paranaenses de etanol**. Diretor do Centro de Pesquisa – IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Comunicado para planejamento. Curitiba, 2011.

TAKAHASHI, G. **Informações sobre o transporte hidroviário de São Simão (GO) à Pederneiras (SP)** [mensagem pesssoal]. Mensagem recebida por <george.takahashi@ldcommodities.com> em 23 set. 2006.

TRANSPORTE MUNDIAL. **Informações sobre consumo de óleo diesel de bitrens tanques**. Disponível em: <<http://transportemundial.terra.com.br/index.asp?codc=1170>>. Acesso em: 23 mai. 2013.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Regiões cultiváveis no Brasil**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/default.asp?cchCode={C2B8C535-736F-406B-BEB2-5D12B834EF59}>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

UNIDUTO LOGÍSTICA S.A. **Informações sobre dutos**. Disponível em: <<http://www.uniduto.com.br/perfil.php?menu=1&item=1>>. Acesso em: 26 jul. 2012.

URQUIAGA, G.; BOODEY, R. M.; ALVES, B. R. **Produção de biocombustíveis - a questão do balanço energético**. Revista Política Agrícola - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília DF , v. 14, n.1, p. 43, 2005.

VALENTE, A. M. et al. **Gerenciamento de transportes e frotas**. São Paulo: Pioneira, 2003. 215 p.

VIEIRA, M. C. A. **Setor sucroalcooleiro: Evolução e Perspectivas**. 2009. 245 f. Gerente do Departamento de Agroindústria (DEAGRO). Rio de Janeiro, 2009.2005. 89 f.

WEINGARTNER, T. ALL – América Latina Logística. **Informações sobre ferrovias da ALL**. [entrevista pessoal]. em: 03 set. 2013.

WIKIPÉDIA: **Foto esquemática de uma dutovia**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Transporte\\_tubular](http://pt.wikipedia.org/wiki/Transporte_tubular)>. Acesso em: 12 jun. 2013.

Fim.