

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**USP**

**Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia**

**PIPGE**

**(EP/FEA/IEE/IF)**

**AVALIAÇÃO GLOBAL DOS MODOS ENERGÉTICOS DE  
TRANSPORTE DO GÁS NATURAL INCLUSIVE COMO  
ENERGIA SECUNDÁRIA**

**Pascoal Henrique da Costa Rigolin**

**São Paulo**

**2007**

PASCOAL HENRIQUE DA COSTA RIGOLIN

**Avaliação Global dos Modos Energéticos de Transporte do Gás  
Natural Inclusive como Energia Secundária**

**Dissertação apresentada ao Programa  
Interunidades de Pós-Graduação em Energia  
do Instituto de Eletrotécnica e Energia da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
título de Mestre em Energia**

**Orientação: Prof. Dr. Miguel Edgar Morales  
Udaeta**

**São Paulo**

**2007**

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

Rigolin, Pascoal Henrique da Costa.

Avaliação Global dos Modos Energéticos de Transporte do Gás Natural Inclusive Como Energia Secundária / Pascoal Henrique da Costa Rigolin. – São Paulo, 2007.

101p. : il.; 30cm

Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo, 2007.

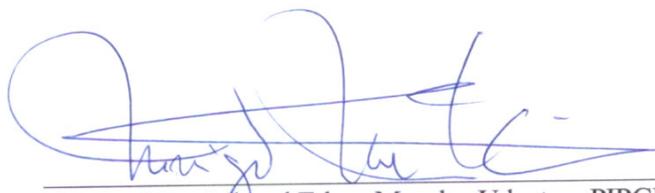
1. Gás Natural 2. Planejamento Energético  
3. Transmissão Elétrica 4. Energia I.Título.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**  
**EP – FEA – IEE - IF**

**PASCOAL HENRIQUE DA COSTA RIGOLIN**

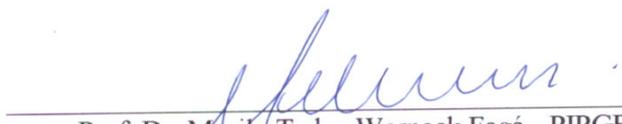
*“Avaliação global dos modos energéticos de transporte de gás natural  
inclusive como energia secundária”*

Dissertação defendida e aprovada em 15/06/2007 pela Comissão Julgadora:



---

Prof. Dr. Miguel Edgar Morales Udaeta – PIPGE/USP  
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora



---

Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá - PIPGE/USP



---

Prof. Dr. Saul J. Escalera – YPF/Bolívia

Trabalho dedicado a todos que além de sonhar, contribuem de alguma forma para um mundo  
melhor

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar aos meus pais e irmão que sempre estiveram ao meu lado nos momentos de dificuldades e alegrias até o presente momento.

Aos irmãos Ricardo e André Gimenes que colaboraram e muito para que eu me envolvesse neste meio acadêmico.

Agradeço especialmente ao professor doutor Miguel Udaeta que além de meu orientador pode ser considerado um amigo, sempre disposto a ouvir e dar sugestões.

A todos professores do PIPGE, em especial ao professor doutor Murilo Fagá que também nunca negou sua contribuição ao desenvolvimento deste trabalho.

A todos amigos e funcionários do IEE, especialmente ao Jonathas, Daniele, Tatiana e Hirdan que sempre souberam ouvir, aconselhar e, mais importante que tudo, sempre participaram dos momentos de alegria. Agradecido também ao Roberto Callari pela amizade e por ter fornecido dados importantes para realização deste trabalho.

Agradeço também a todos alunos integrantes do PIR, especialmente à Julia Bellacosa e Giselle Teles que estão sempre dispostas a ajudar a todos e, por participarem neste pouco tempo que nos conhecemos, de momentos especiais da minha vida.

Ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo por oferecer toda sua infra-estrutura durante a implementação desta dissertação.

À FAPESP por financiar o PIR de Araçatuba (processo 03/06441-7), o qual é proprietário da licença do software Decision Lens usado no estudo.

Por último ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, (ANP / PRH-04) pela bolsa de estudos concedida durante 24 meses, que contribuiu e muito para o desenvolvimento do atual trabalho.

## RESUMO

**RIGOLIN, P. H. C. Avaliação Global dos Modos Energéticos de Transporte de Gás Natural Inclusive Como Fonte Secundária, 2007. 101 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.**

O objetivo do trabalho é fazer a avaliação global de alguns dos modos energéticos de transporte do gás natural (gasodutos, GNL e GNC), inclusive como energia secundária (eletricidade e GTL).

Para a escolha do melhor modo de transporte, além dos custos de cada projeto, serão considerados outros três fatores, que são: impactos ambientais, impactos sociais e riscos políticos. Para isto foi escolhida uma ferramenta de análise conhecida como Avaliação de Custos Completos (ACC), sendo que esta considera os quatro fatores citados anteriormente como de mesma importância na avaliação para um planejamento que vise a sustentabilidade.

Para melhor visualização e entendimento do trabalho, foi feito um estudo de caso para o transporte de energia (gás natural e/ou eletricidade) para atender mercados consumidores na região de fronteira entre o Brasil e a Bolívia. Fundamentalmente o estudo do transporte foi feito em solo boliviano, correspondente entre os campos produtores de gás, localizados em Margarita, até a região de fronteira próxima a Corumbá no Mato Grosso do Sul (MS), e também próxima a uma região com grandes jazidas de minério de ferro conhecida como El Mutún.

Metodologicamente dentro das quatro dimensões consideradas, foram usados alguns sub-critérios mais relevantes para esta análise. Para todos os sub-critérios foram atribuídas notas específicas, de acordo com a região e com o tipo de transporte de energia, e após isto os dados foram passados para um software de tomada de decisão chamado Decision Lens, obtendo assim um *rank* das melhores opções transporte para a região.

Como resultado, o mais coerente para atender a região, são gasodutos de transporte para as demandas elétricas e de gás natural (consumo do MS mais Mutún) e trens carregados com derivados líquidos do gás natural (GTL) para atender a demanda de diesel do MS.

Palavras-chave: gás natural, planejamento energético, transmissão elétrica, GNL.

## ABSTRACT

**RIGOLIN, P. H. C. Global Evaluation of Energy Ways of Natural Gás Transport, as Well as Secondary Energy, 2007. 101 f. Work. Program of Post-Graduation in Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.**

The objective of this work is to make a global evaluation of some energy ways of transport of natural gas (gas-pipelines, LNG and CNG), as well as secondary energy (electricity and GTL).

For the selection of a better way of transport, beyond the costs of each project, others three factors were considered: environmental impacts, social impacts and political risks. To perform this, a tool of analysis known as Evaluation of Complete Costs (ACC in portuguese) was chosen. This tool considers the four factors above mentioned as having the same importance in the evaluation process for planning that aims towards sustainability.

For better visualization and understanding of the work, a case study for energy transport was made (natural gas and/or electricity) to supply the consumer markets in the region bordering Brazil and Bolivia. Basically the study of the transport was made in Bolivian territory; at the producing gas fields located in Margarita as far as the region bordering Corumbá in the Mato Grosso do Sul area, and also next to a region with great known iron ore deposits known as El Mutún.

Methodologically, within the four dimensions above, some more relevant sub-criteria for the analysis were used. For all the sub-criteria considered specific ranks were taken, in accordance with the region and type of transported energy, and after this the data was fed to a software called Decision Lens, thus getting a rank of the best options to carry gas to the region.

The results, most coherent way to supply gas to the region, happens to be gas-pipelines of transport for the electric and natural gas demands (consumption in MS plus Mutún) and trains with liquid derivatives of natural gas (GTL) to supply care of the demand of diesel of MS.

Keywords: natural gas, energy planning, power transmission, LNG.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.1.1	<i>Acerca do Transporte de Gás Natural e Eletricidade.....</i>	<i>13</i>
1.1.2	<i>Acerca da Cadeia Produtiva do Gás Natural.....</i>	<i>14</i>
1.2	OBJETIVOS.....	18
1.2.1	<i>Objetivos Gerais.....</i>	<i>18</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>19</i>
1.3	METODOLOGIA.....	19
1.3.1	<i>Revisão Bibliográfica .....</i>	<i>19</i>
1.3.2	<i>Marco teórico de referência.....</i>	<i>19</i>
1.3.3	<i>Obtenção dos dados do estudo de caso .....</i>	<i>20</i>
1.3.4	<i>Modelagem de um procedimento sistemático para o transporte sustentável de energia.....</i>	<i>20</i>
1.3.5	<i>Aplicação de ferramenta comparativa .....</i>	<i>20</i>
<b>2</b>	<b>A AVALIAÇÃO DOS CUSTOS COMPLETOS (ACC) .....</b>	<b>21</b>
2.1	DEFINIÇÃO E PREMISSAS .....	21
2.2	ELEMENTOS CONSTITUINTES .....	21
2.3	PASSOS DE ANÁLISE .....	23
2.4	AVALIAÇÃO PRELIMINAR .....	25
<b>3</b>	<b>DIMENSÕES ANALISADAS PARA O COMPARATIVO ENTRE O TRANSPORTE DE GÁS NATURAL E ELETRICIDADE.....</b>	<b>27</b>
3.1	DIMENSÃO TÉCNICO-ECONÔMICA.....	27
3.1.1	<i>Custo efetivo do empreendimento .....</i>	<i>28</i>
3.1.2	<i>Tempo de retorno do investimento .....</i>	<i>28</i>
3.1.3	<i>Domínio da tecnologia aplicada.....</i>	<i>29</i>
3.1.4	<i>Confiabilidade e manutenção.....</i>	<i>30</i>
3.2	DIMENSÃO AMBIENTAL .....	30
3.2.1	<i>Poluição Atmosférica.....</i>	<i>31</i>
3.2.2	<i>Poluição dos recursos hídricos.....</i>	<i>31</i>
3.2.3	<i>Poluição do solo.....</i>	<i>31</i>
3.2.4	<i>Dificuldade de obtenção das licenças ambientais.....</i>	<i>32</i>
3.3	DIMENSÃO SOCIAL .....	32
3.3.1	<i>Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social.....</i>	<i>32</i>
3.3.2	<i>Influência no desenvolvimento e infra-estrutura locais .....</i>	<i>33</i>
3.3.3	<i>Geração de empregos.....</i>	<i>33</i>
3.4	DIMENSÃO POLÍTICA .....	33
3.4.1	<i>Apoio governamental.....</i>	<i>34</i>
3.4.2	<i>Riscos de exposição cambial.....</i>	<i>34</i>
3.4.3	<i>Oposição popular .....</i>	<i>35</i>
<b>4</b>	<b>MODOS DE TRANSPORTE DE GÁS NATURAL E ELETRICIDADE .....</b>	<b>36</b>
4.1	GASODUTOS.....	36
4.1.1	<i>Características .....</i>	<i>37</i>
4.1.2	<i>Impactos Ambientais.....</i>	<i>38</i>
4.1.3	<i>Impactos Sociais.....</i>	<i>39</i>

4.1.4	<i>Custos Envolvidos</i> .....	42
4.2	GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL) .....	43
4.2.1	<i>Tecnologia de Transporte</i> .....	45
4.2.2	<i>Impactos Ambientais</i> .....	50
4.2.3	<i>Impactos Sociais</i> .....	50
4.2.4	<i>Custos envolvidos</i> .....	51
4.3	GÁS NATURAL COMPRIMIDO (GNC).....	52
4.3.1	<i>Impactos sociais e ambientais</i> .....	53
4.4	TRANSPORTE DE GÁS NATURAL EM FORMA DE ELETRICIDADE (GAS TO WIRES – GTW) 53	
4.4.1	<i>Impactos ambientais devido à construção e operação de linhas de transmissão</i> 54	
4.4.2	<i>Impactos Sociais</i> .....	55
4.4.3	<i>Custos Envolvidos</i> .....	56
4.5	GAS TO LIQUIDS (GTL) – GÁS NATURAL A LÍQUIDOS.....	58
4.5.1	<i>Industrialização do gás natural boliviano</i> .....	59
4.5.2	<i>Uso do Gás de Síntese</i> .....	61
4.5.3	<i>Processo Fischer-Tropsch</i> .....	61
4.5.4	<i>Como transportar o GTL</i> .....	64
4.5.5	<i>Impactos ambientais</i> .....	65
4.5.6	<i>Impactos sociais</i> .....	65
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>66</b>
5.1	CONTEXTO.....	66
5.1.1	<i>Identificação da Região de Estudo</i> .....	66
5.1.2	<i>Demanda energética do estudo</i> .....	69
5.1.3	<i>Cálculo dos volumes de gás necessário para atender cada uma das opções do estudo</i> 70	
5.1.4	<i>Índices Utilizados</i> .....	75
5.2	OPÇÕES DE TRANSPORTE DE ENERGIA PARA O ESTUDO.....	77
5.2.1	<i>Opção para atender a demanda elétrica da região em estudo</i> .....	77
5.2.1.1	<i>Origem em Margarita – Bolívia</i> .....	77
5.2.2	<i>Opção para atendimento da demanda de GN da região de estudo</i> .....	83
5.2.3	<i>Opção de transporte para suprir a demanda de diesel do MS</i> .....	85
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>89</b>
6.1	GÁS NATURAL PARA ATENDIMENTO DA DEMANDA ELÉTRICA DA REGIÃO DE ESTUDO	89
6.2	MODOS DE TRANSPORTE PARA ATENDIMENTO DA DEMANDA DE GN DA REGIÃO .....	90
6.3	GÁS NATURAL PARA ALIMENTAR PLANTA DE GTL OU TRANSPORTE DO GTL.....	92
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>93</b>
7.1	EM RELAÇÃO AOS RESULTADOS OBTIDOS .....	93
7.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. RESERVATÓRIO DE GÁS ASSOCIADO .....	14
FIGURA 1.2. RESERVATÓRIO DE GÁS NÃO-ASSOCIADO .....	15
FIGURA 1.3. CONSUMO DE GÁS NATURAL POR SETOR .....	16
FIGURA 1.4. ETAPAS DE EXPLORAÇÃO E EXPLOTAÇÃO DO GÁS NATURAL .....	16
FIGURA 1.5. PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL .....	17
FIGURA 1.6. TRANSPORTE DO GÁS NATURAL .....	17
FIGURA 1.7. USOS DO GÁS NATURAL .....	18
FIGURA 1.8. APLICAÇÕES DO GÁS NATURAL .....	18
FIGURA 2.1. PASSOS BÁSICOS DO PROCESSO DE ACC .....	24
FIGURA 2.2. ROTEIRO DE AVALIAÇÃO NA ACC .....	26
FIGURA 3.1. DIAGRAMA DE CRITÉRIOS PARA DIMENSÃO TÉCNICO-ECONÔMICA .....	28
FIGURA 3.2. DIAGRAMA DE CRITÉRIOS PARA A DIMENSÃO AMBIENTAL .....	30
FIGURA 3.3. DIAGRAMA DE CRITÉRIOS PARA DIMENSÃO SOCIAL .....	32
FIGURA 3.4. DIAGRAMA DE CRITÉRIOS PARA DIMENSÃO POLÍTICA .....	34
FIGURA 4.1. TERMINAL DE LIQUEFAÇÃO DO GÁS NATURAL .....	44
FIGURA 4.2. OBTENÇÃO DO GNL .....	45
FIGURA 4.3. TIPOS DE NAVIOS PARA TRANSPORTE DE GNL .....	46
FIGURA 4.4. REPRESENTAÇÃO DE UM VAGÃO CRIOGÊNICO .....	48
FIGURA 4.5. ISOLAMENTO TÉRMICO DOS TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE GNL .....	49
FIGURA 4.6. TERMINAL REGASEIFICADOR DO GÁS NATURAL .....	49
FIGURA 4.7. EXEMPLO DE CUSTOS DA CADEIA DO GNL .....	51
FIGURA 4.8. EXEMPLO DE ESTAÇÕES “MÃE E FILHA” DE GNC .....	53
FIGURA 4.9. DIAGRAMA DE CUSTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO .....	57
FIGURA 4.10. PRODUTOS QUE PODEM SER OBTIDOS A PARTIR DO GÁS DE SÍNTESE .....	61
FIGURA 4.11. PROCESSO BÁSICO DE GTL EM BASE A F-T .....	62
FIGURA 4.12. CONVERSÃO DO GÁS NATURAL EM COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS .....	63
FIGURA 4.13. PROJEÇÃO DO POTENCIAL DE EFICIÊNCIA DO PROCESSO GTL-FT .....	63
FIGURA 5.1. RESERVAS DE GÁS NATURAL UTILIZADAS NO ESTUDO .....	67
FIGURA 5.2. TRAJETO E DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PELO TRANSPORTE ENERGÉTICO .....	68
FIGURA 5.3. FLUXO ENERGÉTICO DO MS .....	69
FIGURA 5.4. HISTÓRICO DO CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL NO BRASIL .....	71
FIGURA 5.5. HISTÓRICO DO CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL NO MS .....	71
FIGURA 5.6. CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL NO MS EM 2025 .....	72
FIGURA 5.7. SUBPRODUTOS DERIVADOS DO PETRÓLEO CONSUMIDOS EM 2025 NO MS .....	73
FIGURA 6.1. GRÁFICO COMPARATIVO DA MELHOR FORMA DE TRANSPORTE ENERGÉTICO PARA SUPRIMENTO DA DEMANDA ELÉTRICA DO ESTUDO .....	90
FIGURA 6.2. GRÁFICO COMPARATIVO DA MELHOR FORMA DE TRANSPORTE PARA SUPRIMENTO DE GN DA REGIÃO DE ESTUDO .....	91
FIGURA 6.3. GRÁFICO COMPARATIVO DA MELHOR FORMA DE TRANSPORTE PARA ATENDER A DEMANDA DE GTL DA REGIÃO DE ESTUDO .....	92

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. EXEMPLO DE INVENTÁRIO DE CUSTOS.....	22
TABELA 4.1. QUADRO SINTÉTICO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR GASODUTOS.....	39
TABELA 4.2. IMPACTOS SOCIAIS CAUSADOS POR GASODUTOS.....	41
TABELA 4.3. FATOR MULTIPLICATIVO DEVIDO À CARACTERÍSTICA DO TERRENO.....	42
TABELA 4.4. FATOR MULTIPLICATIVO DEVIDO À URBANIZAÇÃO LOCAL.....	43
TABELA 4.5. FATOR MULTIPLICATIVO DE ACORDO COM O TIPO DE VÁLVULAS USADO.....	43
TABELA 4.6. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	54
TABELA 4.7. IMPACTOS SOCIAIS CAUSADOS POR LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	55
TABELA 4.8. REAÇÕES QUÍMICAS DO METANO PARA FORMAR GÁS DE SÍNTESE.....	60
TABELA 4.9. COMPOSIÇÃO DO GÁS NATURAL BOLIVIANO.....	60
TABELA 5.1. CONSUMO TOTAL DOS ENERGÉTICOS SUBSTITUÍVEIS PELO GN.....	70
TABELA 5.2. CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL NO MS EM 2025.....	73
TABELA 5.3. ÍNDICES DA DIMENSÃO TÉCNICO-ECONÔMICA.....	76
TABELA 5.4. ÍNDICES DA DIMENSÃO AMBIENTAL.....	76
TABELA 5.5. ÍNDICES DA DIMENSÃO SOCIAL.....	76
TABELA 5.6. ÍNDICES DA DIMENSÃO POLÍTICA.....	77
TABELA 5.7. TABELA DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE UM GASODUTO.....	78
TABELA 5.8. CUSTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DE GASODUTO PARA GERAÇÃO TERMELÉTRICA.....	79
TABELA 5.9. DIMENSÕES SOCIAIS E POLÍTICAS DE GASODUTO PARA GERAÇÃO TERMELÉTRICA.....	79
TABELA 5.10. CUSTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS PARA LINHA DE TRANSMISSÃO.....	80
TABELA 5.11. DIMENSÕES SOCIAL E POLÍTICA PARA LINHA DE TRANSMISSÃO.....	81
TABELA 5.12. TABELA DE CUSTOS DE UM TREM DE GNL.....	81
TABELA 5.13. CUSTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS PARA O GNL.....	82
TABELA 5.14. DIMENSÕES SOCIAL E POLÍTICA DO TRANSPORTE DE GNL.....	82
TABELA 5.15. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE UM GASODUTO.....	83
TABELA 5.16. CUSTO E IMPACTO AMBIENTAL DE GASODUTO PARA ATENDER DEMANDA DE GN.....	84
TABELA 5.17. DIMENSÕES SOCIAL E POLÍTICA PARA GASODUTO QUE ATENDE DEMANDA DE GN.....	84
TABELA 5.18. CUSTOS DE UM TREM DE GNL PARA DEMANDA DE GN DO MS.....	84
TABELA 5.19. CUSTO E IMPACTO AMBIENTAL DO TRANSPORTE DE GNL PARA ATENDER DEMANDA DE GN DO MS E MUTÚN.....	85
TABELA 5.20. DIMENSÕES SOCIAL E POLÍTICA DO TRANSPORTE DE GNL.....	85
TABELA 5.21. CUSTO E IMPACTO SOCIAL DE GASODUTO PARA ATENDER A DEMANDA DA PLANTA DE GTL.....	86
TABELA 5.22. DIMENSÕES SOCIAL E POLÍTICA DO GASODUTO PARA ABASTECER PLANTA DE GTL.....	86
TABELA 5.23. CUSTOS DO TREM DE GNL PARA SUPRIR A PLANTA DE GTL.....	86
TABELA 5.24. CUSTOS E IMPACTO AMBIENTAL PARA TRANSPORTE DE GNL SUPRIR DEMANDA DA PLANTA DE GTL .....	87
TABELA 5.25. DIMENSÕES SOCIAL E POLÍTICA PARA TRANSPORTE DE GNL SUPRIR DEMANDA DA PLANTA DE GNL .....	87
TABELA 5.26. CUSTO E IMPACTO AMBIENTAL PARA O TRANSPORTE DE GTL VIA TRENS.....	88
TABELA 5.27. DIMENSÕES SOCIAL E POLÍTICA PARA O TRANSPORTE DE GTL.....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACC – Avaliação de Custos Completos  
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
b/d – barris por dia  
BEN – Balanço Energético Nacional  
bep – barris equivalentes de petróleo  
F-T – Processo Fischer-Tropsch  
GBD – Gás Brasileiro  
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo  
GN – Gás Natural  
GNC – Gás Natural Comprimido  
GNL – Gás Natural Liquefeito  
GNV – Gás Natural Veicular  
GTC – Gás Natural Comprimido  
GTL – *Gas to Liquids* (gás natural a líquidos)  
GtW – *Gas to Wires*  
kcal – quilo (mil) calorias  
kW – quilo (mil) Watts  
kWh – quilo (mil) Watts hora  
m.pol – metro polegadas  
m<sup>3</sup>/d – metros cúbicos por dia  
MMm<sup>3</sup> - milhões de metros cúbicos  
MW – mega Watts (milhões de Watts)  
O&M – Operação e Manutenção  
PIR – Planejamento Integrado de Recursos  
TCF – Trilhões de Pés Cúbicos  
tep – toneladas equivalentes de petróleo  
TIR – Taxa Interna de Retorno  
toe – toneladas de óleo equivalente  
TBG – Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S/A  
VPL – Valor Presente Líquido

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

O transporte é o elo principal quando se pretende ter um escoamento eficiente de qualquer tipo de produção, seja esta de produtos para consumo, ou, no caso, recursos energéticos. Um país só conseguirá gerar desenvolvimento se tiver um escoamento eficiente de sua produção através de uma logística apropriada feita a partir da escolha correta do meio transportador que será utilizado para este fim.

### 1.1.1 Acerca do Transporte de Gás Natural e Eletricidade

O gás natural vem tendo nos últimos anos uma importante participação na economia brasileira, e a cada dia há um aumento em seu consumo. Com as descobertas de novas bacias, e com o aprimoramento da tecnologia de exploração, este recurso vem se tornando cada vez mais viável quando tratamos de energia alternativa, considerando-o um eventual substituto ao petróleo.

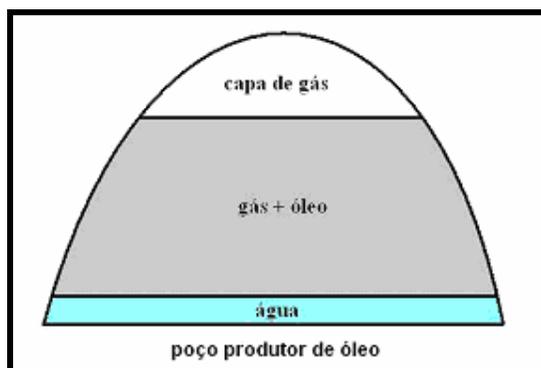
Há, então, a necessidade de um estudo detalhado para comprovação da viabilidade do transporte energético deste insumo, seja utilizando gasodutos, gás natural liquefeito (GNL), gás natural comprimido (GNC) ou linhas de transmissão. Neste estudo ter-se-ão que levar vários fatores em consideração. Dentre eles cabe destacar: custo da obra, impactos ambientais, impactos sociais, facilidade de distribuição, influência política, dentre vários outros. Cabe lembrar, como exemplo, que para geração de energia utilizando hidrelétricas, na maior parte das vezes a demanda não está próxima à geração, portanto torna-se necessário a construção de linhas de transmissão para que a energia chegue aos centros consumidores. Com o gás natural, isso pode ser diferente, pois a planta de geração a gás pode ser instalada próxima ao centro de consumo, e o transporte do gás natural até a usina de geração pode ser feito de muitas maneiras diferentes, sendo: através de dutos, ou utilizando estradas de rodagens – neste caso o gás viria em módulos especiais instalados em caminhões ou trens (GNC) – outro meio seria o GNL (gás natural liquefeito). Porém, inicialmente deve-se mencionar que, intuitivamente, o GNL parece uma alternativa mais cara devido à infra-estrutura a ser implantada, mas tem a vantagem de ser transportado em grandes volumes utilizando navios ou barcaças, aproveitando o extenso litoral brasileiro e as várias rotas fluviais que tem no país.

## 1.1.2 Acerca da Cadeia Produtiva do Gás Natural

A descoberta do gás natural é tão antiga quanto à do petróleo, mas diferente do líquido, este recurso não teve uma valorização imediata. Talvez por ser um recurso que em condições normais é gasoso, de difícil armazenagem e transporte, por ocupar um volume muito maior que um combustível líquido derivado do petróleo.

No início, então, o gás natural era tratado como algo descartável e tinha seu fim queimado em *flares*<sup>1</sup> instalados próximos às unidades de tratamento do petróleo. Aos poucos foram encontrando outros usos ao gás natural, este passou a ser reinjetado nos poços produtores de petróleo para que mantivessem a pressão interna e facilitasse a extração dos líquidos. O gás natural é geralmente encontrado em reservatórios de camadas profundas e está comumente associado com depósitos de petróleo. Dependendo da associação, o gás pode ser classificado como:

– **Gás associado** (Figura 1.1.): É aquele que, no reservatório, está dissolvido no óleo ou sob a forma de capa de gás. Neste caso, a produção de gás é determinada diretamente pela produção do óleo. Caso não haja condições econômicas para a extração, o gás natural é reinjetado na jazida ou queimado, a fim de evitar o acúmulo de gases combustíveis próximos aos poços de petróleo. O gás natural não associado é mais interessante do ponto de vista econômico, devido ao grande acúmulo de propano e de hidrocarbonetos mais pesados.

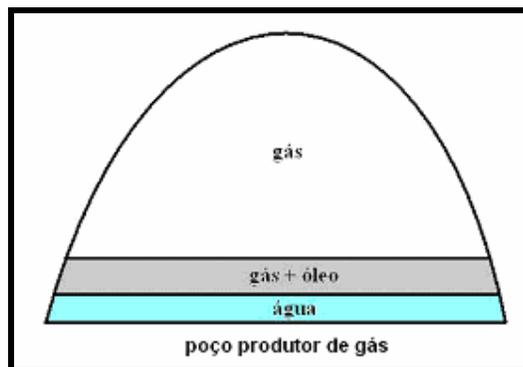


**Figura 1.1. Reservatório de gás associado**

Fonte: (elaboração própria)

<sup>1</sup> Flares: são torres de escape onde o gás é incinerado ao ser liberado para atmosfera

– **Gás não-associado** (GNA – Figura 1.2.): É aquele que, no reservatório, está livre ou junto a pequenas quantidades de óleo. Neste caso, só se justifica comercialmente produzir o gás. As maiores ocorrências de gás natural no mundo são de gás não associado.



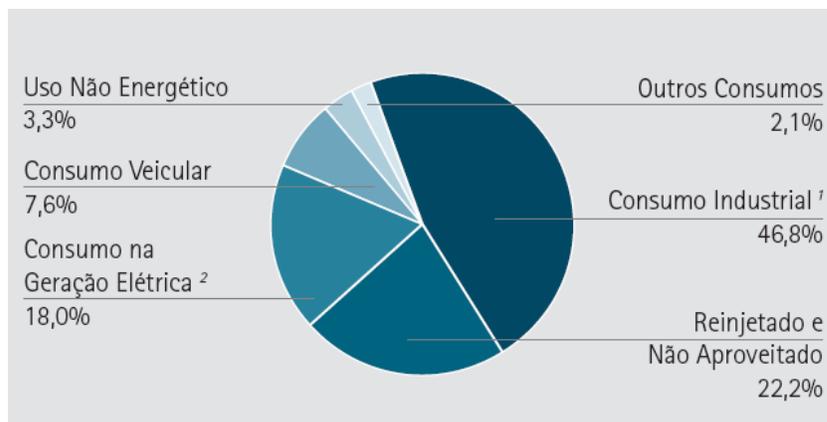
**Figura 1.2. Reservatório de gás não-associado**

Fonte: (elaboração própria)

Com o decorrer do tempo o preço do petróleo sofreu diversas variações e atingiu valores muito acima dos quais o mundo estava habituado. Além das altas de mercado, a humanidade passou a se defrontar com novos paradigmas, principalmente aos relacionados com o meio ambiente. Com o avanço das pesquisas conseguiu-se perceber que a degradação ambiental atingiu índices alarmantes e, portanto, algo de imediato precisa ser feito antes que seja tarde demais.

Numa visão mais técnica, o GN passou a ser um ótimo substituto ao petróleo por ser uma fonte mais limpa, e agora com recentes descobertas, uma fonte abundante. Além do que, com as altas do preço do óleo, o GN torna-se muito viável em várias aplicações, principalmente naquelas em que substitui o petróleo sem a necessidade de alterações técnicas dos equipamentos ou quando este insumo agrega um maior valor ao produto final (p.e.: cerâmica branca). Outros setores que se destacam são o de geração elétrica e gás natural veicular (GNV).

Com dados do Balanço Energético Nacional, referentes ao ano de 2005 (BEN 2006), verifica-se em que setores o gás natural é utilizado:



**Figura 1.3. Consumo de gás natural por setor**

Fonte: (BEN 2006)

No Brasil o ramo industrial ainda é o maior consumidor de gás, mas este fato está sendo mudado com o decorrer do tempo, principalmente quando se foca os planos de investimentos da Petrobras para os próximos cinco anos. Quando se olha para um passado recente tem-se um grande salto no consumo de GN no setor automotivo, passando dos 3,9% do consumo de GN em 2000 para 7,6% em 2005 (BEN, 2006), provavelmente devido ao custo do metro cúbico ser bem menor que o litro da gasolina e porque automóveis que utilizam o GN têm o imposto veicular (IPVA) reduzido, em volume isto corresponde a um salto de 400 para 1560 tep. Isso é uma realidade brasileira, mas cada país consumidor de GN tem panoramas diferentes para os usos do gás, seguindo o planejamento energético local.

Como o consumo do gás natural vem se expandindo a cada dia, cabe apresentar a cadeia produtiva do gás natural através de diagramas, tal como se observa nas figuras: Figura 1.4., Figura 1.5., Figura 1.6., Figura 1.7., Figura 1.8 que se seguem.



**Figura 1.4. Etapas de exploração e exploração do gás natural**

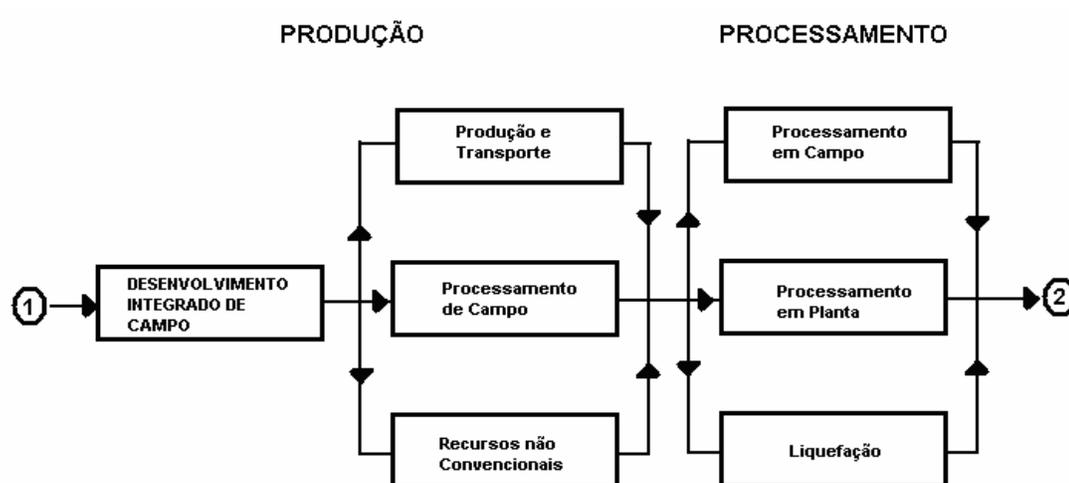


Figura 1.5. Processamento de gás natural

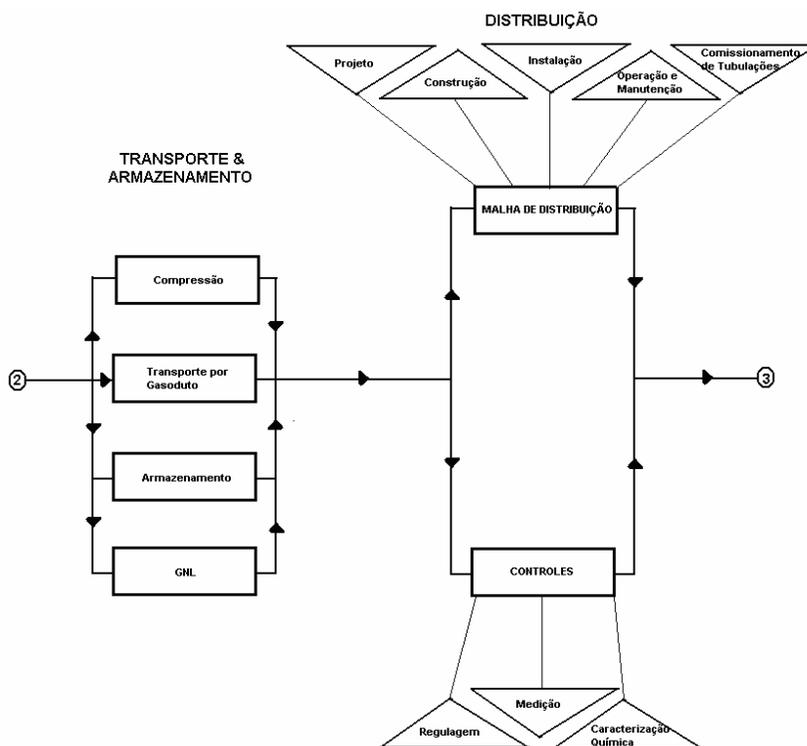


Figura 1.6. Transporte do gás natural

## USOS DO GÁS NATURAL

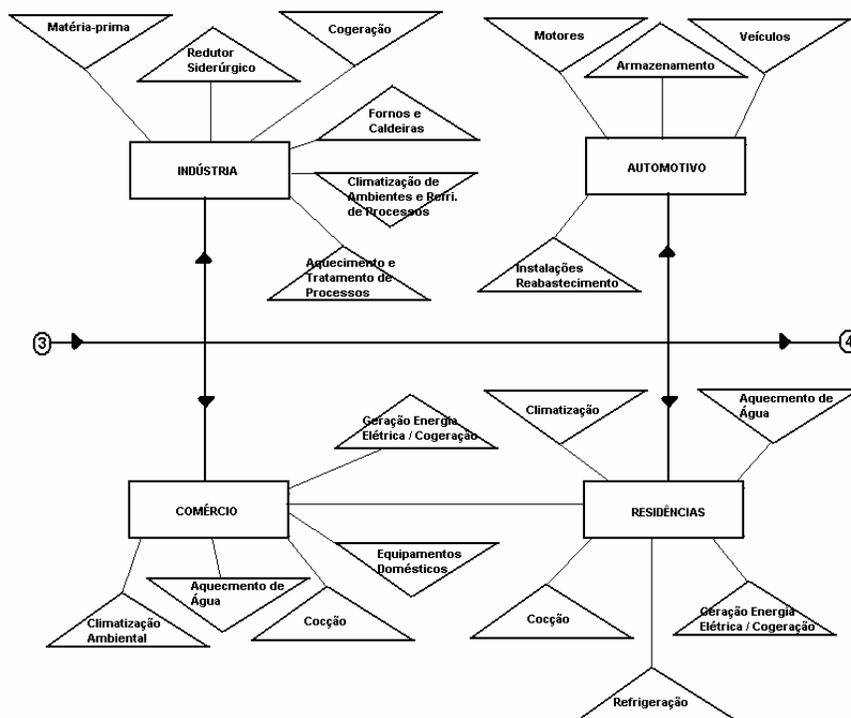


Figura 1.7. Usos do gás natural

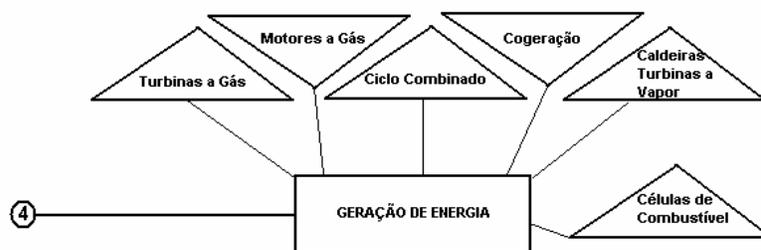


Figura 1.8. Aplicações do gás natural

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Avaliar todos os custos envolvidos (incluindo externalidades) do transporte de energia através de gás natural, incluindo a transmissão elétrica, e determinar os menores custos gerais através de comparativos entre estes.

## **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar as viabilidades do transporte de energia dentro da indústria de gás natural;
- Considerar na análise diversos fatores como os técnico-econômicos, impactos ambientais, sociais, e fatores políticos.

## **1.3 Metodologia**

O trabalho considera a análise de fatores que pesam no momento de decisão de qual forma de transporte de energia é a mais eficiente, levando-se em conta todas as externalidades envolvidas de acordo com as regiões que serão analisadas.

Com base nos cenários emergentes da avaliação, determinar-se-á um modelo de procedimento sistemático baseado no gás natural que seja coerente e possa servir de base e sustentação de modelos de desenvolvimento sustentável em geral.

### **1.3.1 Revisão Bibliográfica**

Nesta etapa foram reunidos documentação, arquivos consultados, propostas, críticas e debates do processo de formação das políticas energéticas associadas ao transporte de energia. Também foi feito um levantamento das necessidades gasíferas da região fronteira entre o Brasil e a Bolívia para levantamento de dados do estudo de caso do trabalho, bem como uma coleta dos dados estatísticos, estudos de impactos ambientais, estudos de impactos sociais e políticos e estudos de ordem econômica para optar pela forma de transporte de energia menos impactante e que possa seguir ou se aproximar da sustentabilidade.

### **1.3.2 Marco teórico de referência**

Nesta etapa foi estabelecido um fundamento teórico, científico e técnico da cadeia produtiva do gás natural, para assim definir o transporte mais adequado deste insumo energético.

### **1.3.3 Obtenção dos dados do estudo de caso**

Nesta etapa foi feita uma coleta de dados sobre a região em questão onde o gás natural e/ou a eletricidade serão transportados, utilizando como principais fontes de referência à internet (com estudos já realizados) e o estudo de impactos ambientais feitos para construção do Gasbol (gasoduto Bolívia – Brasil).

Nesta etapa foi feita uma visita aos campos produtores de gás natural bolivianos, localizados próximos à Tarija, financiada pelo PRH-04 da ANP, onde o pesquisador pode vivenciar a dependência local à este insumo, bem como às dificuldades globais de obtenção do GN.

### **1.3.4 Modelagem de um procedimento sistemático para o transporte sustentável de energia**

Nesta etapa foram desenvolvidos todos os parâmetros necessários para estabelecer um procedimento sistemático (aspectos técnico-econômicos, ambientais, sociais e políticos) para um transporte eficiente e racional de gás natural como recurso não renovável na Bolívia e/ou para o transporte de eletricidade.

### **1.3.5 Aplicação de ferramenta comparativa**

Uma ferramenta que foi usada para escolha da melhor forma de transporte do energético é a Avaliação de Custos Completos (ACC). Esta ferramenta se utiliza dos princípios da sustentabilidade e considera com mesmo peso os quatro aspectos mencionados anteriormente (econômicos, sociais, políticos e ambientais). Os conceitos da ACC serão melhores explicados no capítulo seguinte.

Nesta etapa foi usado um software de tomada de decisões chamado Decision Lens (licença já adquirida), onde os dados obtidos são inseridos pelo usuário através de uma árvore de critérios, sendo que o software se encarrega de fazer a verificação de incoerências nos dados e assim, através de gráficos, sugere a possível melhor forma de transporte.

## **2 A AVALIAÇÃO DOS CUSTOS COMPLETOS (ACC)**

### **2.1 Definição e Premissas**

Segundo (CARVALHO, 2000) a ACC é um meio pelo qual considerações ambientais podem ser integradas nas decisões de um determinado negócio. Ela é uma ferramenta, a qual incorpora custos ambientais e custos internos, com dados de impactos externos e custos/benefícios de atividades sobre o meio-ambiente e na saúde humana. Nos casos onde os impactos não podem ser monetarizados, são usadas avaliações qualitativas.

Segundo a ONTARIO HYDRO, a abordagem da ACC tem dois objetivos principais:

- definir e alocar os custos ambientais internos;
- definir e avaliar as externalidades associadas com as nossas atividades.

A Avaliação dos Custos Completos, quando aplicada ao transporte energético, está baseada em quatro premissas, das quais decorrem toda a metodologia de avaliação. Essas premissas são:

- (1) Riscos políticos;
- (2) Impactos ambientais;
- (3) Impactos sociais;
- (4) Custos técnico-econômicos.

### **2.2 Elementos Constituintes**

A ACC consiste basicamente dos seguintes elementos:

#### **a) Inventário de Custos Internos Expandidos**

A ACC considera uma escala mais ampla de custos, incluindo certos custos e benefícios probabilísticos. Estes incluem quatro categorias de custos que são: Custos Diretos, Indiretos, de Contingência e Menos Tangíveis. No que se refere ao setor elétrico alguns exemplos dos custos internos mais comuns são:

**Tabela 2.1. Exemplo de Inventário de Custos**

<b>1. CUSTOS DIRETOS/CONVENCIONAIS</b>	<b>2. CUSTOS INDIRETOS/OCULTOS</b>
Gastos de capital	Permissões
Construções	Relatórios
Aquisição de equipamentos	Monitoramentos
Projetos de engenharia	Manifestos
Despesas de O&M	Treinamentos
Insumos e mão de obra	Manuseio e estocagem de rejeitos
Disposição de rejeitos	
<b>3. CUSTOS DE CONTINGÊNCIA</b>	<b>4. CUSTOS MENOS TANGÍVEIS</b>
Penalidades	Relações comunitárias
Danos físicos ou materiais	Imagem da corporação
Custos de procedimentos legais	Satisfação do cliente

Fonte: (Carvalho, 2000)

### **b) Horizonte de Tempo Expandido**

Em adição a um inventário de custos mais amplo, uma segunda característica da ACC é seu horizonte de tempo mais longo, variando de acordo com o tipo de empreendimento, devido a certos custos levarem muitos anos para se materializarem.

### **c) Indicadores Financeiros de Longo Prazo**

As ferramentas de avaliação de projeto devem atender no mínimo os seguintes critérios: 1) elas devem considerar todo fluxo de caixa (positivo e negativo) ao longo da vida do projeto; 2) elas devem considerar o valor do dinheiro no tempo (isto é, fluxos de caixa futuro descontado).

Os métodos mais comumente usados e que atendem esses dois critérios são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), e Relação Custo/Benefício ou Índice de Lucratividade (IL).

### **d) Incorporação das Externalidades**

O que diferencia fundamentalmente a ACC de outras avaliações é, sem dúvida, a incorporação das externalidades no seu escopo de custos. Existem, no entanto, três passos a serem percorridos para a incorporação das externalidades:

1. Identificação e estimativa dos impactos sócio-ambientais;

2. Quantificação das externalidades; e
3. Monetização das externalidades;

Muitas vezes, apenas consegue-se atingir os passos 1 ou 2, sendo o terceiro de maior dificuldade metodológica e até mesmo política. Uma vez atingido o terceiro passo, pode-se então “internalizar” ou incorporar as externalidades aos custos, passando a ser então custos internos.

#### **e) Alocação de Custos**

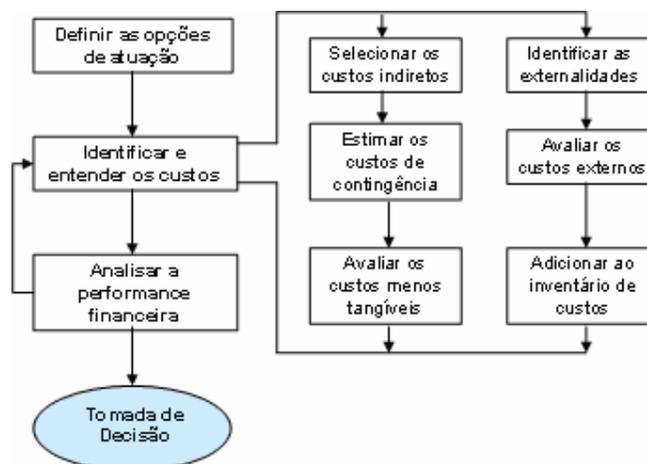
Para o propósito de análise de investimento, o sistema de avaliação de custos ideal deve ter duas características primárias. Primeiro, o sistema deveria alocar todos os custos para os processos os quais são responsáveis pela sua origem.

Segundo, não é suficiente simplesmente alocar os custos ao processo apropriado. Os custos deveriam ser alocados de maneira que refletisse o meio no qual os mesmos são realmente incorridos.

### **2.3 Passos de Análise**

Não há uma fórmula única para se realizar/executar uma ACC. Os passos básicos podem ser aplicados em muitas decisões de negócios de diferentes maneiras. A ACC é mais um complemento do que uma substituição de projetos de avaliação existentes, métodos de aproveitamento de capital, análise de gastos ambientais a sistemas de gerenciamento de custos já existentes em muitas organizações.

Dessa forma, há quatro passos básicos na condução da ACC que ajudarão a reduzir a probabilidade de não notar-se uma real economia financeira ou atividade de um certo projeto. Esses passos são descritos sucintamente a seguir e apresentados na Figura 2.1.



**Figura 2.1. Passos Básicos do Processo de ACC**

Fonte: (Carvalho, 2000)

#### a) Definir as Opções de Atuação

Em muitos casos, sobretudo no setor energético, é necessária uma gama mais ampla de informações sobre custos relevantes para se tornar uma decisão adequada. Esse processo inclui então:

- Determinar o escopo da ACC (isto é, o que será incluído na análise);
- Clarificar quais e como as opções atenderão os objetivos propostos;
- Identificar quais são os procedimentos internos necessários.

#### b) Identificar e Entender os Custos

Este passo envolve a identificação e compreensão de todos os custos envolvidos no projeto. Esse escopo de custos abraça tanto custos internos como externos e à medida que esse escopo se expande, se tende a encontrar maior dificuldade para identificar e mensurar certos custos.

### **c) Analisar o Desempenho Financeiro**

O processo de identificar e analisar custos é interativo. Assim, uma análise financeira mais ampla pode mudar a decisão de investimento. Deve-se usar para a análise financeira os indicadores apresentados anteriormente.

### **d) Tomar a Decisão**

A tomada de decisão é a integração de todos os fatores que são relevantes para a viabilidade e lucratividade de uma oportunidade de investimento.

Alguns fatores podem ser monetarizados (por ex. cálculo do VPL). Outros podem ser quantificados, mas não monetarizados (por ex. aumento percentual na participação de mercado). E, por fim, outros podem simplesmente ser identificados e caracterizados qualitativamente (por ex. espera-se mudanças futuras nas exigências regulatórias que poderão aumentar os custos regulatórios substancialmente).

Dessa forma, a tomada de decisão precisa considerar todas essas questões para escolher as opções corretas. Para isso, pode-se utilizar diversos métodos como análises multicriteriais, tabelas múltiplas árvores de decisão e outros métodos de tomada de decisão.

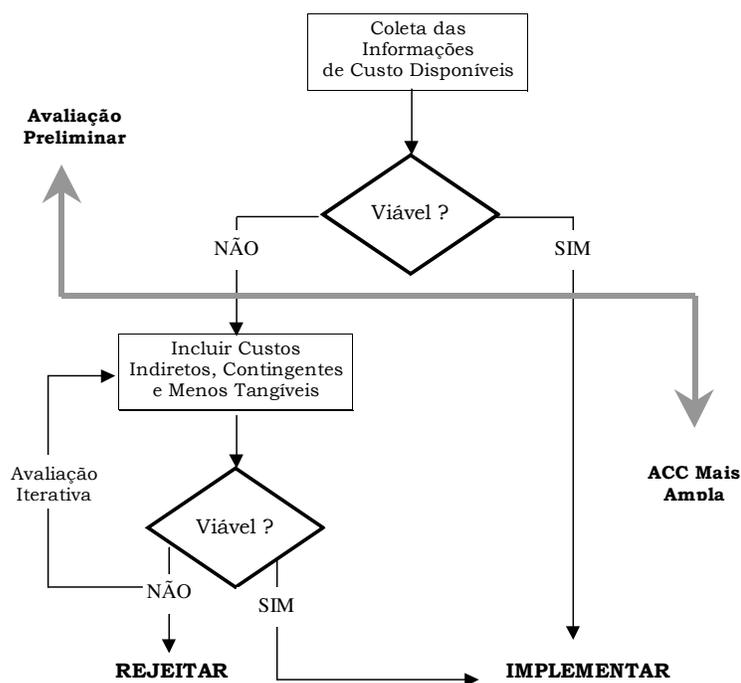
## **2.4 Avaliação Preliminar**

Identificar todos os custos associados com uma opção pode consumir muito tempo e recurso. Para isso, uma avaliação preliminar pode ajudar a identificar alternativas que claramente são mais competitivas, com um mínimo de esforço. Dessa forma, faz-se uma triagem inicial das alternativas.

Essa triagem não é um processo detalhado e intensivo. Ela simplesmente envolve a identificação dos custos mais óbvios, seja quantitativa ou qualitativamente. Os passos que devem ser seguidos são:

- Desenvolver ou revisar o fluxograma do processo que identifica todas as entradas, saídas e resíduos associados com a alternativa ou conjunto de alternativas.
- Revisar o inventário de custos e identificar quais deles poderão influir significativamente no resultado.

O roteiro simplificado para a avaliação dos custos numa ACC pode ser ilustrado na Figura 2.2.



**Figura 2.2. Roteiro de Avaliação na ACC**

Fonte: (CARVALHO, 2000)

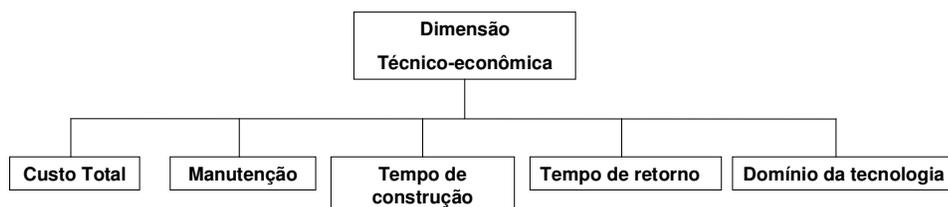
### **3 DIMENSÕES ANALISADAS PARA O COMPARATIVO ENTRE O TRANSPORTE DE GÁS NATURAL E ELETRICIDADE**

Como já citado, o trabalho busca fazer uma análise baseada no Planejamento Integrado de Recursos (PIR) utilizando uma ferramenta conhecida como ACC (Avaliação de Custos Completos) aplicada aos meios transportadores do gás natural e transmissão elétrica. Seguindo essa base, as dimensões que serão analisadas são quatro: técnico-econômica, ambiental, social e política. A dimensão técnico-econômica tem um escopo voltado eficácia física e econômica de cada projeto. Tanto a dimensões ambiental, quanto a social, analisam os impactos causados ao meio ambiente e a sociedade devido a construção e operação de meios de transporte de energia. A dimensão política busca a aceitabilidade dos interessados e envolvidos para cada forma de transporte de energia.

#### **3.1 Dimensão técnico-econômica**

Nesta dimensão a análise é feita do ponto de vista técnico-econômico, ou seja, buscando a forma de transporte de menor custo e com melhor tempo de retorno do investimento. Está incluída em qualquer avaliação tradicional de empreendimentos de infraestrutura de transporte energético e, na visão do PIR, entra com um mesmo peso das outras dimensões analisadas.

Para esta dimensão costuma-se incluir atributos como taxa interna de retorno (TIR), custo de operação e manutenção (O&M), custo de implantação, tempo de retorno do investimento e custo por quilômetro construído. As características técnicas de cada opção de transporte, apesar de menor relevância na análise, devem ser consideradas. Alguns exemplos: tempo de construção, dificuldade de manutenção, domínio da tecnologia aplicada, estão demonstrados no diagrama de critérios da Figura 3.1. Nos sub-itens posteriores se tem uma breve descrição dos fatores mais importantes para esta avaliação aplicada ao transporte de energia.



**Figura 3.1. Diagrama de critérios para dimensão técnico-econômica**

Fonte: (elaboração própria)

### 3.1.1 Custo efetivo do empreendimento

Neste fator é considerado o custo total da implantação de um modo de transporte de energia. A análise pode ser feita através das taxas internas de retorno (TIR), fluxo de caixa do projeto durante todo o período de operação desta infra-estrutura, além de outras ferramentas econômicas habitualmente aplicadas a este tipo de empreendimento. Desta feita, o custo do empreendimento é medido em unidade monetária (dólar ou real) gasta para implantação da obra que transportará os energéticos.

#### - Custo por quilômetro de construção

Este fator é medido em especial quando é requerida a implantação de meios físicos para que o transporte energético ocorra. Exemplos: gasodutos e linhas de transmissão. Os transportes de energia que se utilizam de vias terrestres, fluviais ou marinhas usufruem dessas vias já instaladas anteriormente, logo, o valor destas não se incluem nos custos totais destes modos de transporte.

### 3.1.2 Tempo de retorno do investimento

Esse fator é fundamental na dimensão técnico-econômica. O valor investido no projeto geralmente provém de financiamentos, logo, o empreendedor tenta buscar uma taxa interna de retorno superior à taxa de juros utilizada pelos financiadores. Para esses tipos de empreendimentos, o tempo de retorno é calculado considerando o valor cobrado para a utilização da infra-estrutura (tarifas de transporte) durante toda a vida útil de operação do sistema, então este tempo geralmente é medido em anos.

### **3.1.3 Domínio da tecnologia aplicada**

A escolha do melhor modo de transporte de energia vai depender necessariamente do local onde este vai ser implantado. Então, fatores como existência de fabricantes e empresas fornecedoras para suprir a demanda do empreendimento, bem como a necessidade de mão-de-obra especializada para implantar e operar determinado modo de transporte pesa muito na escolha do melhor modo de transporte de energia. Portanto, se a região escolhida não tiver a capacidade tecnológica de suprimento de todos esses recursos ou uma logística adequada de fornecimento de materiais, equipamentos e especialistas, o empreendimento pode se tornar inviável.

#### **- Tecnologia e equipamentos**

Aqui a investigação feita está na disponibilidade da tecnologia necessária à viabilização do empreendimento. Alguns itens que podem ser analisadas são os seguintes: existência de fornecedores (internos e externos), existência de fabricantes nas proximidades, dificuldade de importação dos equipamentos.

Atrasos ou dificuldades de obtenção dos equipamentos alteram o fluxo de caixa do projeto, modificando a rentabilidade prevista. Neste ponto se torna conveniente que a tecnologia aplicada seja sempre disponível no mercado.

Além disso, a aquisição de equipamentos importados pode implicar em riscos maiores à medida que as taxas de câmbio projetadas no momento da compra podem não se confirmar, novamente afetando o fluxo de caixa esperado do empreendimento. (FUJII, 2006)

#### **- Mão-de-obra qualificada**

Todo equipamento que será usado na implantação e no uso do meio de transporte energético a ser instalado, irá requerer uma mão-de-obra que seja capaz de manter e operar esses equipamentos constituintes do sistema. Do ponto de vista técnico-econômico se torna mais viável a mão-de-obra local, desde que qualificada, devido a facilidade de adaptação com a região (por ser região nativa), além da economia ao evitar custos vinculados ao transporte e

benefícios comuns que são propiciados aos especialistas que vêm de locais distantes e às vezes do exterior.

### 3.1.4 Confiabilidade e manutenção

Todos os custos para manter o sistema de transporte energético funcionando estão embutidos no preço final do energético transportado. Logo, a confiabilidade da tecnologia adotada, bem como sua manutenção no empreendimento, torna-se um fator técnico-econômico decisivo na escolha do modo de transporte que será adotado pra dada região, podendo até inviabilizar o transporte de dado recurso se esta for mal feita.

## 3.2 Dimensão Ambiental

Esta dimensão analisa quais os efeitos que os modos de transporte escolhidos causam ao meio ambiente da região em questão. Vale destacar que qualquer opção de transporte de energia causará algum tipo de dano ao meio ambiente local. Por exemplo, os gasodutos e as linhas de transmissão exigem a abertura de uma faixa de passagem para implantação de suas respectivas estruturas, causando um dano terrestre, outras vezes necessitarão fazer a travessia de um rio, podendo causar algum tipo de alteração do fluxo natural das águas, causando assim um impacto aos recursos hídricos. Os outros modos de transporte (GNC, GNL e GTL) que utilizam estruturas terrestres já existentes (rodovias e / ou ferrovias) ou aquáticas (rotas fluviais ou marinhas) poderão contribuir para o aumento da poluição atmosférica e dos recursos hídricos por necessitarem de caminhões, trens, navios e barcas circulando para transporte do determinado recurso. A seguir cada tipo de poluição será discriminada para melhor entendimento. O diagrama da Figura 3.2 demonstra a árvore de critérios para esta dimensão.



**Figura 3.2. Diagrama de critérios para a dimensão ambiental**

Fonte: (elaboração própria)

### **3.2.1 Poluição Atmosférica**

A poluição atmosférica é composta por diversos gases provenientes da conversão de fontes primárias e secundárias de energia em energia útil. Muitas vezes a energia obtida é proveniente da queima de um combustível, fazendo com que os produtos da queima sejam os grandes contribuintes para a poluição atmosférica.

No transporte de energia a poluição atmosférica é causada nos modos que necessitem de veículos transportadores do gás natural (caminhões, trens, navios, barcas). Também é causada, em menor escala, devido ao vazamento do metano transportado em gasodutos ou em recipientes especiais.

### **3.2.2 Poluição dos recursos hídricos**

Entende-se por poluição da água qualquer alteração nas características naturais deste composto (mudança da composição química, variação no pH, mudança de temperatura), bem como desvios no percurso natural de córregos e rios.

A poluição das águas pode ocorrer em casos específicos do transporte energético, principalmente nos modos que necessitem de obras de grande escala. Alguns exemplos que podem ser citados são obras de gasodutos ou linhas de transmissão que necessitem atravessar rios, córregos ou lagos. De maneira indireta, o aumento populacional repentino devido a uma grande obra, e a falta de saneamento local para atender toda essa expansão demográfica também resultará em poluição dos recursos hídricos.

### **3.2.3 Poluição do solo**

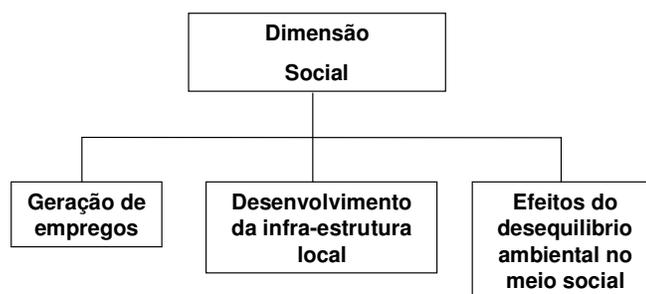
A poluição do solo não se dá apenas devido a presença de contaminantes, mas também devido a ocupação de áreas para construção de grandes obras, como exemplo para o caso: gasodutos, plantas de liquefação e regaseificação de GNL, construção de termelétricas, etc., muitas vezes qualquer pequena ocupação afeta a fauna e flora local devido a sua sensibilidade. O grande problema da contaminação terrestre é que esta se espalha podendo atingir lençóis freáticos e espalhar ainda mais a poluição causando danos irreversíveis.

### 3.2.4 Dificuldade de obtenção das licenças ambientais

Este sub-critério visa a real dificuldade em obtenção das licenças ambientais para cada um dos modos de transporte em questão. O que pesará neste item será a existência ou não das infra-estruturas que possivelmente seriam utilizadas para cada um dos modos estudados.

## 3.3 Dimensão Social

Nesta dimensão são analisados os efeitos causados pelo transporte de energia na qualidade de vida da sociedade em geral. Diversos fatores podem alterar a qualidade de vida das pessoas, sendo que estes podem ser positivos ou negativos. Como exemplos se podem citar a geração de empregos e desenvolvimento econômico (impactos positivos), e dependendo da amplidão da obra poderá haver um crescimento populacional repentino em pequenas sociedades trazendo consigo diversos tipos de impactos, muitas vezes negativos, como por exemplo, a falta de infra-estrutura local, prostituição, aumento do número de doenças, dentre outros. O diagrama da Figura 3.3 resume os critérios da dimensão social que serão analisados neste trabalho.



**Figura 3.3. Diagrama de critérios para dimensão social**

Fonte: (elaboração própria)

### 3.3.1 Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social

Na dimensão ambiental são analisados diversos impactos ao meio ambiente decorrentes da implantação de meios transportadores de energia em determinadas regiões. Nesta dimensão considera-se de que forma esses impactos ambientais afetam a qualidade de vida, cabendo destacar os impactos na saúde pública, impactos em edificações, impactos na agricultura e os impactos decorrentes da poluição sonora.

### **3.3.2 Influência no desenvolvimento e infra-estrutura locais**

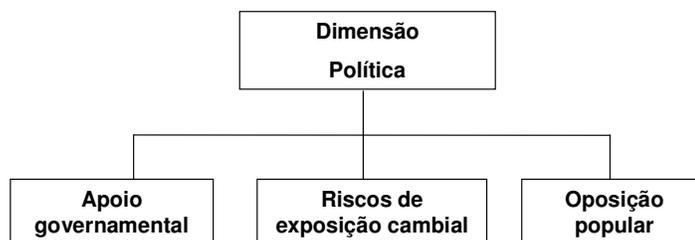
A maioria das obras de grande porte para realização do transporte de energia acabam de alguma maneira cruzando locais de concentração de pessoas, sejam, tribos, vilas, conglomerados populacionais e cidades. Alguns fatores, trazidos pelas obras ou pelo próprio energético transportado podem acabar ajudando no desenvolvimento local, principalmente por que quando há essa travessia de um município são cobrados “royalties” dos empreendedores que poderiam ser convertidos em benefícios sociais. Além do que, pode ocorrer uma influência no mercado de trabalho local, havendo aumento ou redução no número de empregos – que será citado no próximo item.

### **3.3.3 Geração de empregos**

Grande parte dos empreendimentos para o transporte de gás natural e/ou eletricidade requer uma obra civil, e essas obras são grandes demandantes de mão-de-obra com pouca ou nenhuma especialização. O maior problema é que um dia a obra acaba, e provavelmente essas pessoas ficarão desempregadas novamente. Além da obra, alguns empregos indiretos podem ser gerados, pois pessoas com dinheiro em mãos tendem a consumir, contribuindo assim para o desenvolvimento de alguns pequenos comércios locais.

## **3.4 Dimensão Política**

Nesta dimensão busca-se analisar fatores diretamente políticos relacionados à escolha de um ou outro transporte de energia. Fatores como apoio governamental através de incentivos ou subsídios, riscos de exposição cambial devido principalmente à escolha de uma forma de transporte com fabricação e manutenção de origem importada e oposição ou apoio popular a determinado transporte. Na Figura 3.4 se tem um diagrama dos sub-critérios para esta dimensão.



**Figura 3.4. Diagrama de critérios para dimensão política**

Fonte: (elaboração própria)

### **3.4.1 Apoio governamental**

Este critério analisa se determinada forma de transporte energético será importante para a região onde ela será implantada em termos de geração de *royalties*, geração de recursos para o governo, melhorias na infra-estrutura regional e principalmente se há um interesse prévio do governo em obter certa tecnologia de tratamento ou transformação do gás natural que algumas formas de transporte podem trazer consigo.

A complexidade desta análise está em obter todas as opiniões dos interessados e envolvidos, e principalmente de julgar os distintos interesses de cada parte. Portanto, o estudo desta dimensão será feito com base em informações que foram divulgadas pela imprensa especializada, a partir de entrevistas com os tomadores de decisão das regiões envolvidas no estudo.

### **3.4.2 Riscos de exposição cambial**

O fator de risco a exposição cambial, ou seja, a susceptibilidade a variações imprevistas de moedas estrangeiras, direciona-se principalmente para o caso de meios transportadores de energia que envolvam tanto tecnologias e equipamentos de procedência externa. Tal fator, extremamente suscetível a fatores externos políticos e econômicos, pode ser decisivo para a escolha de um dado transporte. Sendo assim, a escala elaborada para caracterização deste atributo parte de extremos negativos de qualificação, no caso de tecnologias importadas com grande influência de câmbio nos fluxos de caixa, sugere valores regulares para tecnologias mistas com risco parcial cambial nos fluxos de caixa, e recebe, no estudo de caso, a avaliação mais positiva no caso de tecnologias nacionais sem risco cambial nos fluxos de caixa (BAITELO, 2006, pg. 114-115).

### **3.4.3 Oposição popular**

Este fator direciona-se especificamente à população local do país, estado, cidade ou região, onde o transporte de energia será feito. Basicamente irão analisar os interesses das pessoas atingidas pela instalação desses meios, principalmente em relação à geração de empregos, alterações nos meios físicos onde estas residem (pode ser para melhor ou para pior), além dos *royalties* convertidos em ações sociais.

## 4 MODOS DE TRANSPORTE DE GÁS NATURAL E ELETRICIDADE

O objetivo deste capítulo é demonstrar as principais formas de como o gás natural e a eletricidade são transportados, bem como quais são as características técnicas de cada forma e também o quanto este recurso é necessário ao planejamento energético de um país. A opção pela melhor forma do transporte do GN vai se enquadrar em um novo paradigma que possui quatro vertentes onde serão considerados os riscos políticos, impactos ambientais, impactos sociais e o custo do projeto.

O gás natural antes de chegar ao consumo passa por uma enorme e complexa cadeia produtiva. Hoje, esta cadeia é definida por três etapas fundamentais: *upstream*, *midstream* e *downstream*. A primeira etapa chamada de *upstream* é composta pelas etapas de exploração, exploração e processamento inicial. A segunda etapa conhecida como *midstream* corresponde às etapas de armazenagem, transporte de grandes volumes para abastecer consumidores industriais de grande porte e geração termelétrica. A outra etapa, chamada de *downstream*, é a etapa correspondida pelas negociações e distribuição em baixa pressão para atendimento de mercados residenciais, comerciais e pequenas indústrias. Apesar do transporte do GN ser fundamental em todas etapas da cadeia, o trabalho se restringirá às etapas conhecidas como *upstream* e *midstream*, por nestas estarem os transportes de grandes volumes, seja através do gás comprimido ou o gás liquefeito.

Existem várias maneiras para transporte do GN, mas as analisadas pelo trabalho são restringidas nas seguintes: gasodutos, gás natural liquefeito (GNL), gás natural comprimido (GNC), *gas to liquids* (GTL) e *gas to wires* (GtW). Nestes dois últimos métodos o gás natural sofrerá uma transformação para ser transportado como outro energético. Os detalhes serão esclarecidos nos capítulos que seguem.

### 4.1 Gasodutos

Essencialmente, existem três tipos de gasodutos responsáveis pelo transporte do gás natural: os que levam o gás do ponto de extração às unidades de separação e tratamento -

geralmente têm diâmetro e pressão pequenos quando comparados aos interestaduais, que podem distribuir o gás em vários pontos de seu trajeto através de *city-gates*<sup>2</sup>, e os gasodutos do sistema de distribuição, que atuam em pressão mais baixa que os de transporte.

#### 4.1.1 Características

Os gasodutos principais geralmente tem entre 16 a 42 polegadas de diâmetro. Os gasodutos que são ramificações da linha principal, geralmente possuem diâmetros entre 6 e 16 polegadas.

Os dutos de transporte são em sua maioria produzida em segmentos de aço unidos através de soldas especiais e revestido com algumas camadas protetoras, que são diferentes de acordo com o local aonde estes virão a ser instalados. A maior parte destes é revestido com uma camada de resina de epóxi anti-corrosivo.

Para construção de um gasoduto de transporte de GN são necessários de alguns meses até anos de estudo para se determinar e planejar a necessidade energética da região que será abastecida por este recurso.

Após o traçado ter sido delimitado o passo seguinte se faz da limpeza da linha, com cortes de árvores, superação de barreiras e obstáculos para possibilitar a entrada do maquinário para construção e instalação do duto. Uma vala é então aberta, com profundidades variando entre 1 e 4 metros. Os segmentos de dutos serão soldados uns aos outros e colocados no interior da vala. Para aferição do desempenho dos dutos, um teste hidrostático deve ser realizado. Consiste em preencher com água à mesma pressão do que o gás ficará durante a operação do duto para verificar se não há falhas ou fissuras ao longo do gasoduto. Após os testes realizados, o duto será coberto pela camada de terra que foi retirada da vala e sinalizações de segurança serão espalhadas por todo o trajeto.

Se o gasoduto cruzar áreas alagadas, como rios ou lagos, a vala pode ser aberta no fundo da área alagada, porém o duto é inserido em uma caixa de concreto para evitar que haja vazamento de gás na água e para permitir que o duto permaneça no fundo do rio. Outra forma

---

<sup>2</sup> *City-gates*: são estações de entrega do gás natural, saindo do gasoduto principal e passando através de equipamentos que reduzem a pressão para entrar no sistema de distribuição local.

de cruzar áreas alagadas que é usada onde há rodovias, é a construção de um túnel para a passagem da tubulação.

Os gasodutos devem ser delimitados pela faixa de servidão, que é o espaço de terra sobre o gasoduto e que compreende uma faixa de aproximadamente 20 metros (10 metros de cada lado do gasoduto), devidamente sinalizada e demarcada. Ela deve estar sempre limpa e visível e com os acessos livres de obstáculos e detritos. A Faixa de Servidão tem como objetivos: delimitar o traçado do gasoduto, proteger o gasoduto, identificar os locais de instalação dos equipamentos de controle e operação e impedir escavações, construções, ocupações e obras em geral no limite da faixa.

Continuamente são feitas inspeções terrestres e aéreas ao longo dos dutos, por pessoal especializado, para constatação de qualquer eventual ação de terceiros que possa colocar em risco a integridade física das instalações. Também são realizadas inspeções internas por equipamentos instrumentados que percorrem toda a tubulação, registrando eletronicamente qualquer anomalia (site da TBG).

#### **4.1.2 Impactos Ambientais**

Com o início das obras e a construção da faixa de servidão, começa a se registrar a contaminação dos recursos hídricos locais, degradação dos caminhos antes utilizados pelas populações, poluição atmosférica e do solo. Quilômetros de caminhos laterais abertos na floresta permitem a invasão por parte de empresários ilícitos, que começam com a depredação e podem levar à sua destruição. A faixa é utilizada por pessoas não autorizadas, para a realização de atividades ilícitas de extrativismo florestal, garimpo, extensão ilegal da fronteira agrícola ou bio-pirataria. Nas superfícies das faixas de servidão, nas clareiras abertas no mato para depositar o material e nos trajetos entre as clareiras e as faixas, existem árvores frutíferas, que são derrubadas e que também constituem parte importante tanto da alimentação das comunidades afetadas, quanto das relações comerciais entre as diferentes comunidades (ACEBRÓN, 2006).

A compactação do solo provocada pelas máquinas impede a infiltração da água e provoca um processo de erosão nas clareiras abertas. Existem também perdas de terrenos agrícolas, derivados da implementação das obras (ACEBRÓN, 2006).

Esses impactos e suas causas são descritos no quadro sintético da Tabela 4.1. a seguir.

**Tabela 4.1. Quadro sintético dos impactos ambientais causados por gasodutos**

CAUSA/ATIVIDADE	IMPACTOS	ETAPA*
<b>Meio Físico</b>		
Limpeza do terreno e Abertura de valas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impactos decorrentes da abertura do terreno, terraplenagem e abertura de vala na faixa de implantação do tramo do gasoduto sobre estabilidade do solo e condições geotécnicas</li> <li>ruídos e poeiras</li> <li>erosão do solo</li> </ul>	C
Emissões aéreas de dióxido de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>contribuição para o efeito estufa</li> </ul>	O
Emissões aéreas de óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e nitratos	Dependendo da concentração: <ul style="list-style-type: none"> <li>produção de oxidantes fotoquímicos</li> <li>diminuição da visibilidade (smog)</li> <li>participação na acidificação das chuvas</li> </ul>	O
Vazamentos involuntários do sistema de manuseio e estocagem de combustíveis líquidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>contaminação dos cursos de água</li> </ul>	O
Efluentes sanitários	<ul style="list-style-type: none"> <li>diminuição do oxigênio dissolvido no corpo receptor</li> </ul>	O/C
<b>Meio Biótico</b>		
Limpeza do terreno, Abertura de valas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferência na fauna e flora</li> <li>Interferência na biota aquática</li> </ul>	C
Emissões aéreas de óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e nitratos	Dependendo da concentração: <ul style="list-style-type: none"> <li>interferência na flora e fauna</li> </ul>	O
Vazamentos involuntários do sistema de manuseio e estocagem de combustíveis líquidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>interferência na flora e fauna aquáticas</li> </ul>	O
Efluentes sanitários	<ul style="list-style-type: none"> <li>interferência na flora e fauna</li> </ul>	C/O
Movimentação de máquinas e equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>geração de ruído de fundo, causando incômodo</li> </ul>	C
Resíduos sólidos, filtros, panos, estopas e borras	<ul style="list-style-type: none"> <li>interferência na flora e fauna</li> </ul>	O

Fonte: (UDAETA, GRIMONI, GIMENES, CARVALHO - GEPEA – USP)

### 4.1.3 Impactos Sociais

Com a construção de grandes gasodutos são relatadas uma série de impactos da ordem social, estes impactos podem ser positivos e/ou negativos e serão citados a seguir.

\* ETAPAS:  
 P = projeto  
 C = construção  
 O = operação

### - Positivos

O principal impacto social positivo quando há uma grande obra civil é a geração de emprego provocada pelos empreendimentos, mesmo este sendo um trabalho temporário. Devido à mão-de-obra não exigir uma qualificação de seus empregados, os salários geralmente são baixos, mas, melhores que os recebidos em outras atividades realizadas nas regiões (geralmente regiões isoladas e de difícil acesso).

Um outro impacto muito importante está na entrada ou no aumento dos *royalties* e outros impostos no orçamento público local. Essas novas entradas de capital podem ser revertidas, ao menos uma parcela, em projetos de ordem social. Também podem ser revertidas na construção ou melhoria da infra-estrutura local, atraindo algumas indústrias para a região e conseqüentemente melhorando ainda mais as condições sociais e de renda locais.

### - Negativos

No caso particular da indústria do petróleo e gás no Brasil, com as descobertas do Juruá, em 1979, o cientista econômico e jurídico de Manaus, Professor Samuel Benchimol, identificou uma série de conseqüências negativas para a cidade de Caruarí que classificou em sete categorias (apud GAWORA, 2003, p. 150):

- efeito de atração: atraídos pelas possibilidades de emprego, seringueiros e ribeirinhos abandonaram suas lavouras. Isso provocou uma queda na produção de alimentos e produtos, e o aumento da dependência comercial em relação a fornecedores de Manaus.

- efeito de substituição: a inflação derivada da nova situação fez piorar a alimentação da família e seu bem-estar, enquanto o trabalhador ficava duas semanas nos trabalhos de sondagem onde era bem tratado. Ao regressar ao lar, a situação doméstica era pior para o trabalhador do que no campo de trabalho.

- efeito de prestígio: trabalhadores que trabalhavam no petróleo, vestidos com capacete e uniforme, ganhavam mais que os ribeirinhos e seringueiros, adquiriam maior prestígio social e provocavam uma diminuição do prestígio dos seringueiros e ribeirinhos.

- efeito de demonstração: o maior prestígio social e a maior capacidade econômica dos trabalhadores do petróleo motivava as meninas e mulheres a manter relações com eles, o que provocou um aumento de casos de gravidez em meninas.

- efeito de reivindicação: é o único efeito considerado como positivo pelo Prof. Benchimol. Ao longo da implementação dos projetos, os moradores locais percebiam que apenas com uma melhor formação é possível conseguir sucesso no mercado de trabalho. Reivindicava-se portanto uma melhor formação.

- efeito de expulsão: podia acontecer que uma melhor formação e a prosperidade repentina provocavam uma frustração quando a Petrobras abandonava a cidade. Unido à falta de trabalho nos setores tradicionais, podia-se esperar uma maior migração para a cidade, Manaus.

- efeito de exclusão: em longo prazo, a exploração demandava poucos trabalhadores especialistas bem pagos, provocando a escassez de emprego.

Todos os efeitos citados estão longe de serem uma exclusividade daquela região e acontecem na maioria dos empreendimentos onde existam obras civis que requerem uma grande quantidade de mão-de-obra. Alguns outros efeitos podem ser listados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2. Impactos sociais causados por gasodutos**

CAUSA/ATIVIDADE	IMPACTOS	ETAPA
Apropriação da área para a construção do gasoduto, Limpeza do terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• restrições de uso no solo na faixa de domínio do gasoduto</li> <li>• perda da produção agrícola</li> <li>• alteração no uso do solo</li> </ul>	C/O
Limpeza do terreno e Abertura de valas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos decorrentes da limpeza do terreno e abertura de valas sobre sítios de interesse arqueológico</li> </ul>	C
Emissões aéreas de óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e nitratos	Dependendo da concentração: <ul style="list-style-type: none"> <li>• diminuição da visibilidade (smog)</li> <li>• irritação nos olhos e garganta</li> </ul>	O
Efluentes sanitários	disseminação de doenças	C/O
Fluxo migratório em função do empreendimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• acréscimo de demanda nos serviços públicos, infraestrutura habitacional e viária</li> <li>• alteração na organização sócio- cultural e política regional</li> <li>• aquecimento da economia regional, seguindo-se de possível retração no término da obra</li> </ul>	C/O

continua...

continuação

Ocupação da área (desmatamento e terraplenagem)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interferência com a população</li> <li>• ruídos e poeiras</li> <li>• alteração no uso do solo</li> </ul>	C
Transporte de equipamento pesado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ruídos</li> <li>• transtorno no trânsito local</li> </ul>	C
Resíduos sólidos, filtros, panos, estopas e borras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interferência com a saúde pública</li> <li>• risco de incêndios</li> </ul>	O

Fonte: (UDAETA, GRIMONI, GIMENES, CARVALHO - GEPEA – USP)

#### 4.1.4 Custos Envolvidos

Diversos fatores estão inclusos num projeto de construção de um gasoduto. Pode-se citar alguns destes fatores que serão utilizados neste trabalho para o cálculo do custo do empreendimento no estudo de caso. Antes de qualquer passo é necessário ter em mãos o volume de GN que será transportado no gasoduto. A partir deste valor, a etapa seguinte está na escolha do melhor especificação do aço para o duto, esta escolha varia de acordo com a pressão desejável no projeto. O custo padrão dos tubos é dado em dólares americanos por metro vezes polegadas (US\$/m.pol), ou seja, considera o custo de acordo com o comprimento e o diâmetro do duto. Alguns itens que devem ser incluídos neste cálculo são as válvulas de bloqueio – geralmente usa-se uma a cada 20 km de construção -, também se deve incluir o custo dos compressores. Outros fatores, como os tipos de terrenos, tipo de urbanização por onde o gasoduto irá atravessar e os tipos de válvulas entram como fatores multiplicadores nesses cálculos. Algumas tabelas que exemplificam estes multiplicadores estão mostradas abaixo.

**Tabela 4.3. Fator multiplicativo devido à característica do terreno**

TERRENO	FATOR
Levemente Ondulado	1,0
Ondulado	1,1
Fortemente Ondulado	1,2
Montanhoso	1,8
Amazônia	2,0

Fonte: (Petrobras S/A)

**Tabela 4.4. Fator multiplicativo devido à urbanização local**

URBANIZAÇÃO	FATOR
Rural	1,0
Urbano/Loteamento	2,0
Urbano/Favela	3,0

Fonte: (Petrobras S/A)

**Tabela 4.5. Fator multiplicativo de acordo com o tipo de válvulas usado**

VÁLVULAS	FATOR
Manual	1,00
Motorizada	1,20
Autônoma	1,50
Controle	1,30
Fechamento Rápido	1,70

Fonte: (Petrobras S/A)

## 4.2 Gás Natural Liquefeito (GNL)

A tecnologia para liquefação do gás foi desenvolvida na primeira metade do Século XX, com o intuito de extrair hélio do ar. Na década de quarenta, esta tecnologia foi adaptada pela indústria americana de gás natural, inicialmente para armazenar quantidades substanciais de gás em espaço pequeno, tendo em vista as variações diárias e sazonais da demanda. Em 1959, a primeira carga de gás natural liquefeito (GNL) foi transportada dos Estados Unidos para a Inglaterra em navio especialmente preparado para este produto. O êxito desta viagem conduziu à construção da primeira unidade de GNL na Argélia, no início da década de 60. (GASNET)

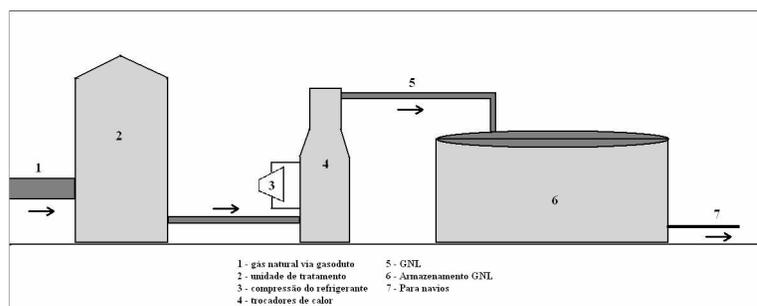
A partir da Argélia, o GNL chegou inicialmente à Inglaterra, depois à França e outros países europeus. No final da década, uma unidade construída no Alasca iniciou o abastecimento do Japão, que se tornou ao longo do tempo o maior importador da GNL, absorvendo 60% da produção mundial, que chegou a 112,9 milhões de toneladas em 2000. O mercado norte-americano, por outro lado, que era inicialmente considerado o maior consumidor potencial de GNL, não se desenvolveu; hoje apenas 2% da produção mundial fluem para aquele país (ano base 2004), mas esta situação está mudando rapidamente. Com o

crescimento do consumo acelerado pelo uso em geração elétrica, e esgotamento das reservas norte-americanas de gás natural, o GNL está em fase de retomada nos Estados Unidos, havendo perspectiva de que, nos próximos quinze anos, atinja 20% do consumo do país. (GASNET)

Temos hoje diversos países importadores de GNL, e doze que são produtores (Indonésia, Argélia, Malásia, Catar, Austrália, Brunei, Nigéria, Abu Dhabi, Trinidad e Tobago, Omã, Alasca (EUA) e Líbia). Neles estão operando cerca de 20 plantas, várias delas em ampliação, abastecendo a Europa e o Extremo Oriente (Japão, Coréia e Taiwan), e já agora iniciando o abastecimento da costa leste americana. (GASNET)

Para que o gás natural mude para o estado líquido é necessário que este seja resfriado à temperatura de  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este processo de liquefação é um tanto complexo e custoso, portanto requer uma grande quantidade de energia para que possa ser concluído. Em resumo, o processo de liquefação do gás natural engloba várias etapas, e pode ser apresentada como uma cadeia de processos que começa na produção do GN, depois a liquefação, transporte, que pode ser: marítimo, fluvial, trens ou caminhões, armazenamento e regaseificação no destino e finalmente a distribuição. A vantagem de se liquefazer o GN é devido a sua redução de volume quando comparado ao seu estado gasoso, ocupando 600 vezes menos espaço para uma mesma quantidade de gás, facilitando assim o transporte e armazenamento deste recurso.

A instalação em geral marítima é construída em locais de bom calado (mínimo 14 m), em baía abrigada e o mais próximo possível dos campos produtores (se forem campos *offshore*<sup>3</sup>), compõe-se basicamente, como se vê na Figura 4.1 de uma unidade de tratamento, do conjunto de trocadores de calor e dos tanques de armazenagem.

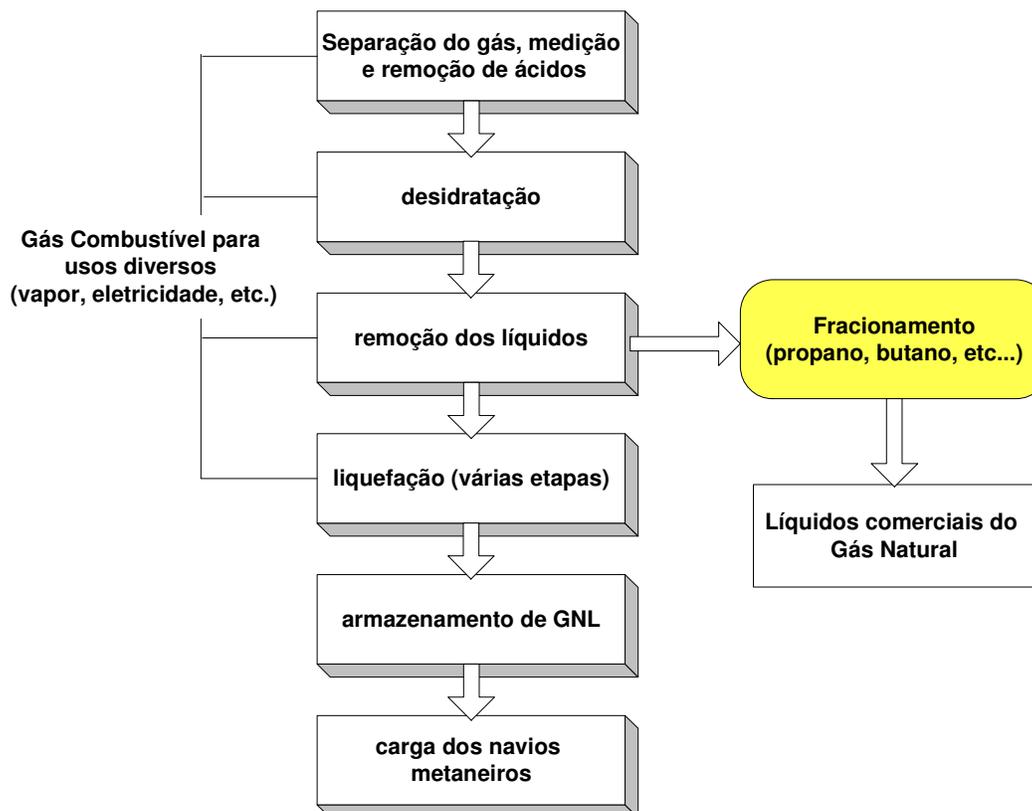


**Figura 4.1. Terminal de liquefação do gás natural**

Fonte: (elaboração própria)

<sup>3</sup> Campos *Offshore* – são campos de extração de petróleo ou gás natural localizados em mar

Na Figura 4.2 se pode observar as etapas de obtenção do GNL



**Figura 4.2. Obtenção do GNL**

Fonte: (elaboração própria)

## 4.2.1 Tecnologia de Transporte

### - Através de navios metaneiros

O transporte do GNL corresponde a uma parcela de 10 a 30% dos custos totais na cadeia de valor do GNL. Os metaneiros são comprados pelos produtores de GNL, mas, às vezes, também são construídos independente de um projeto específico de GNL.

A evolução do transporte de GNL via navios foi bem dramática. Enquanto o primeiro metaneiro nasceu de uma conversão de um cargueiro com tanques de alumínio isolados em uma balsa de madeira, os metaneiros modernos têm dupla camada desenvolvida especificamente para a segurança e eficiência no transporte de líquidos criogênicos. Em maio

de 2005 estavam operando 181 metaneiros, com outros 74 em construção para serem entregues entre 2005 e 2007.

Mais ou menos metade da frota de metaneiros do mundo é do tipo “membrana”, enquanto a outra metade é projetada para ser do tipo “esférico” ou Moss, a Figura 4.3 ilustra os dois tipos respectivamente.



**Figura 4.3. Tipos de navios para transporte de GNL**

Fonte: (Departamento de Energia dos EUA)

Desde 2004, aproximadamente três quartos dos novos metaneiros em construção ou em plano são do tipo “membrana” devido principalmente ao objetivo de ampliar a capacidade de carga, aproveitando todo espaço do navio, reduzindo os custos de capital e tempo de construção.

Um pequeno número de navios em serviço foi construído pelo estaleiro IHI no Japão, tendo estes uma característica própria do tanque, conhecido como tanque “prismático”. Como nos tanques esféricos, o tanque “prismático” é separado do corpo do navio. Um pouco de GNL pode evaporar ou fluir através do tanque.

No terminal marinho ou instalação satélite, bombas transferem o GNL dos tanques de armazenagem para sistemas aquecidos, sendo que o líquido rapidamente retorna ao estado de vapor. Os sistemas de “temperatura ambiente” usam calor do ar ou da água do mar (geralmente a água está fria, mas é mais quente que o GNL) para vaporizar o líquido criogênico, nisto o sistema de “temperatura ambiente” adiciona calor para queima de combustível para esquentar indiretamente o GNL através de um líquido intermediário.

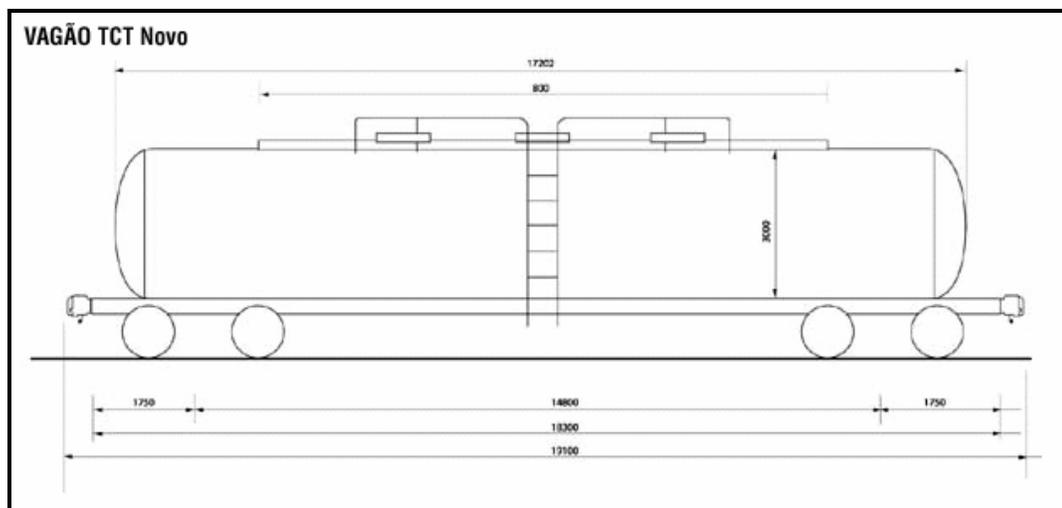
Após isso, o gás natural estará pronto para ser entregue às redes de gasodutos nacionais de transmissão e distribuição para usos residenciais, industriais ou geração elétrica, utilizando turbinas a gás.

#### **- Através de caminhões**

O GNL também pode ser transportado a granel através de caminhões com tanques especiais com capacidade de até 65 mil litros de gás liquefeito (CEM International). São feitos com material isolante térmico, chamados de tanques criogênicos. Servem para abastecer mercados de médios e pequenos portes, geralmente longe de gasodutos de transporte. No consumidor deverão existir tanques de armazenamento para o GNL e, dependendo do uso, uma pequena central de regaseificação para este gás.

#### **- Através de trens**

Outro meio de transportar o GNL é através trens. O meio ferroviário pode ser viável quando se demandam altos volumes de gás natural e já existam ferrovias implantadas no local. Os trens serão compostos de uma ou mais locomotivas e de vagões especiais projetados para armazenar este GNL. O volume máximo de cada vagão pode chegar a 120.000 litros de GNL, ou o equivalente a 72.000 m<sup>3</sup> de gás natural em seu estado normal (a Figura 4.4. a seguir representa um vagão de GNL). Cada trem pode ter até 200 vagões (baseado no sistema norte-americano), representando um grande volume transportado por composição (aproximadamente 14,4 MMm<sup>3</sup> de gás natural / trem). Cada trem roda a uma velocidade de até 100 km/h dependendo do local do trajeto. No consumo devem existir reservatórios para estocar o GNL enquanto o trem volta pra buscar mais gás liquefeito. Geralmente, para que se mantenha um sistema de entrega eficaz, utiliza-se mais de um trem, enquanto um está entregando o GNL, outro já está preparado para fazer a viagem até o destino novamente.



**Figura 4.4. Representação de um vagão criogênico**

Fonte: (Companhia Vale do Rio Doce)

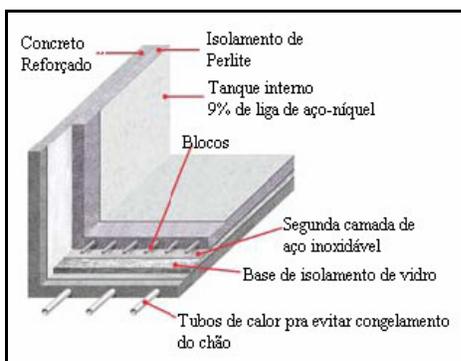
#### **- Benefícios de estocar o GNL**

A estocagem de GNL ajuda a suprir as necessidades de consumo nos dias mais frios do inverno, particularmente do gás utilizado substancialmente pelos consumidores residenciais e então uma demanda altamente sazonal do gás. Em um desses dias de pico de demanda, o armazenamento do GNL mostra-se indispensável devido sua rápida capacidade de regaseificar e entregar grandes capacidades de gás natural aos sistemas de distribuição regionais.

#### **- Técnicas Modernas de Estocagem do GNL**

Antes da regaseificação, o GNL é estocado em pressão atmosférica em tanques isolados de dupla parede com características inovadoras e altamente seguros. As paredes do tanque, compostas de um aço especial de alta pureza combinado com níquel e alumínio e recoberto com concreto compactado, são capazes de manter as temperaturas criogênicas. Os tanques de estocagem de GNL são feitos a partir de blocos de concreto vitrificados com “perlite” vulcânico e com adição de cimento Portland, tudo reforçado com barras de aço. Estes blocos separam a tanque criogênico do chão. O perlite também é usado para isolamento das paredes do tanque.

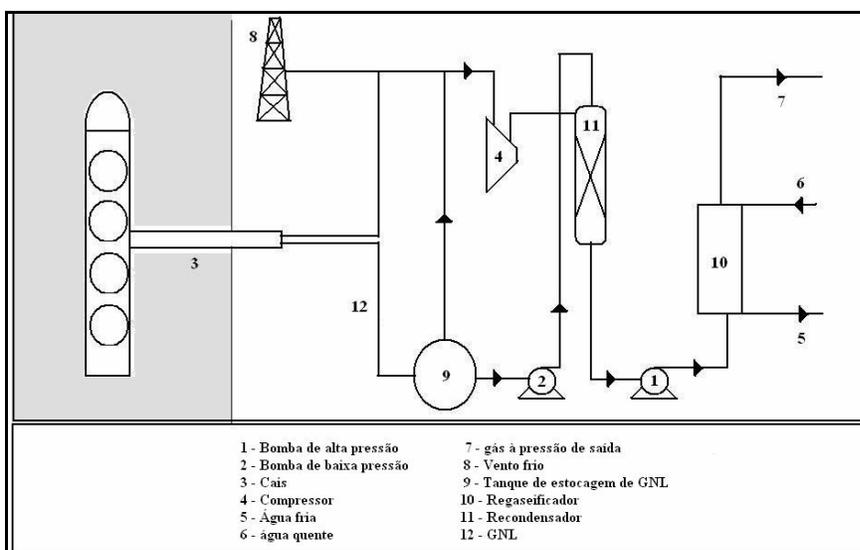
Para segurança contra vazamentos, alguns tanques de estocagem tem um sistema de duplo compartimento, sendo que, tanto o tanque interno quanto o externo são capazes de armazenar o GNL. A seguir tem-se na Figura 4.5. que demonstra o isolamento do tanque de estocagem do GNL.



**Figura 4.5. Isolamento térmico dos tanques de armazenamento de GNL**

Fonte: (adaptado de: “*Liquefied Natural Gas: Understand the Basic Facts*”, Departamento de Energia dos EUA)

Os regaseificadores podem usar água do mar para reaquecer o GNL, ou vapor quando há uma termelétrica nos arredores, como é muito freqüente. Neste caso, a expansão do gás ao se vaporizar poderá acionar turbinas, capazes de adicionar alguma potência à termelétrica. Há ainda uma possibilidade de usar o frio liberado na regaseificação para indústria de alimentos. A Figura 4.6 ilustra um terminal regaseificador e seus componentes.



**Figura 4.6. Terminal regaseificador do gás natural**

Fonte: (elaboração própria)

#### **4.2.2 Impactos Ambientais**

Como uma planta de liquefação, para se tornar viável, geralmente deverá ficar nas proximidades do campo produtor de gás natural, o espaço ocupado por esta não será de grande importância ambiental, pois, o local provavelmente já terá sofrido todas as consequências necessárias para implantação dos equipamentos de extração e tratamento do gás natural, então os estudos de degradação ambiental estarão ligados aos processos de liquefação em si.

Como citado anteriormente, para se liquefazer o gás natural são necessários diversos trocadores de calor. Os trocadores geralmente funcionam a partir da compressão de gases refrigerantes (mesmo princípio das geladeiras), e então liberam uma grande quantidade de calor nos condensadores. Para resfriamento dos condensadores geralmente utilizam água corrente, que é retirada dos rios ou do mar, e muitas vezes esta água é devolvida com a temperatura acima do que foi retirada, causando assim um enorme desequilíbrio do ecossistema local.

Outros impactos menos comuns são possíveis vazamentos do gás natural durante as etapas dos processos de compressão e recompressão do GN. O gás natural, apesar de se dissipar facilmente no ar é um grande contribuinte para o efeito estufa, composto em sua maior parte de metano, vale destacar que uma molécula de metano é aproximadamente vinte vezes mais contribuinte ao efeito estufa que uma molécula de dióxido de carbono.

Após o GN estar em sua forma liquefeita, tem-se a etapa do transporte deste, os maiores impactos nesta etapa estão nas emissões causadas pelos meios de transporte, seja ele feito através de navios metaneiros, trens, caminhões ou barcaças. As rotas do transporte não foram citadas como impactantes, pois são utilizadas infra-estruturas já existentes (estradas de rodagem, estradas de ferro, rotas fluviais).

#### **4.2.3 Impactos Sociais**

Devido às plantas de GNL geralmente serem construídas nas proximidades dos campos de extração do GN, os impactos de crescimento demográfico exagerado de uma determinada região isolada, não são exclusivos da obra desta planta de liquefação. Aliás, esta

seria uma das menores contribuintes para este crescimento, pois emprega bem menos mão-de-obra quando comparado aos empregos fornecidos pela construção de todo o sistema de obtenção e tratamento do gás natural.

Os impactos positivos estão diretamente relacionados à geração de empregos, seja na obra civil, como também na contratação e/ou treinamento de pessoal especializado em operar a planta, e pessoas aptas a conduzir os meios de transporte que carregam o GNL. Os estaleiros utilizados para construção dos metaneiros e barcaças geralmente ficam longe da planta de GNL (quando os navios não são importados), portanto não podem ser considerados como fonte de benefício social local.

#### 4.2.4 Custos envolvidos

Existem diversos custos envolvidos numa planta de GNL que vão desde a construção, sistema de transporte, até aos terminais regaseificadores, mas o objetivo principal do trabalho está em identificar os custos dos meios transportadores em si. Por exemplo, os custos envolvidos na construção, operação e manutenção de um navio metaneiro, trens ou caminhões de GTL. Abaixo na Figura 4.7 temos um exemplo de custos de toda a cadeia de produção do GNL, dividido por etapas.

				
	<b>Exploração e Produção</b>	<b>Liquefação</b>	<b>Transporte</b>	<b>Estocagem e regaseificação</b>
	Produção de gás natural, pré-processamento em planta e transporte	Planta de liquefação incluindo os processos de pré-liquefação, estocagem e carregamento dos navios	Transporte via navio	Terminal de recebimento, incluindo descarga, estocagem, regaseificação e entrega
% Total dos Custos de Capital (EIA, 2003)	15 a 20	30 a 45	10 a 30	15 a 25
Exemplo de Custo de Capital	grande variação	de US\$ 1,5 a 2 bilhões para uma planta com capacidade de produção de 8,2 m <sup>3</sup> de toneladas de LNG/ano	US\$ 155 milhões para a compra de um único navio de 138.000 m <sup>3</sup> ou US\$ 60.000 por dia de transporte	US\$ 400 milhões para um terminal nos EUA com capacidade de entrega entre 180 e 360 Bcf/ano
				*Bcf = bilhões de pés cúbicos

**Figura 4.7. Exemplo de custos da cadeia do GNL**

Fonte: (adaptado de: “*Liquefied Natural Gas: Understand the Basic Facts*”, Departamento de Energia dos EUA)

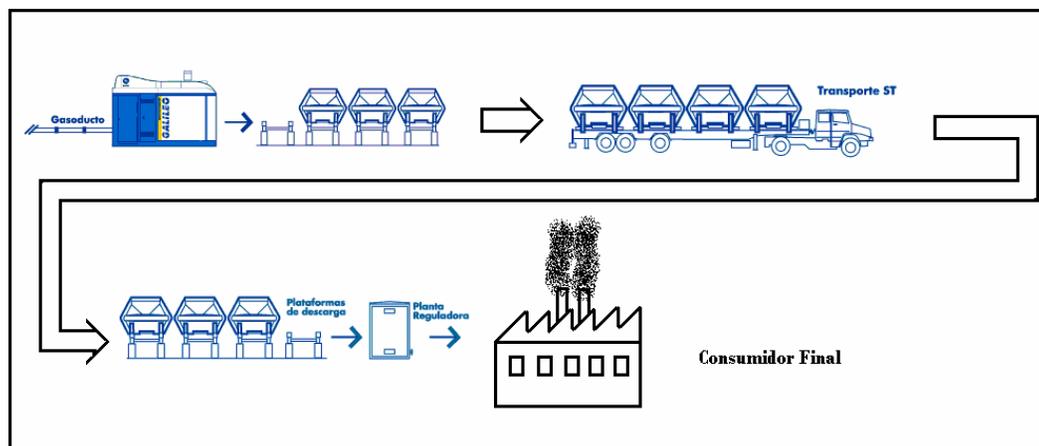
O sistema de transporte de GNL escolhido para o estudo de caso foi o transporte via trens, os detalhes da escolha serão explicados no capítulo referente a este estudo. Para este transporte, diversos valores foram incluídos no cálculo dessa infra-estrutura. Como exemplo tem-se que utilizar os valores por vagão, valores das locomotivas, e custo de operação e manutenção deste meio.

### **4.3 Gás Natural Comprimido (GNC)**

O transporte do GNC é possível graças à redução do volume do gás através da sua compressão. O Gás Natural Comprimido ocupa um volume cerca de 268 vezes menor que o volume ocupado nas condições normais. Quanto maior a compressão do gás, menor o volume ocupado e, portanto, maior será a quantidade transportada. Nesse procedimento, o gás pode ser transportado em cilindros capazes de suportar taxas de compressão de 3000 psig ou 200 bar (RADU, 2002).

No sistema de transporte via GNC, primeiramente retira-se o gás natural em um ponto de coleta do gasoduto. Em seguida, comprime-se o gás através de uma estação de compressão até encher a carreta de transporte, para depois transportar o gás até o ponto de consumo. Neste momento, será feita a transferência do gás dos módulos para um ponto de armazenagem no destino final (PERRUT, 2005).

O GNC é uma ótima alternativa para alavancar mercados que não são atendidos por gasodutos de transporte. Geralmente são parques industriais isolados que tem uma rede de distribuição própria. A logística de atendimento pode ser feita através de um sistema conhecido como estações mãe e filha (Figura 4.8). A estação mãe é a estação de compressão, a estação filha consiste nos módulos de armazenamento que são transportados em carretas. As carretas levam os módulos carregados da estação mãe até os pontos de consumo e voltam vazias para buscar mais módulos cheios para substituir os vazios, fazendo isso num ciclo contínuo.



**Figura 4.8. Exemplo de estações “mãe e filha” de GNC**

Fonte: (Elaboração própria com base no sistema argentino da Galileo)

#### 4.3.1 Impactos sociais e ambientais

Os impactos ambientais são reduzidos, pois estão apenas nas áreas onde serão instaladas as plantas de compressão e transferência do GNC, sendo que muitas vezes o espaço ocupado por estas plantas é pequeno e geralmente próximo ao gasoduto principal, diminuindo ainda mais o número de equipamentos, considerando que o gás que vai para os módulos de transporte está praticamente na mesma pressão do gás transportado nos gasodutos. O maior impacto está nas emissões dos veículos de transporte.

Os impactos sociais são em sua maioria positivos, pois haverá criação de novos empregos. Outro benefício é da arrecadação de novos impostos por parte do governo local, podendo uma parte ser revertida em obras sociais.

#### 4.4 Transporte de Gás Natural em Forma de Eletricidade (GAS TO WIRES – GtW)

Grande parcela do gás natural produzido é usado como combustível para geração elétrica. Considera-se que esta eletricidade pode ser gerada em qualquer lugar, mas preferencialmente próxima a produção do gás natural e assim transportada através de linhas de transmissão até seu(s) destino(s), este é o princípio do “GtW”. Por exemplo, a eletricidade poderia ser gerada em térmicas *offshore* (situadas em águas menos hostis) e transportada até

clientes *onshore* ou até mesmo outros consumidores *offshore*. Infelizmente as linhas sobaquáticas podem ser quase tão caras quanto os dutos de transporte de gás, mas o “GtW” não deixa de ser visto como uma alternativa para o transporte do gás natural. Alguns consideram que o uso energético do gás natural no consumidor final é mais flexível e tem melhor eficiência térmica, por que a perda de calor pode ser usada como aquecimento local e dessalinização. (THOMAS, DAWE, 2003)

Para a transformação do energético gás natural em eletricidade são necessárias termoelétricas, onde o gás pode ser queimado para aquecimento de uma caldeira ou aplicado diretamente em turbinas. O detalhamento técnico do funcionamento das termelétricas não faz parte do estudo e sim apenas o rendimento médio para saber a relação volume de gás natural por quantidade de eletricidade produzido (em kW ou MW).

A partir do momento em que o gás natural se transforma em elétrons, estes serão transportados através de linhas de transmissão. Uma linha de transmissão só é construída quando existe um mercado demandante. Os danos e benefícios provocados pela construção de linhas de transmissão serão objeto de estudo ainda neste item.

#### 4.4.1 Impactos ambientais devido à construção e operação de linhas de transmissão

As causas e os impactos ambientais que ocorrem durante a construção e operação de uma linha de transmissão podem ser resumidos através de um quadro sintético, demonstrado na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6. Impactos ambientais causados por linhas de transmissão**

CAUSA/ATIVIDADE	IMPACTOS	ETAPA
<b>Meio Físico</b>		
Abertura da faixa de passagem, de estradas de acesso, de praças de montagem de estruturas, de áreas de lançamento de cabos e de áreas para canteiro de obras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão do solo</li> <li>• Interferência com recursos hídricos</li> <li>• Efeitos de borda</li> </ul>	C C C/O
Montagem e estruturas e lançamento de cabos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Danos temporários ao solo</li> </ul>	C

continua...

continuação

<b>Meio Biótico</b>		
Abertura da faixa de passagem, de estradas de acesso, de praças de montagem de estruturas, de áreas de lançamento de cabos e de áreas para canteiro de obras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retirada da cobertura vegetal</li> <li>Interferência na fauna</li> <li>Interferências em áreas legalmente protegidas</li> </ul>	C C/O C/O
Montagem e estruturas e lançamento de cabos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Danos temporários a vegetação</li> </ul>	C
Manutenção da faixa de passagem das linhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferência na fauna e na flora</li> </ul>	O
Inclusão de obstáculos artificiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferência na rota de migração dos pássaros</li> </ul>	C/O
Energização e operação da linha, surgimento dos efeitos eletromagnéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efeitos biológicos na fauna e flora</li> </ul>	O

Fonte: (UDAETA, GRIMONI, GIMENES, CARVALHO - GEPEA – USP)

#### 4.4.2 Impactos Sociais

São alguns os causadores de impactos ao meio social que podem ocorrer durante a construção e operação de uma linha de transmissão. Muitos desses danos podem ser identificados na fase de projeto da linha, outros impactos irão ocorrer durante as fases de construção e de operação desta linha. A Tabela 4.7 a seguir se tem uma síntese desses impactos e suas causas.

**Tabela 4.7. Impactos sociais causados por linhas de transmissão**

CAUSA/ATIVIDADE	IMPACTOS	ETAPA
Abertura da faixa de passagem de acesso, de praças de montagem de estruturas de áreas para canteiro de obras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferências com populações indígenas ou outros grupos</li> </ul>	P/C/O
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desapropriação de terras</li> </ul>	C
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitação ao uso do solo devido a servidão</li> </ul>	C/O
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de expectativas nas populações afetada</li> </ul>	P/C/O
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deslocamento nas populações afetadas</li> </ul>	C/O
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indução a ocupação desordenada nas margens de LT's e estradas de acesso</li> </ul>	C/O
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferências na atividade agropecuária</li> </ul>	C/O
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferência em edificações, vias públicas e no tráfego</li> </ul>	C/O
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferências em locais de interesse histórico e cultural</li> </ul>	C/O

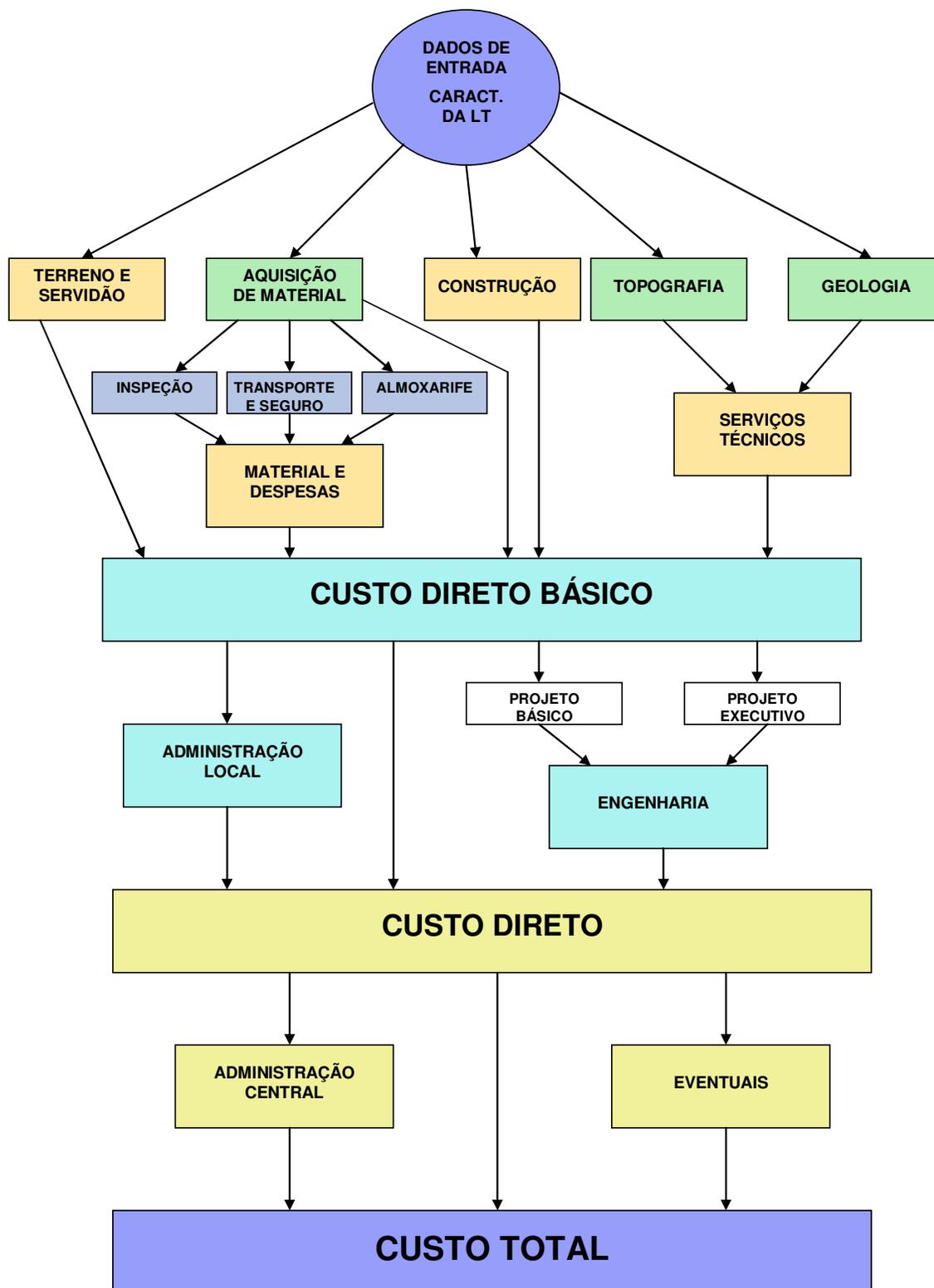
continua...

continuação		
Montagem de estruturas e lançamento de cabos	• Danos temporários às áreas cultivadas	C
	• Interferências com populações indígenas ou outros grupos	C
Transporte de equipamento pesado	• Danos às estradas vicinais e vias públicas	C
	• Interferência no tráfego	
Inclusão de obstáculos artificiais	• Degradação da paisagem, desordem cênica e falta de integração visual	C/O
Energização e operação da linha (surgimento dos efeitos eletromagnéticos)	• Efeitos biológicos	O
	• Efeitos devidos a transferência de potencial	O
	• Rádio interferência, TV interferência e ruído audível	O
Invasão da faixa	• Interferência na linha	O
	• Deposição de entulho e lixo	O
	• Risco de acidentes	C/O

Fonte: (UDAETA, GRIMONI, GIMENES, CARVALHO - GEPEA – USP)

#### 4.4.3 Custos Envolvidos

Vários fatores influenciam nos custos de uma linha de transmissão elétrica, e para evitar uma maior complexidade, foram resumidos através de um diagrama mostrado na Figura 4.9 que se segue.



**Figura 4.9. Diagrama de custos técnico-econômicos de uma linha de transmissão**

Fonte: (ELETROBRÁS S/A, 2005)

## 4.5 Gas to Liquids (GTL) – Gás Natural a Líquidos

O GTL nada mais é do que uma transformação do gás natural em líquidos próximos ou iguais aos derivados do petróleo. O intuito deste item está em dar uma base de como a logística do transporte do gás natural antes e após a conversão em líquidos faz parte do planejamento energético de uma região. A seguir se tem uma descrição básica do processo de obtenção do GTL.

A transformação GTL pode gerar, a partir do gás natural, diesel, lubrificantes, gasolina ou parafinas. Onde o processo químico é transformar as moléculas C em C<sub>++</sub> (com mais carbonos na cadeia molecular), de maior peso molecular. Assim o líquido resultante não pode ser tratado como gás, é uma outra substância. A transformação GTL normalmente envolve três etapas: a quebra do metano em gás de síntese – que é uma mistura de CO e H<sub>2</sub>, a polimerização do monóxido de carbono e do hidrogênio em hidrocarbonetos, e uma hidroisomerização para aumentar a fluidez do produto final.

O GTL em geral utiliza-se do processo “Fischer-Tropsch”, sendo que inicialmente, o gás natural é convertido em gás de síntese ( $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \Rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$ ). Onde as moléculas de metano reagem com água e oxigênio em um reator de leito fluidizado, tendo como base um catalisador de reforma clássica – normalmente de níquel. O resultado é a geração de monóxido de carbono e hidrogênio.

O gás de síntese (conhecido também pela sigla em inglês SYNGAS) é o nome básico dado a uma mistura de monóxido de carbono (CO) e Hidrogênio (H<sub>2</sub>) ou Nitrogênio (N<sub>2</sub>) e Hidrogênio. O syngas pode ser obtido a partir de qualquer fonte de hidrocarboneto.

Uma segunda etapa consiste em polimerizar o monóxido de carbono: o gás de síntese alimenta o reator Fischer-Tropsch, gerando hidrocarbonetos ( $\text{CO} + 2\text{H}_2 \Rightarrow \text{C}_{++} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Nessa etapa, a reação é feita em um reator de leito de lama, tendo um catalisador de ferro ou cobalto.

Na terceira etapa, por assim dizer, as cadeias lineares de carbonos geradas, podem ser transformadas em cadeias ramificadas, se submetidas a uma hidroisomerização. Isso último tem por meta aumentar o ponto de fluidez e melhorar outras propriedades. Essa etapa ocorre

em um reator de leito fixo, com um catalisador com características mais ácidas – normalmente uma zeólita e um metal nobre, como a platina.

Esse processo é voltado basicamente para a produção de parafinas, gasolina, lubrificantes e principalmente um diesel com índice de cetanas superior a 70, e isentos de compostos sulfurosos e aromáticos. Esse diesel é conhecido como diesel ecológico, pois este não contém os poluentes do diesel tradicional derivado do petróleo.

O diesel de GTL é mais caro do que o diesel obtido a partir do refino de petróleo. Porém a qualidade dele é superior ao diesel do refino. Essa qualidade não pode ser alcançada pelo diesel tradicional, mesmo com uma série de processos adicionais.

O GTL é fruto de uma planta de tratamento químico do GN, e esta geralmente é uma grande demandante deste recurso. Logo, podemos ter várias formas de transporte de gás natural para abastecimento desta planta. Os detalhes desta logística serão explicados mais adiante.

Apresentando atualmente uma indústria energética com pouca base no gás natural e com praticamente nenhum projeto de uso massivo do recurso, portanto, a implementação desse projeto e outros de grande escala é um enorme ganho para a atual administração boliviana. A implementação de um projeto GTL-FT gera valor agregado para as reservas de gás natural e permite acessar as economias de escala.

#### **4.5.1 Industrialização do gás natural boliviano**

Como o gás natural boliviano está composto na sua maior parte por metano, deve ser falado em industrializar o metano e, sobre essa base, os outros componentes minoritários que o acompanham. A primeira etapa na industrialização do metano é a obtenção do gás de síntese. O gás de síntese é uma mistura de monóxido de carbono e hidrogênio que é obtida a partir de reações químicas do metano com substâncias abundantes na natureza como o dióxido de carbono, o oxigênio e a água. Como seu nome indica, o gás de síntese é a base para sintetizar muitos compostos de importância econômica e industrial. Dependendo dos compostos que se deseja produzir, o gás de síntese deve ser preparado com alguma das

diferentes proporções de monóxido de carbono e hidrogênio que é obtida a partir das reações químicas que são assinaladas na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8. Reações químicas do metano para formar gás de síntese**

Compostos que reagem	Reação química (sob condições adequadas de pressão e temperatura)	Proporção (mol a mol) de monóxido de carbono a hidrogênio no gás de síntese
Metano com dióxido de carbono	$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$	1:1
Metano com oxigênio do ar	$2\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 4\text{H}_2$	1:2
Metano com água	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$	1:3

Por exemplo, para obter um gás de síntese em que o monóxido de carbono e o hidrogênio estejam numa proporção de 1 a 2, respectivamente, deve-se realizar uma combustão parcial do metano com oxigênio do ar, reação que além disso gera consideráveis quantidades de energia térmica.

Fonte: (Fórum Internacional “Industrialização do Gás Boliviano: Sonho ou Realidade?”)

Para melhor entendimento segue uma tabela com a composição do gás natural boliviano (Tabela 4.9).

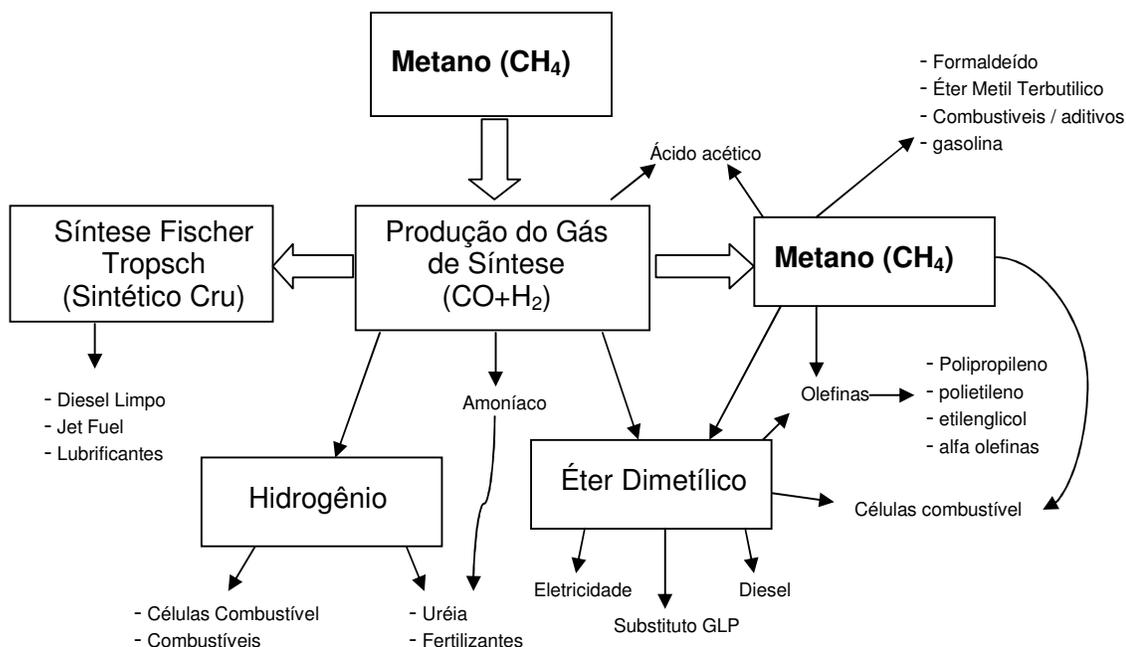
**Tabela 4.9. Composição do gás natural boliviano**

COMPONENTES (%)	San Antonio	San Alberto	Margarita
N <sub>2</sub>	0,50	0,47	0,65
CO <sub>2</sub>	1,85	1,71	1,40
C1	87,51	89,70	87,70
C2	6,54	5,35	6,80
C3	2,41	1,80	2,30
IC4	0,38	0,25	0,42
NC4	0,48	0,37	0,45
iC5	0,15	0,15	0,15
nC5	0,09	0,09	0,09
C6+	0,09	0,11	0,04
Total	100,00	100,00	100,00

Fonte: (Gerencia de Industrialización YPFB, Marzo, 2007)

## 4.5.2 Uso do Gás de Síntese

A partir da reação entre os componentes do gás de síntese, mediante diferentes catalisadores, podem ser obtidos vários produtos como é apresentado na Figura 4.10.

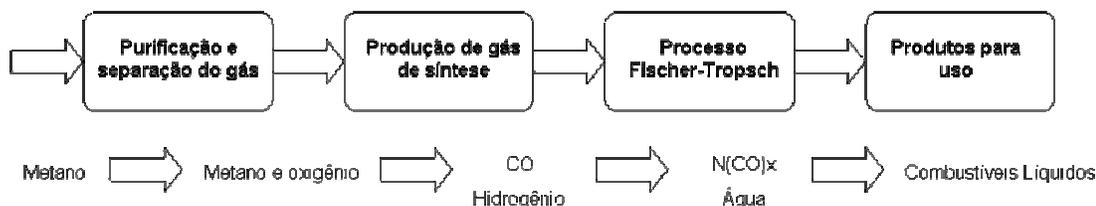


**Figura 4.10. Produtos que podem ser obtidos a partir do gás de síntese**

Fonte: (adaptado de: Fórum Internacional “Industrialização do Gás Boliviano: Sonho ou Realidade?”)

## 4.5.3 Processo Fischer-Tropsch

O projeto consiste em obter gás de síntese a partir da combustão parcial do metano com oxigênio do ar. O gás de síntese assim obtido será transformado em combustíveis líquidos de uso massivo como a gasolina, o diesel e o combustível de aviação. O processo F-T básico é iniciado separando o metano de seus acompanhantes líquidos (gás seco). Compostos como o etano, propano, butano e pentano podem ser industrializados independentemente do projeto F-T. Uma vez produzido o gás de síntese, e realizado o processo F-T, são obtidos os combustíveis líquidos (na Figura 4.11 pode ser observada a industrialização do processo em forma resumida) (ROCHA, 2006).



**Figura 4.11. Processo Básico de GTL em base a F-T**

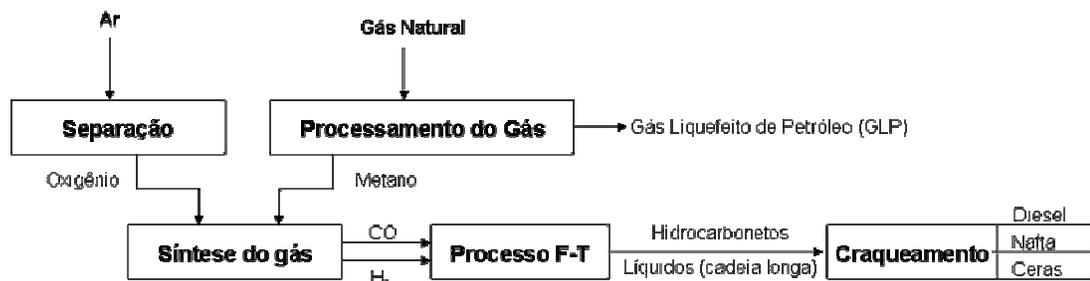
Fonte: (Elaboração própria)

O processo F-T é composto de diversos passos, com grande consumo de energia para separar as moléculas de gás natural, predominantemente metano, e as juntar novamente formando cadeias carbônicas mais longas. O primeiro passo requer a entrada de oxigênio ( $O_2$ ) separado do ar. O oxigênio é insuflado num reator para extrair os átomos de hidrogênio do metano ( $CH_4$ ). Os produtos são gases de hidrogênio sintético ( $H_2$ ) e monóxido de carbono ( $CO$ ), denominado gás de síntese (Figura 4.12.).

O segundo passo se utiliza um catalisador<sup>4</sup> para recombinar o hidrogênio e o monóxido de carbono, dando lugar aos hidrocarbonetos líquidos. Na última etapa, os hidrocarbonetos líquidos são convertidos e fracionados em produtos que podem ser utilizados de imediato, ou ser mesclados com outros produtos. O produto mais conhecido é o diesel extremamente puro, também conhecido como *gas oil*. O diesel obtido com o processo F-T tem algumas diferenças do derivado da destilação do óleo cru: possui um teor de óxido de enxofre e óxido de nitrogênio praticamente nulo, carece virtualmente de conteúdo de aromáticos, sua combustão produz pouca ou nenhuma emissão de partículas e possui um alto índice de cetano<sup>5</sup>. Também podem ser produzidos: querosene, etanol e dimetil-éter (DME). Outro produto da reação é a nafta com alto conteúdo de parafinas. As ceras derivadas do processo GTL podem ser suficientemente puras para serem utilizadas na indústria cosmética e de embalagem de comestíveis. (ROCHA, 2006)

<sup>4</sup> Catalisador: é uma substância que aumenta a velocidade de uma reação. O processo F-T utiliza normalmente catalisadores de ferro, cobalto ou níquel.

<sup>5</sup> O cetano é o equivalente do octano para o diesel, uma medida que quantifica a combustão na gasolina. O índice de cetano mede a qualidade de ignição do diesel. Um valor elevado indica melhor qualidade e um combustível de combustão mais limpa. Os diesel GTL têm um índice de cetano de aproximadamente 75, enquanto a maioria dos diesel obtidos do petróleo destilado têm um índice de cetano que oscila entre 42 e 51.

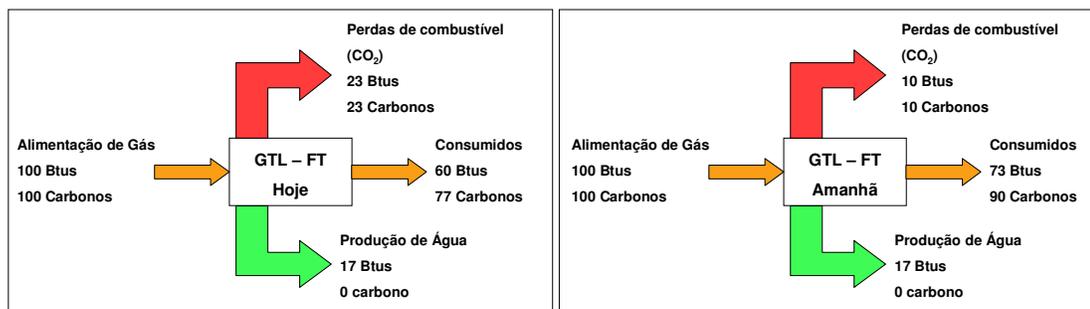


**Figura 4.12. Conversão do gás natural em combustíveis líquidos**

Fonte: (Elaboração Própria)

Pelo exposto anteriormente pode ser concluído que a tecnologia GTL/F-T deve ser desenvolvida em escala industrial pela magnitude dos produtos que podem ser obtidos e pela quantidade de gás existente. Nesse sentido, a Bolívia deve realizar projeções de custos de investimentos e de produção a níveis comerciais que permitam ter um panorama geral do projeto e analisar seus benefícios.

Um aspecto importante é que o nível de eficiência cresceu muito nos últimos tempos, até alcançar aproximadamente o 60%, e em médio prazo espera-se chegar aos 73%, como é mostrado na Figura 4.13. Em termos de volumes, temos em média que para cada barril de GTL produzido necessita-se de 275 m<sup>3</sup> de gás natural (Texaco, 1999). E um barril de GTL é análogo a um barril de petróleo, onde vários subprodutos derivados líquidos podem ser extraídos. Para o caso, o interessante é a quantidade percentual em volume de diesel que pode ser extraído de um barril de GTL e com base na tecnologia aplicada pela Sasol-Chevron é possível extrair, a partir de 34.000 bl/d de GTL, 24.000 bl/d de diesel e 9.000 bl/d de nafta. Em termos percentuais, para cada barril de GTL podemos ter 70,6% de diesel.



**Figura 4.13. Projeção do potencial de eficiência do processo GTL-FT**

Fonte: (Elaboração própria com base em “New Developments in Gas To Liquids Technologies”, Smith, Ronald)

#### **4.5.4 Como transportar o GTL**

Os derivados líquidos extraídos a partir do gás natural (GTL), podem ser transportados de maneira similar aos derivados líquidos de petróleo, ou seja, através de navios, balsas, caminhões e trens, todos equipados com compartimento especial para armazenar esses derivados.

##### **- Transporte através de caminhões**

Este transporte é feito de forma similar ao citado anteriormente para o transporte do GNL, o que irá mudar é o material de construção dos tanques de transporte e armazenamento do GTL, que, por não necessitar de isolamento térmico terá um custo menor em relação aos de GNL.

##### **- Transporte através de trens**

Analogamente ao GNL, outro meio de transportar o GTL é através trens. O meio ferroviário pode ser viável quando se demandam altos volumes de derivados líquidos do gás natural e já existam ferrovias implantadas no local. Os trens serão compostos de uma ou mais locomotivas e de vagões especiais projetados para carregar este GTL. O volume máximo de cada vagão pode chegar a 120.000 litros de GTL, ou o equivalente a aproximadamente 755 barris de GTL (a Figura 4.4. representa um vagão tanque usado para transporte de GTL). Cada trem também pode chegar a ter até 200 vagões, representando um grande volume transportado por composição (aproximadamente 151.000 barris / trem). Cada trem roda a uma velocidade de até 100 km/h dependendo do local do trajeto. No consumo devem existir reservatórios para estocar o GTL enquanto o trem volta pra buscar mais derivados líquidos de GN. Geralmente, para que se mantenha um sistema de entrega eficaz, utiliza-se mais de um trem, enquanto um está entregando o GTL, outro já está preparado para fazer a viagem até o destino novamente.

#### **4.5.5 Impactos ambientais**

Os principais impactos ambientais causados estão no espaço ocupado pela planta de liquefação e nas emissões causadas para que o processo de transformação F-T ocorra. Analisando o transporte em si, os impactos ambientais estão relacionados às emissões aéreas dos meios transportadores deste combustível, impactos no solo devido à necessidade de implantação de estradas de rodagem ou ferrovias (caso não existam), e poluição dos meios hídricos em caso de vazamento do combustível.

#### **4.5.6 Impactos sociais**

Análogo aos impactos causados pelo GNL, item 4.2.3.

## **5 ESTUDO DE CASO**

Um estudo de caso será feito para formalizar o trabalho e servir de exemplo aplicado das metodologias propostas. A região escolhida para análise está atualmente no seu auge de discussões, pois se trata de um local situado entre dois países sul-americanos que já tem um acordo de compra e venda de gás natural, e, devido a impasses políticos e contratuais, os acordos sofreram mudanças. Os países em questão são Bolívia e Brasil, e a região fruto do estudo de caso seria o transporte dos energéticos, gás natural ou eletricidade, para o abastecimento da fronteira entre os dois países.

### **5.1 Contexto**

#### **5.1.1 Identificação da Região de Estudo**

O transporte de energia estudado está compreendido entre duas regiões: os campos produtores de gás natural na Bolívia e a região demandante correspondente à fronteira entre Bolívia e Brasil. Os campos de gás natural do estudo se encontram ao sul da Bolívia, mais especificamente na região administrativa de Tarija, e estão ilustrados através de pontos vermelhos na Figura 5.1.

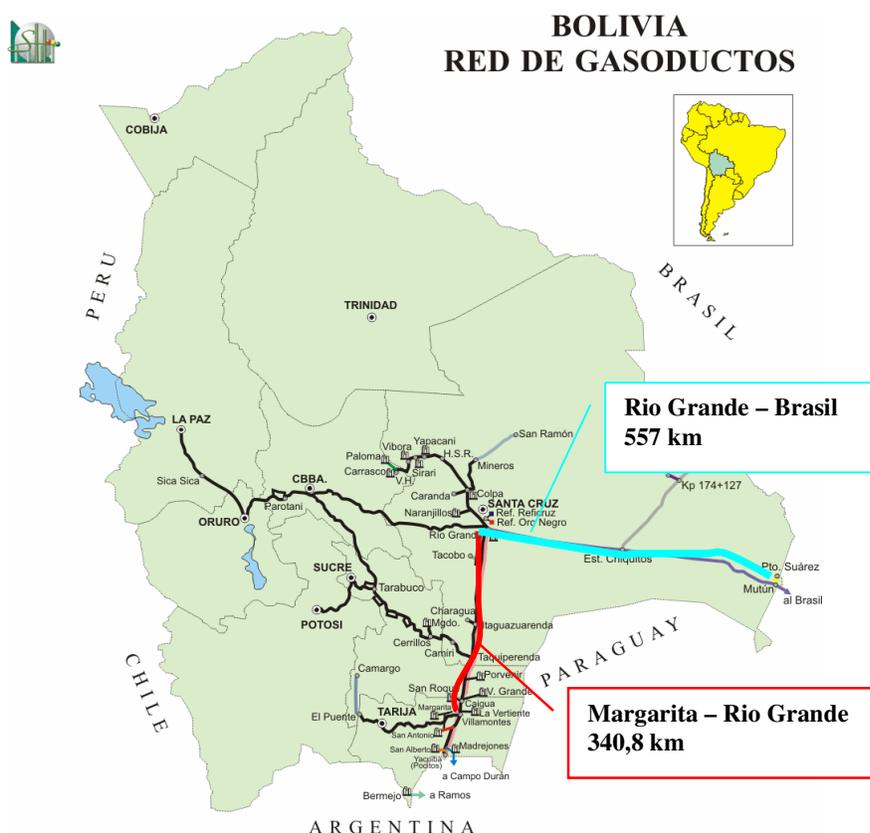


**Figura 5.1. Reservas de gás natural utilizadas no estudo**

Fonte: (adaptação de [http://www.lib.utexas.edu/maps/americas/bolivia\\_reI93.jpg](http://www.lib.utexas.edu/maps/americas/bolivia_reI93.jpg), acessado em novembro de 2006)

São três os campos de extração de gás natural que serão considerados no estudo, conhecidos por Campo de San Antonio, Campo de San Alberto e Campo de Margarita. As reservas correspondentes a estes campos têm um volume de gás natural, considerando reservas provadas mais prováveis, de aproximadamente 25,23 TCF, o que equivale a 51,8% dos 48,7 TCF totais de reservas bolivianas (Ministério de Hidrocarbonetos e Energia da Bolívia, 2005).

O volume de gás natural a ser entregue deverá atender a demanda de alguns energéticos do estado do Mato Grosso do Sul, mais a demanda de GN da mineração e siderurgia na região de “El Mutún”. O transporte das energias seguirá o trajeto já existente de outras infra-estruturas de transporte instaladas na região, e terão que percorrer uma distância de aproximadamente 897,8 km (sendo 340,8 km de Margarita à Rio Grande mais 557 km de Rio Grande à fronteira com o Brasil), como pode ser observado na Figura 5.2.

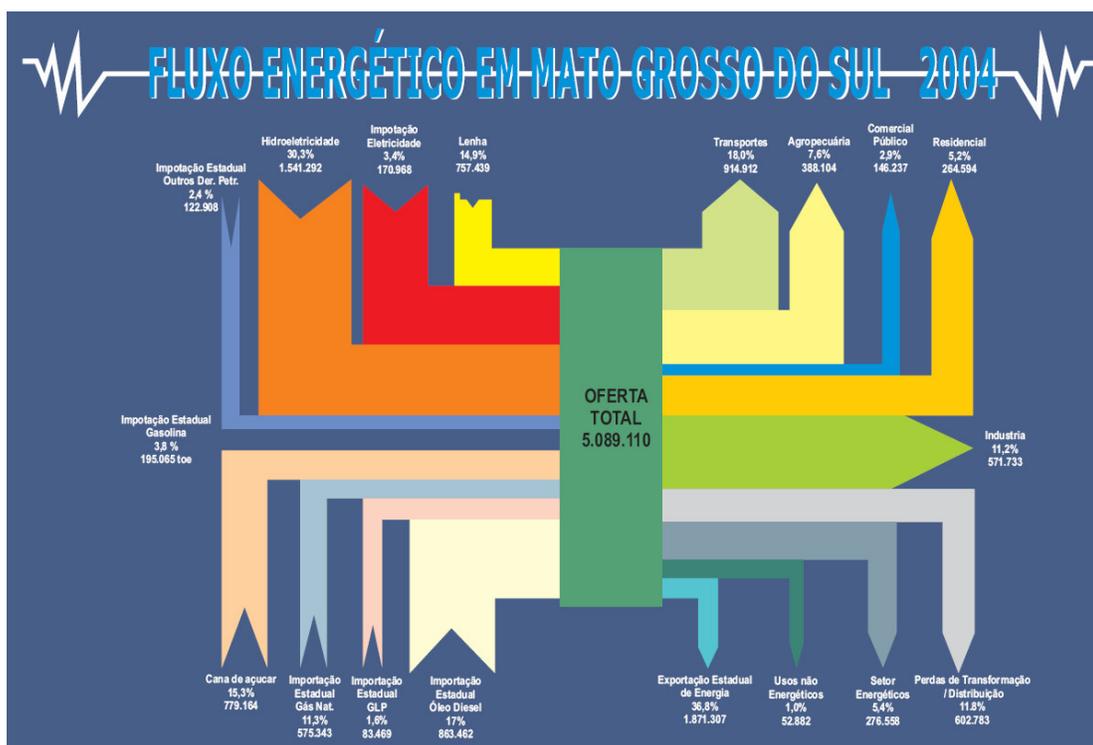


**Figura 5.2. Trajeto e distâncias percorridas pelo transporte energético**

Fonte: (Superintendência de Hidrocarbonetos da Bolívia)

## 5.1.2 Demanda energética do estudo

A região do estudo de caso compreende a fronteira entre Bolívia e Brasil – em território brasileiro o estado do Mato Grosso do Sul (MS) e em território boliviano as reservas de ferro de Mutún. Portanto, para estimar as necessidades energéticas da região, nada melhor que analisar o fluxo energético do estado do MS para estimar quantidades de gás natural e / ou eletricidade para atendimento desta nos próximos anos.



**Figura 5.3. Fluxo energético do MS**

Fonte: (Balanço Energético do Estado do Mato Grosso do Sul, 2005)

O diagrama acima (Figura 5.3.) foi extraído do “Balanço Energético do Estado do Mato Grosso do Sul 2005”. Observa-se que o estado é um grande importador de energéticos. Alguns desses podem ser supridos pelo país vizinho, no caso, a Bolívia. Considerando que alguns derivados de petróleo podem ser substituídos por derivados do gás natural boliviano (através do GTL), tem-se um volume de diesel consumido de 863.462 toe (100% importado). A importação só de gás natural está na ordem de 575.343 toe. O consumo elétrico é de 298.420 toe (em 2004).

**Tabela 5.1. Consumo total dos energéticos substituíveis pelo GN**

<b>Recurso Energético</b>	<b>Quantidade em toe/ano</b>
Eletricidade	298.420
GN importado	575.343
Diesel importado	863.462
<b>Total</b>	<b>1.737.230</b>

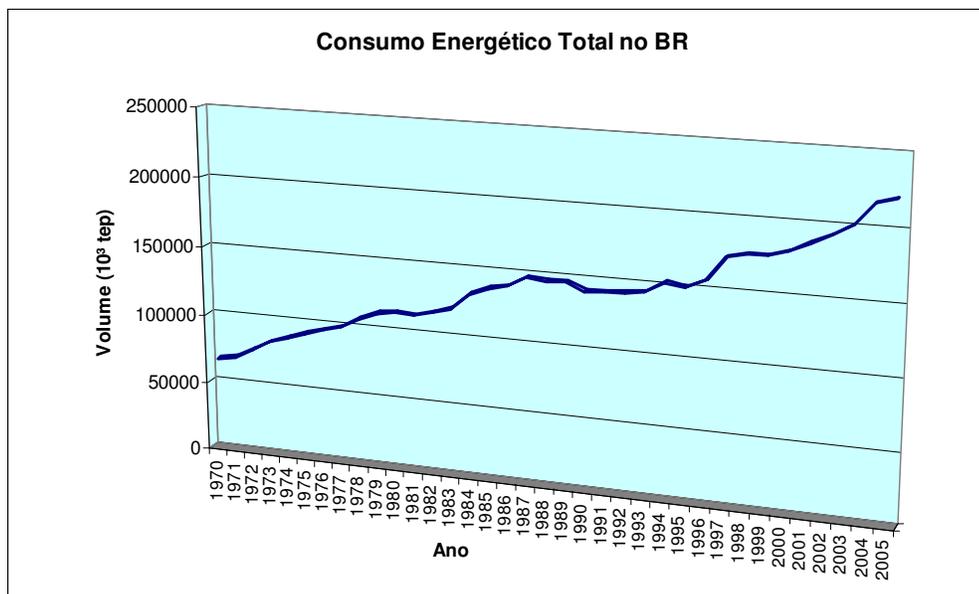
Fonte: (elaboração própria)

Com base nos dados apresentados se pode trabalhar com essas informações e estimar os volumes de gás natural boliviano que seriam utilizados nas opções do estudo de caso. Cabe destacar que pra cada opção temos uma forma energética diferente, variando entre eletricidade, gás a líquido e o próprio gás natural puro. Em alguns caso pode-se ter uma combinação destes energéticos.

Como exercício, será considerado que toda eletricidade consumida na região de estudo será provinda da geração termelétrica a gás natural, necessitando assim de um cálculo que considere o rendimento médio das térmicas para a transformação do gás natural em eletricidade. Todo o diesel importado atualmente virá das plantas de GTL, também necessita de conversões para se chegar ao volume de gás natural necessário para este tanto de combustíveis. O volume de gás natural importado vai ser usado diretamente no estudo. Além das demandas energéticas do estado do Mato Grosso do Sul em território brasileiro, existe em território boliviano uma região próxima a fronteira, uma grande reserva de minério de ferro (Mutún), e esta será outra grande demandante do gás natural, pois poderá ser utilizado num processo siderúrgico para transformar o ferro em aço. Todas as transformações necessárias serão explicadas nos itens subseqüentes.

### **5.1.3 Cálculo dos volumes de gás necessário para atender cada uma das opções do estudo**

O gráfico a seguir (Figura 5.4.) dá um panorama da evolução da demanda energética no Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional de 2006. Alguns energéticos sofreram um grande aumento em sua demanda, enquanto outros obtiveram pouca variação, às vezes até uma pequena queda, nos últimos 36 anos analisados.

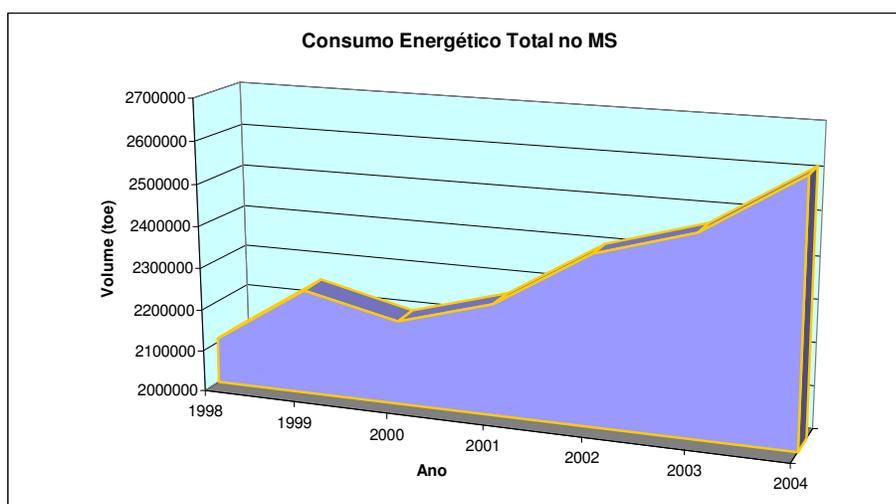


**Figura 5.4. Histórico do consumo energético total no Brasil**

Fonte: (elaboração própria a partir do BEN 2006)

Para se extrair um índice percentual da evolução da demanda energética do Brasil se utilizou uma reta de tendência, com um fator de crescimento constante, obtendo-se um índice de 2,95% ao ano, no período analisado.

No estado do MS foi feita a mesma análise, se extraindo o índice da Figura 5.5. a seguir.

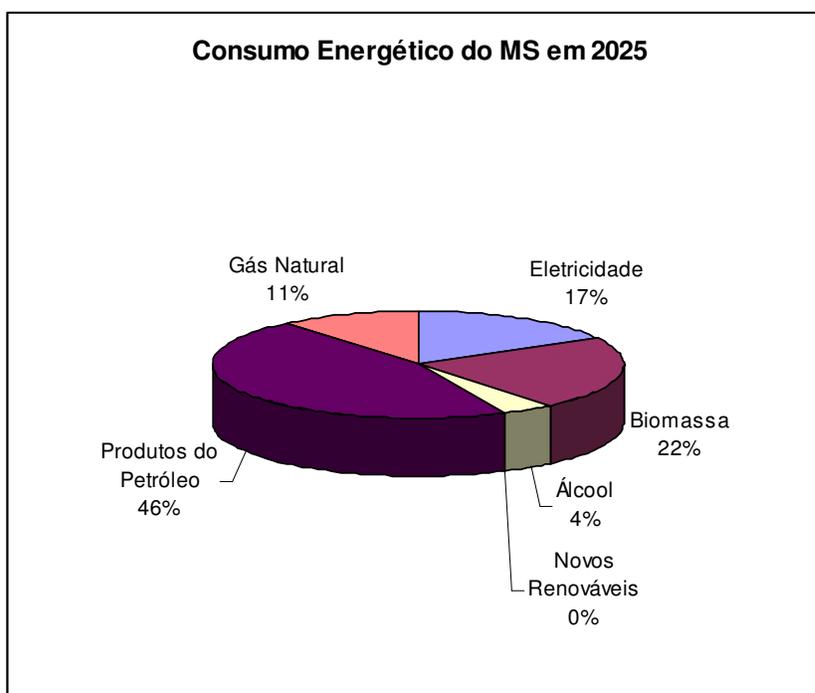


**Figura 5.5. Histórico do consumo energético total no MS**

Fonte: (elaboração própria a partir do Balanço Energético do MS 2005)

O índice médio de crescimento anual calculado pro MS para este período corresponde a 2,91% ao ano e este índice, está muito próximo ao da média brasileira.

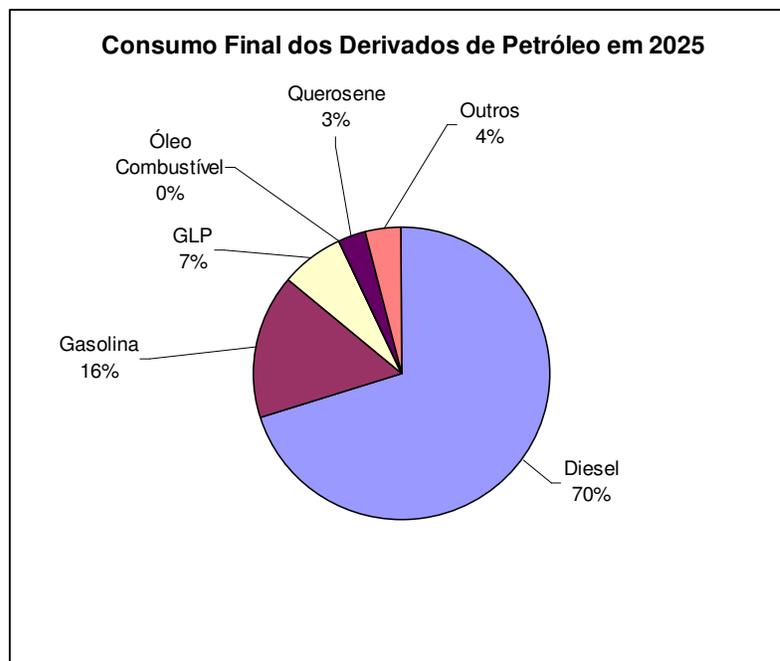
Segundo documento da Secretaria de Estado de Planejamento do Mato Grosso do Sul (ano base 2004), o consumo energético final total previsto para este estado para o ano de 2025 corresponde a 5.380 mil toe. Os setores industrial e de transportes apresentam as maiores participações com 35% e 39% respectivamente, seguidos do agropecuário com 10%, residencial com 10% e comercial com 6%. Para os combustíveis essa divisão percentual está demonstrada no gráfico da Figura 5.6.



**Figura 5.6. Consumo energético total no MS em 2025**

Fonte: (elaboração própria com dados da Previsão de Consumo da Secretaria de Estado de Planejamento do MS 2004)

Os produtos derivados do petróleo terão a seguinte divisão demonstrada na Figura 5.7 a seguir.



**Figura 5.7. Subprodutos derivados do petróleo consumidos em 2025 no MS**

Fonte: (elaboração própria com dados da Previsão de Consumo da Secretaria de Estado de Planejamento do MS 2004)

Na Tabela 5.2., a seguir, são expressos os volumes em toe do consumo energético em 2025 que serão fruto de cálculo neste trabalho.

**Tabela 5.2. Consumo energético total no MS em 2025**

Energético	Volume Consumido em 2025 (toe)
Eletricidade	914.600
Diesel	1.732.360
Gás Natural	591.800
<b>Total</b>	<b>3.238.760</b>

Fonte: (elaboração própria)

Para conversões de unidades, têm-se as seguintes equivalências numéricas que serão usadas:

1 tep = 1,08 toe

1 tep =  $10,8 \times 10^9$  cal

1 tep =  $12,56 \times 10^3$  kWh

1 tep ano = 7,28 bep ano

1 ano = 365 dias = 8736 horas

### - Eletricidade

Corresponde a toda eletricidade consumida. Tem-se um consumo elétrico de 298.420 toe (em 2004) ou 276.315 tep/ano ou ainda  $3,47 \times 10^9$  kWh/ano, que corresponde a um potencial necessário de 397,3 MW. Considerando também que o poder calorífico inferior do gás natural seco é de aproximadamente 8.900 kcal/m<sup>3</sup> (Gás Brasileiro – GBD), e que 1 cal corresponde a  $1,163 \times 10^{-6}$  kWh, chega-se ao poder calorífico necessário por dia de:

$$3,47 \times 10^9 \text{ kWh/ano} \Rightarrow 9,51 \times 10^6 \text{ kWh/dia} \Rightarrow 8,174 \times 10^9 \text{ kcal/dia};$$

Como o rendimento da geração térmica é de aproximadamente 45%, necessitam-se de  $18,1644 \times 10^9$  kcal/dia de GN; como o poder calorífico para o GN é de 8.900 kcal/m<sup>3</sup>, então o volume necessário de gás natural é de: **2,04 MMm<sup>3</sup>/dia** só para a geração elétrica necessária para atender todo consumo elétrico do estado do MS. Logo, o volume de gás natural para termelétricas em um ano é de 745 MMm<sup>3</sup> (em 2004).

### - Planta de GTL

Para saber o volume necessário de gás natural para abastecer a demanda de diesel e de GLP da região é necessário utilizar os índices de rendimento da planta de GTL que foram explicitados no capítulo 4, mais especificamente no sub-item 4.5.3.

O consumo atual de diesel deste estado é de 863.462 toe. Isso equivale a 1.018.233 m<sup>3</sup> de diesel. Segundo equivalência 1 m<sup>3</sup> = 6,28981 barris, logo tem 6,4 milhões de barris de diesel demandados (em 2004) ou 17,55 mil b/d. Para achar o volume necessário de GN para produzir esta quantidade de diesel será utilizado o rendimento da planta de GTL. Então, a planta de GTL tem um rendimento energético de 60%, sendo que de cada barril de GTL produzido consegue-se extrair aproximadamente 71% de diesel. Para estes valores de demanda de diesel, serão necessários 22,81 mil b/d de GTL, necessitando de **6,27 milhões de m<sup>3</sup>/d** de GN para suprir esta planta, pois para cada barril de GTL produzido, são necessários em média 275 m<sup>3</sup> de GN (essa equivalência varia de acordo com a composição do GN).

## - Consumo de gás natural para siderurgia

Como citado anteriormente, na região de El Mutún próximo à fronteira entre Bolívia e Brasil existe uma grande reserva de minério de ferro e manganês, estimada em aproximadamente 40 bilhões de toneladas de ferro (ESCALERA, 2006). O uso do gás natural é para um processo químico, conhecido como redutor siderúrgico. Os detalhes tecnológicos deste processo serão descartados, sendo que para o estudo são válidos apenas o consumo de GN.

Os volumes que serão consumidos diariamente pela empresa mineradora e siderúrgica instalada em Mutún são da ordem de **6 MMm<sup>3</sup>** (Energy Press, fevereiro de 2007), ou seja, 2190 MMm<sup>3</sup> por ano ou 43,8 bilhões de metros cúbicos em 20 anos (correspondendo a **1,547 TCF**), sendo que para este consumo de gás não está previsto nenhuma mudança nos próximos 20 anos por se tratar de um volume contratual.

### 5.1.4 Índices Utilizados

Para a escolha da melhor forma de transporte para o estudo foram usados os critérios e sub-critérios citados no capítulo 3. Como exercício foi considerado um mesmo peso para as dimensões, e dentro de cada dimensão, também se usou um mesmo peso para cada um dos sub-critérios dados. Numa análise mais complexa cada sub-critério provavelmente entraria com um peso diferente, mas só seria possível determiná-los a partir de opiniões diversas de tomadores de decisões, empreendedores, ambientalistas, interessados e envolvidos, etc. e a partir disto fazer um cálculo para se ter a importância real de cada um destes. A partir de cada sub-critério foi estabelecido um sistema de notas que será usado para que o comparativo das formas de transporte possa ser feito. Esta escala de notas está demonstrada nas tabelas seguintes.

A dimensão técnico-econômica está dividida em cinco sub-critérios: custo total do empreendimento, frequência de manutenção, tempo de construção, domínio da tecnologia aplicada e o tempo de retorno do investimento.

**Tabela 5.3. Índices da dimensão técnico-econômica**

<b>Fator</b>	10	7,5	5	2,5	0
<b>Técnico-econômico</b>					
<b>Custo Total (US\$)</b>	< 80 milhões	80 a 140 mi	140 a 200 mi	200 a 260 mi	> 260 mi
<b>Manutenção</b>	Baixa frequência / peças nacionais	Média frequência / peças nacionais	Manutenção frequente / peças nacionais	Média frequência / peças importadas	Manutenção frequente / peças importadas
<b>Tempo de construção</b>	< 1 ano	-	1 a 3 anos	-	> 3 anos
<b>Domínio da tecnologia</b>	regional	-	nacional	-	importado
<b>Tempo de retorno (anos)</b>	< 2	2 a 5	6 a 10	11 a 15	> 15

Fonte: (elaboração própria)

**Tabela 5.4. Índices da dimensão ambiental**

<b>Fator</b>	10	5	0
<b>Impacto Ambiental</b>			
<b>Poluição Atmosférica</b>	Não polui	Afeta a qualidade do ar levemente	Causa desequilíbrio ambiental
<b>Poluição Aquática</b>	Não polui	Altera pouco a temperatura da água	Dejetos nocivos nas águas, desvio do fluxo natural das águas
<b>Poluição dos Solos</b>	Não polui	Afeta a qualidade do solo levemente	Dejetos nocivos nos solos, alteração do terreno
<b>Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais</b>	Sem obstáculos	Obstáculos razoáveis	Muitos obstáculos
<b>Emissão de Gases Estufa</b>	desprezível	médio	alto

Fonte: (elaboração própria)

**Tabela 5.5. Índices da dimensão social**

<b>Fator</b>	10	5	0
<b>Social</b>			
<b>Geração de Empregos</b>	Grande	médio	baixa
<b>Desenvolvimento da infra-estrutura local</b>	Contribui muito	Contribui moderadamente	Não afeta
<b>Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social</b>	Não polui	Desconforto moderado	Ruídos nocivos e visual impactado

**Tabela 5.6. Índices da dimensão política**

<b>Fator</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
<b>Político</b>			
<b>Riscos de exposição cambial</b>	Tecnologia nacional, sem risco	Tecnologia mista, risco parcial	Tecnologia importada
<b>Apoio governamental</b>	Forte apoio	indiferente	Contrário
<b>Oposição da população</b>	Apoio total	Pouca oposição	População contra

Fonte: (elaboração própria)

## 5.2 Opções de transporte de energia para o estudo

Para atender a região fronteiriça ficaram delimitadas, em território boliviano, as seguintes opções de transporte de energético que serão estudadas durante a realização do caso:

### 5.2.1 Opção para atender a demanda elétrica da região em estudo

Com o objeto de estudo as alternativas de transporte de energia que serão comparadas neste tópico se restringem aos gasodutos, gás natural liquefeito transportado em vagões de trem, utilizando as linhas férreas já existentes, e transmissão elétrica.

Os comparativos serão feitos para soma dos dois trechos em questão: com origem nos campos de Margarita na Bolívia, percorrendo 340,8 km até chegar em Rio Grande (BOL) mais o segundo trecho de Rio Grande até a fronteira com Brasil, percorrendo um total de 897,8 km em território boliviano.

#### 5.2.1.1 Origem em Margarita – Bolívia

Para atendimento apenas da demanda elétrica do MS é necessário um volume de 2 Mm<sup>3</sup>/dia de GN para geração termelétrica. A planta de geração elétrica estaria em Margarita na Bolívia e a eletricidade gerada transportada em linhas de alta tensão até o MS. Ou então, o gás poderia ser transportado através de gasodutos, ou GNL, até a fronteira Bolívia – Brasil (sendo o destino o MS) e assim convertido em eletricidade. A distância total percorrida para esta situação é de 897,8 km.

### - Através de gasoduto

Os valores técnico-econômicos de um gasoduto variam muito de acordo com a região onde este irá ser construído, depende principalmente da geografia local e do tipo de solo a ser escavado. Um dos principais custos do gasoduto está relacionado à sua dimensão, espessura do duto – que depende do volume transportado – e no seu comprimento.

Para este volume a ser transportado será usado um duto de 10 polegadas de diâmetro. O custo do gasoduto vai ser calculado com base em uma tabela de custos fornecida pelo geólogo da Petrobras S/A e avaliador de projetos de gasodutos, Roberto Callari. Os cálculos são demonstrados na Tabela 5.7. a seguir:

**Tabela 5.7. Tabela de custos de construção de um gasoduto**

	<b>Custo</b>	<b>Quantidade</b>
Dutos de 10 pol	US\$ 24,71 /m.pol	Para 897.000 m
Válvulas de bloqueio (cada 20 km)	US\$ 13.115,00 / unidade	28
Válvulas de retenção (cada 20 km)	US\$ 11.536,00 / unidade	28
Scrapers* (cada 150 km)	US\$ 94.578,00 / unidade	4
City-gates	US\$ 1.000.000,00 / unidade	2
Compressores	US\$ 3.000.000,00 / unidade	2
<b>Custo Total</b>	<b>US\$ 230.717.000,00</b>	

Fonte: (elaboração própria)

Para a região em estudo muitos desses fatores que pesam no valor final podem ser praticamente eliminados, pois nesta região já existe o gasoduto Bolívia-Brasil. Então, a faixa de servidão já está aberta (a abertura da faixa de servidão tem um custo elevado para a obra), facilitando o deslocamento de máquinas e pessoas. Além disto, o relatório de impactos ambientais já está concluído, bastando apenas fazer alguns ajustes para facilitar a aprovação da construção de um novo duto paralelo ao Gasbol. Em resumo, para a avaliação técnico-econômica do novo gasoduto, os fatores que irão ser relevantes são os custos de materiais, instalação e mão-de-obra. A não necessidade de abertura de faixa de servidão agiliza muito o tempo de construção deste empreendimento, ficando este pronto em aproximadamente 2 anos. E devido à redução dos custos o investimento terá seu retorno em aproximadamente 6 anos.

Para avaliação dos impactos ambientais, o que mais vai pesar são as emissões de gases devido ao deslocamento e funcionamento das máquinas responsáveis pela instalação do duto,

\* Scrapers são máquinas usadas para abertura de uma vala onde o gasoduto será alojado

e quando este tiver operando, as emissões aéreas causadas pelas centrais de recompressão instaladas ao longo do trajeto deste, que podem ser consideradas como uma poluição média no índice utilizado. Na dimensão social a análise feita será no número de novos empregos temporários gerados para a obra de instalação do duto, no beneficiamento das regiões com a entrada de novos *royalties* e impostos pagos aos governos locais e dos efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social. Os valores estão na Tabela 5.8. e Tabela 5.9. que se seguem.

**Tabela 5.8. Custos e impactos ambientais de gasoduto para geração termelétrica**

Técnico-econômico	10	7,5	5	2,5	0	Impacto Ambiental	10	5	0
Custo Total						Poluição Atmosférica			
Manutenção						Poluição Aquática			
Tempo de construção						Poluição dos Solos			
Domínio da tecnologia						Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais			
Tempo de retorno						Emissão de Gases Estufa			

**Tabela 5.9. Dimensões sociais e políticas de gasoduto para geração termelétrica**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos				Riscos de exposição cambial			
Desenvolvimento da infra-estrutura local				Apoio governamental			
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social				Oposição da população			

#### - Através de linhas de transmissão

O custo total e o tempo de retorno desta linha foram baseados num documento da ANEEL do valor duas linhas de transmissão brasileiras (uma com origem na subestação Teresina (PI) e término na subestação Sobral (CE) e a outra com origem na subestação Montes Claros (MG) e término na subestação Irapé (MG)) onde o valor por km construído fica por volta de 750 mil reais, para uma linha de 230 kV. Aplicando estes valores ao estudo, resulta em 673 milhões de reais ou US\$ 336,7 milhões. O tempo de retorno do investimento, considerando-se o faturamento anual, será de aproximadamente 7 anos.

As linhas de transmissão requerem uma manutenção freqüente, sendo que para o caso boliviano, a maioria das peças é importada. O domínio da tecnologia também é completamente importado. O tempo de construção dessa linha está em aproximadamente 2 anos.

No panorama ambiental tem-se a seguinte análise para este caso: não há poluição atmosférica durante a operação, não polui os recursos hídricos; devido à necessidade da abertura da clareira (faixa de passagem), pode ser considerada uma alteração no terreno, logo, uma poluição do solo. As licenças ambientais podem ser obtidas sem maiores obstáculos. As emissões de gases estufa são desprezíveis.

Na visão social a geração de empregos para este empreendimento chega ser de aproximadamente 2000 pessoas, o que é considerada uma ótima quantidade, se enquadrando no fator “grande” da tabela de pesos. O desenvolvimento da infra-estrutura local de onde as linhas passam não é alterado, pois a eletricidade está sendo transportada para ser consumida em outra localidade. Os efeitos ambientais impactam no meio social através de alterações visuais do ambiente.

Na avaliação política, pode-se dizer que sofrerá grande risco de variação cambial devido à origem de a tecnologia ser importada. Para este caso, por se tratar de um abastecimento para uma demanda de outro país, o empreendimento não terá muito apoio governamental, a não ser que os países visem uma integração energética, ai a classificação mudaria para um forte apoio governamental. A oposição popular provavelmente seria alta, pois a instalação da termelétrica neste caso seria em solo boliviano, com emissões locais, para beneficiar outro país com a eletricidade gerada. Valores na Tabela 5.10 e Tabela 5.11.

**Tabela 5.10. Custos e impactos ambientais para linha de transmissão**

<b>Técnico-econômico</b>	<b>10</b>	<b>7,5</b>	<b>5</b>	<b>2,5</b>	<b>0</b>	<b>Impacto Ambiental</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
<b>Custo Total</b>						<b>Poluição Atmosférica</b>			
<b>Manutenção</b>						<b>Poluição Aquática</b>			
<b>Tempo de construção</b>						<b>Poluição dos Solos</b>			
<b>Domínio da tecnologia</b>						<b>Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais</b>			
<b>Tempo de retorno</b>						<b>Emissão de Gases Estufa</b>			

**Tabela 5.11. Dimensões social e política para linha de transmissão**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos				Riscos de exposição cambial			
Desenvolvimento da infra-estrutura local				Apoio governamental			
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social				Oposição da população			

**- Através de GNL**

Como o objeto de estudo é analisar as formas de transporte dos energéticos, o custo das plantas de liquefação será descartado, considerando-se apenas os custos dos meios transportadores em si (neste caso trens providos de vagões especiais para cargas criogênicas) e da central de armazenamento e regaseificação. Também já existe no trajeto de estudo uma ferrovia implantada, logo, os custos de instalação desta também estão descartados. Tem de haver uma manutenção freqüente dos trens e vagões, e a maioria das peças são importadas, logo entra com o pior índice de manutenção. O tempo de construção da infra-estrutura vai depender do número de vagões necessários para o volume de gás requerido; para este caso serão necessários aproximadamente 2 anos. O domínio da tecnologia é completamente importado e o tempo de retorno do investimento está em aproximadamente 10 anos. O custo por vagão criogênico para capacidade de 120.000 litros de GNL está na ordem de R\$ 250.000,00 (valor estimado com base ao valor de carretas criogênicas). Cada locomotiva custa aproximadamente 2 milhões de reais (TABOADA, 2004). O volume demandado de GN é 2 MMm<sup>3</sup>/dia, para este volume seriam necessários 28 vagões criogênicos de 120.000 litros de GNL (que equivale a 72.000 m<sup>3</sup> de GN por vagão), mas para uma logística adequada serão usados dois trens com 112 vagões cada, revezando a viagem de entrega, sendo que o GNL excedente por viagem ficará estocado na demanda. Baseado nos valores da Figura 4.7, o custo da central de armazenamento mais a regaseificação para este volume de gás será da ordem de US\$ 20.000.000 Custos resumidos na Tabela 5.12.

**Tabela 5.12. Tabela de custos de um trem de GNL**

	Custo (US\$)	Quantidade
<b>Vagões</b>	122.000	112
<b>Locomotivas</b>	975.000	4
<b>Estocagem e Regaseificação</b>	20.000.000	1
<b>Total</b>		<b>37.564.000</b>

Fonte: (elaboração própria)

Olhando para dimensão ambiental, ocorre uma poluição aérea moderada e alguma emissão de gases estufa, pois os trens são movidos a diesel. Não há poluição aquática e como as linhas férreas já existem, não haverá poluição dos solos por já ser uma infra-estrutura já instalada.

Em termos sociais há uma pequena geração de empregos, o desenvolvimento da infra-estrutura local é praticamente inexistente e os efeitos do desequilíbrio ambiental do meio social ocorre moderadamente devido ao aumento de trens que irão utilizar as linhas férreas implantadas.

Os riscos de exposição cambial são altos devido à tecnologia aplicada ser praticamente em sua totalidade importada. Haverá um grande apoio governamental, pois o GNL é desejado pelo governo boliviano principalmente para venda de seu GN ao mercado externo. Possivelmente não haverá oposição popular. Avaliações usadas estão na Tabela 5.13. e Tabela 5.14.

**Tabela 5.13. Custos e impactos ambientais para o GNL**

Técnico-econômico	10	7,5	5	2,5	0	Impacto Ambiental	10	5	0
Custo Total	■					Poluição Atmosférica		■	
Manutenção					■	Poluição Aquática	■		
Tempo de construção			■			Poluição dos Solos			
Domínio da tecnologia					■	Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais	■		
Tempo de retorno			■			Emissão de Gases Estufa		■	

**Tabela 5.14. Dimensões social e política do transporte de GNL**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos			■	Riscos de exposição cambial			■
Desenvolvimento da infra-estrutura local			■	Apoio governamental	■		
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social		■		Oposição da população	■		

## 5.2.2 Opção para atendimento da demanda de GN da região de estudo

A demanda de gás natural da região mineradora e siderúrgica de Mutún (ainda inoperante) somada à demanda do estado do MS atinge hoje um volume de aproximadamente 6,6 MMm<sup>3</sup> diários. As opções de transporte para todo este volume demandado de gás natural são atendimento via gasoduto de transporte comparado com o atendimento através do GNL transportado em vagões criogênicos. A origem deste gás é dos campos citados no começo deste tópico, e a origem do transporte deste gás é a partir de Margarita, tendo que percorrer um total de 897,8 km para atender a demanda em questão.

### - Abastecimento através de gasodutos

O gasoduto projetado iria paralelamente aos gasodutos já existentes, sendo o primeiro trecho partindo de Margarita indo até Rio Grande e o segundo trecho, paralelo ao Gasbol, partindo de Rio Grande e indo até a fronteira com o Brasil. O duto para atender essa capacidade teria um diâmetro de 18 polegadas e os custos estão demonstrados na Tabela 5.15. a seguir. Como neste trecho já existem gasodutos instalados, custos de abertura da faixa de servidão e fatores multiplicativos de acordo com o tipo de urbanização e tipo de terreno foram descartados.

**Tabela 5.15. Custos de construção de um gasoduto**

	<b>Custo</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Dutos de 18 pol</b>	US\$ 24,00 /m.pol	Para 897.800 m
<b>Válvulas de bloqueio (cada 20 km)</b>	US\$ 35.205,00 / unidade	45
<b>Válvulas de retenção (cada 20 km)</b>	US\$ 26.403,00 / unidade	45
<b>Scrapers (cada 150 km)</b>	US\$ 216.476,00 / unidade	6
<b>City-gates</b>	US\$ 2.100.000,00 / unidade	3
<b>Compressores</b>	US\$ 3.500.000,00 / unidade	5
<b>Custo Total</b>	<b>US\$ 415.721.000,00</b>	

Fonte: (Elaboração própria)

A análise das dimensões ambiental e social é similar à já feita anteriormente. Há alterações na dimensão técnico-econômica no que se trata do tempo de construção (será maior devido ao maior porte deste empreendimento, ou seja, maior que 3 anos para construção) Na dimensão política haverá mudanças no que se refere ao apoio governamental. É provável que

esta obra receba forte apoio governamental devido ao desenvolvimento da mineração e siderurgia em Mutún trazer uma série de benefícios ao país, além do apoio popular, graças ao grande número de empregos gerados. Portanto as notas para cada dimensão serão as seguintes, como mostradas na Tabela 5.16 e Tabela 5.17 que se seguem.

**Tabela 5.16. Custo e impacto ambiental de gasoduto para atender demanda de GN**

Técnico-econômico	10	7,5	5	2,5	0	Impacto Ambiental	10	5	0
Custo Total						Poluição Atmosférica			
Manutenção						Poluição Aquática			
Tempo de construção						Poluição dos Solos			
Domínio da tecnologia						Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais			
Tempo de retorno						Emissão de Gases Estufa			

**Tabela 5.17. Dimensões social e política para gasoduto que atende demanda de GN**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos				Riscos de exposição cambial			
Desenvolvimento da infra-estrutura local				Apoio governamental			
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social				Oposição da população			

#### - Abastecimento através de GNL

Haverá um aumento expressivo no custo total (Tabela 5.18.) devido à adição de um maior número de vagões criogênicos para que se possa atender o volume demandado deste caso específico, o tempo de construção também será aumentado. A análise das outras dimensões será similar à já feita anteriormente e está na Tabela 5.19 e Tabela 5.20.

**Tabela 5.18. Custos de um trem de GNL para demanda de GN do MS**

	Custo (US\$/unidade)	Quantidade
Vagões	122.000,00	368
Locomotivas	975.000,00	8
Estocagem e Regaseificação	94.300.000	1
<b>Total</b>		<b>146.996.000</b>

Fonte: (elaboração própria)

**Tabela 5.19. Custo e impacto ambiental do transporte de GNL para atender demanda de GN do MS e Mutún**

Técnico-econômico	10	7,5	5	2,5	0	Impacto Ambiental	10	5	0
Custo Total						Poluição Atmosférica			
Manutenção						Poluição Aquática			
Tempo de construção						Poluição dos Solos			
Domínio da tecnologia						Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais			
Tempo de retorno						Emissão de Gases Estufa			

**Tabela 5.20. Dimensões social e política do transporte de GNL**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos				Riscos de exposição cambial			
Desenvolvimento da infra-estrutura local				Apoio governamental			
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social				Oposição da população			

### 5.2.3 Opção de transporte para suprir a demanda de diesel do MS

#### - Através de gasodutos

Considera-se neste caso que a planta de GTL esteja instalada na região de fronteira entre Brasil e Bolívia, em território brasileiro. O gasoduto partirá de Margarita e percorrerá os 897,8 km até chegar à fronteira com o Brasil. Como o volume demandado para este caso é de aproximadamente 6,3 MMm<sup>3</sup>/d a análise de custos é exatamente igual à demonstrada na Tabela 5.15. Similarmente as mesmas análises podem ser feitas para as dimensões ambientais e sociais. O que vai mudar são dois sub-critérios da dimensão política. Neste caso a planta de GTL ficará em solo brasileiro, logo haverá grande oposição tanto do governo boliviano, quanto da população, sendo assim, recebendo a pior avaliação nestes sub-critérios. As avaliações utilizadas estão resumidas na Tabela 5.21. e Tabela 5.22. que se seguem.

**Tabela 5.21. Custo e impacto social de gasoduto para atender a demanda da planta de GTL**

Técnico-econômico	10	7,5	5	2,5	0	Impacto Ambiental	10	5	0
Custo Total						Poluição Atmosférica			
Manutenção						Poluição Aquática			
Tempo de construção						Poluição dos Solos			
Domínio da tecnologia						Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais			
Tempo de retorno						Emissão de Gases Estufa			

**Tabela 5.22. Dimensões social e política do gasoduto para abastecer planta de GTL**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos				Riscos de exposição cambial			
Desenvolvimento da infra-estrutura local				Apoio governamental			
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social				Oposição da população			

**- Através do transporte de GNL usando trens**

Devido aos volumes de gás natural serem equivalentes ao transporte para o consumo de GN do MS mais a mineração e siderurgia de Mutún (no caso 6,6 MMm<sup>3</sup>), a análise deste caso será equivalente. O que mudará na dimensão técnico-econômica será o sub-critério que trata do custo total da implantação dos trens, pois neste caso o número de vagões será reduzido para 176 por trem. No caso de dois trens para manter a logística de entrega e armazenamento funcionando bem, tem-se um total de 352 vagões. Cada trem necessitará de 4 locomotivas, dando um total de 8. Os custos estão demonstrados na Tabela 5.23.

**Tabela 5.23. Custos do trem de GNL para suprir a planta de GTL**

	Custo (US\$/unidade)	Quantidade
Vagões	122.000,00	352
Locomotivas	975.000,00	8
Estocagem e Regaseificação	90.000.000	1
<b>Total</b>		<b>140.744.000</b>

Fonte: (elaboração própria)

As dimensões ambiental e social são exatamente iguais à já analisadas anteriormente. Na dimensão política que haverá mudanças nos sub-critérios “apoio governamental” e “oposição da população”, pois a planta de GTL será construída em solo brasileiro, em compensação a planta de liquefação do GN será em solo boliviano, portanto a nota dada a esses sub-critérios será 5. A Tabela 5.24. e a Tabela 5.25. apresentam os índices usados.

**Tabela 5.24. Custos e impacto ambiental para transporte de GNL suprir demanda da planta de GTL**

Técnico-econômico	10	7,5	5	2,5	0	Impacto Ambiental	10	5	0
Custo Total						Poluição Atmosférica			
Manutenção						Poluição Aquática			
Tempo de construção						Poluição dos Solos			
Domínio da tecnologia						Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais			
Tempo de retorno						Emissão de Gases Estufa			

**Tabela 5.25. Dimensões social e política para transporte de GNL suprir demanda da planta de GNL**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos				Riscos de exposição cambial			
Desenvolvimento da infra-estrutura local				Apoio governamental			
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social				Oposição da população			

#### - Através do transporte do GTL usando trens

Por se tratar de um líquido, o volume de GTL demandado pode ser calculado em litros. A demanda atual (2004) é de 22,81 mil barris diários, o que corresponde a 3,63 milhões de litros diários. Como em cada vagão-tanque cabem 120.000 litros, serão necessários 31 vagões para transportar todo GTL requerido. Utilizando uma logística de transporte e armazenamento coerente, serão dois trens de transporte, cada um com 62 vagões e duas locomotivas. O custo de cada vagão-tanque para transporte GTL é mais barato que o de GNL devido aos materiais de confecção, podendo custar aproximadamente R\$ 150.000,00 cada

(Cia Vale do Rio Doce). As locomotivas custarão os mesmos 2 milhões de reais. O custo total desse meio de transporte então será de R\$ 26.600.000,00 ou US\$ 13.000.000,00. O tempo de fabricação e operação será de aproximadamente dois anos

As dimensões ambiental e social são similares à já analisada anteriormente para o transporte de GTL. A dimensão política será alterada. Para este caso a planta de GTL será instalada em solo boliviano e isto é um fator que pesará muito quando se tratar de apoio governamental e popular. Existem projetos de implantação desse tipo de planta na Bolívia para suprimento local e exportação de derivados, portanto este caso se enquadra na nota máxima de apoio governamental e popular. As avaliações feitas estão na Tabela 5.26. e na Tabela 5.27.

**Tabela 5.26. Custo e impacto ambiental para o transporte de GTL via trens**

Técnico-econômico	10	7,5	5	2,5	0	Impacto Ambiental	10	5	0
Custo Total						Poluição Atmosférica			
Manutenção						Poluição Aquática			
Tempo de construção						Poluição dos Solos			
Domínio da tecnologia						Facilidade de Obtenção das Licenças Ambientais			
Tempo de retorno						Emissão de Gases Estufa			

**Tabela 5.27. Dimensões social e política para o transporte de GTL**

Social	10	5	0	Política	10	5	0
Geração de Empregos				Riscos de exposição cambial			
Desenvolvimento da infra-estrutura local				Apoio governamental			
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social				Oposição da população			

## 6 RESULTADOS

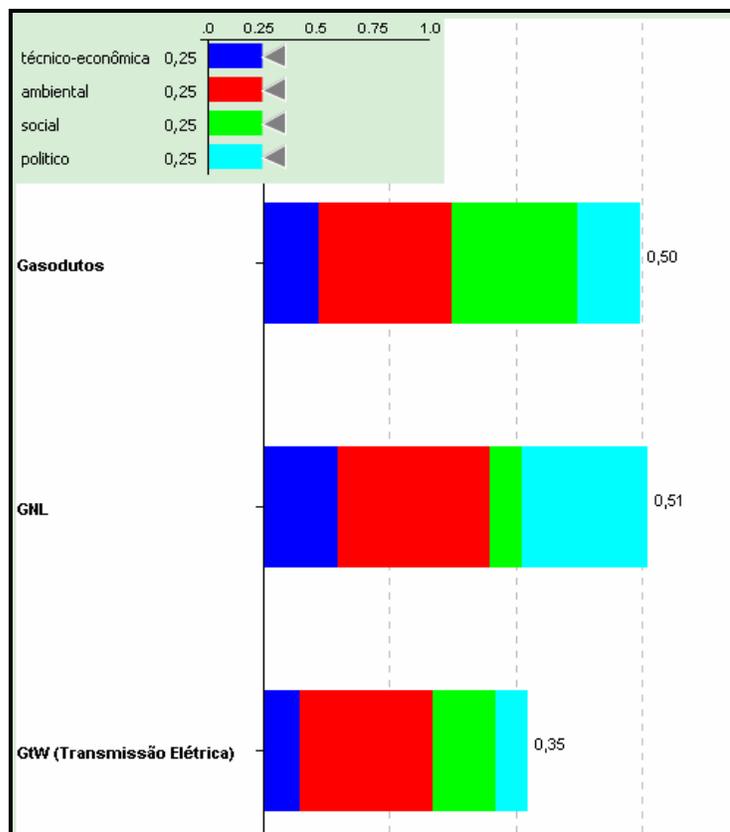
Todas as informações referentes a cada um dos casos do capítulo anterior foram analisadas de tal modo que fossem considerados os respectivos pesos de cada dimensão e os pesos de cada sub-critério multiplicados pelos respectivos índices (ou notas) estimados a cada uma das formas de transporte em questão. Vale lembrar que cada dimensão tem um mesmo grau de importância para esta análise e, para cada sub-critério também foi considerado um mesmo grau de importância, ou seja, eles têm um mesmo peso dentro de suas dimensões.

Com todos os dados necessários, foi utilizado um software para auxílio na tomada de decisão de qual forma de transporte era a menos custosa dentro de todos os parâmetros analisados. A ferramenta computacional foi escolhida por que, uma vez criada a árvores de critérios, o manuseio dos pesos é feito de forma rápida e eficaz, o cálculo das médias das notas é preciso e mostrado em gráficos que ilustram qual dimensão foi a mais significativa para um modo de transporte energético ser melhor que outro.

### 6.1 Gás natural para atendimento da demanda elétrica da região de estudo

Os dados referentes às tabelas: Tabela 5.8, Tabela 5.9, Tabela 5.10, Tabela 5.11, Tabela 5.13, Tabela 5.14 serviram como referência de entrada ao software usado para a tomada de decisão. A partir disto o cálculo do melhor transporte de energia foi feito com as devidas considerações citadas anteriormente, e assim fornecido o gráfico da Figura 6.1.

Note que à esquerda ficam as dimensões com seus respectivos pesos, e na direita os gráficos das formas de transporte, ilustrando através de cores qual dimensão foi mais significativa para que um dos modos fosse melhor que outro.



**Figura 6.1. Gráfico comparativo da melhor forma de transporte energético para suprimento da demanda elétrica do estudo**

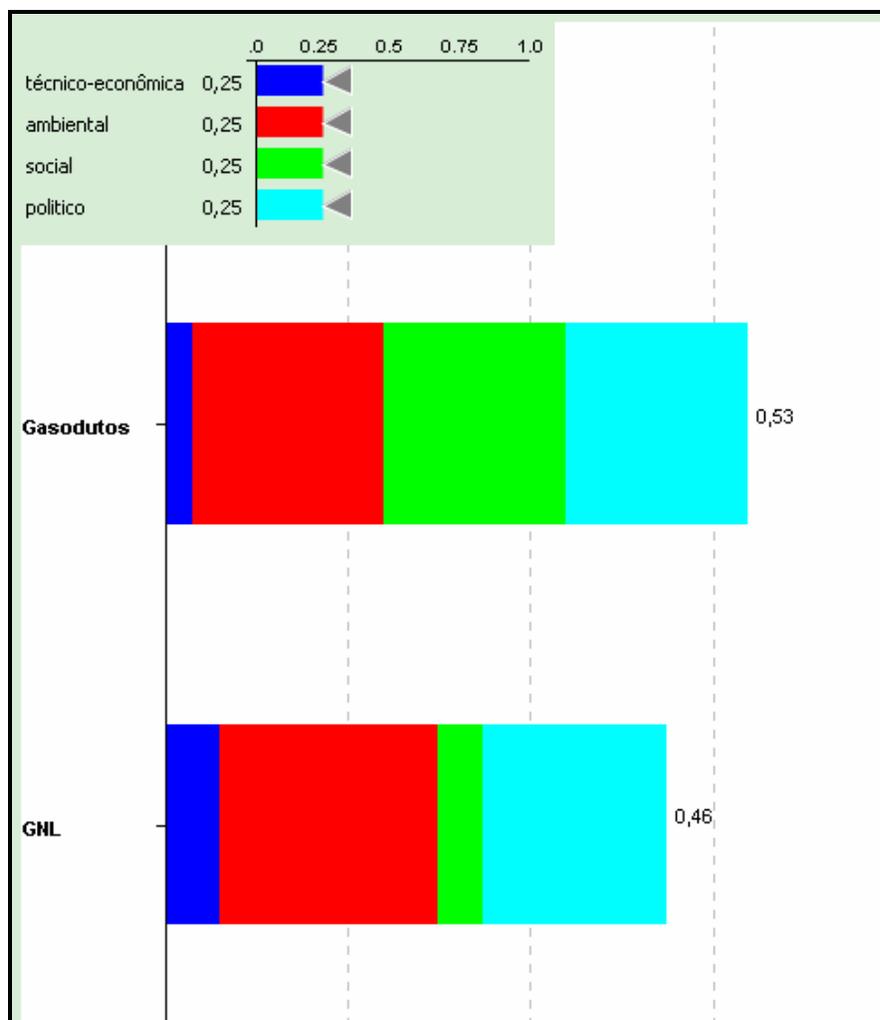
Fonte: (elaboração própria)

Analisando o gráfico de resultado fornecido pelo software de tomada de decisão, fica claro que o GNL foi escolhido devido às suas vantagens na dimensão política. As notas dessa dimensão foram favoráveis na maioria dos sub-critérios avaliados, principalmente devido ao GNL ser uma pretensão por parte do governo boliviano em obter uma planta de liquefação de gás natural para que facilite a exportação deste recurso.

## 6.2 Modos de transporte para atendimento da demanda de GN da região

Os dados de entrada para este caso foram extraídos das seguintes tabelas do capítulo anterior: Tabela 5.16., Tabela 5.17., Tabela 5.19. e Tabela 5.20.

O método de análise é igual ao do item anterior, e o resultado obtido para este caso pode ser expresso através do gráfico da Figura 6.2.



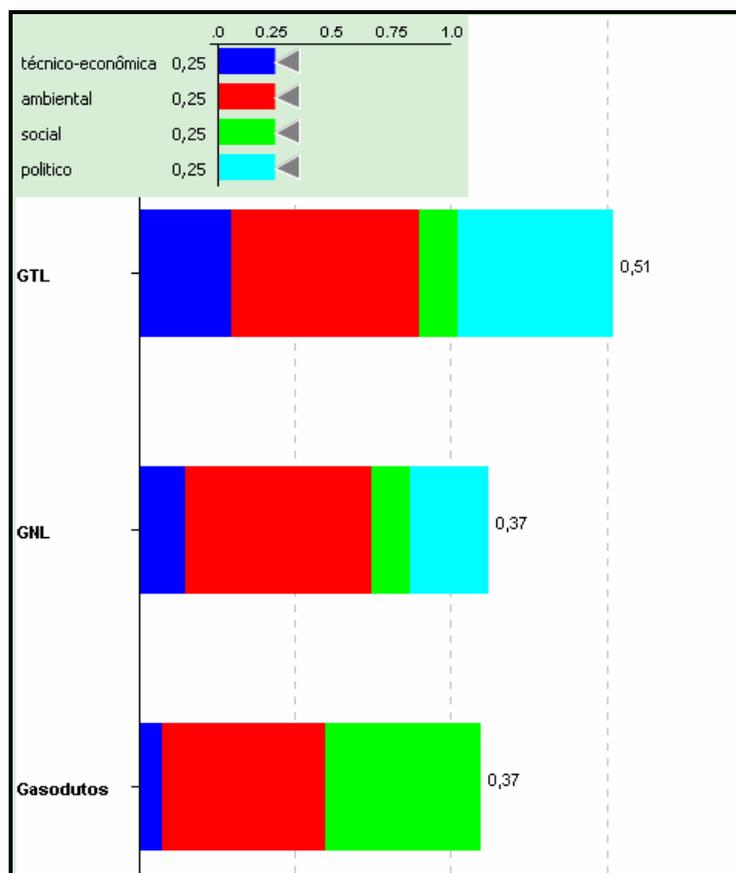
**Figura 6.2. Gráfico comparativo da melhor forma de transporte para suprimento de GN da região de estudo**

Fonte: (elaboração própria)

Para este caso nota-se que o fator que favoreceu a escolha por gasodutos foi o fator social, principalmente devido a grande geração de empregos diretos e indiretos que este empreendimento propicia a determinada região pertencente ao traçado do gasoduto.

### 6.3 Gás natural para alimentar planta de GTL ou transporte do GTL

Analogamente aos dois itens anteriores, todos os dados usados para confecção do gráfico que se segue na Figura 6.3, foram retirados das tabelas: Tabela 5.24., Tabela 5.25., Tabela 5.26. e Tabela 5.27.



**Figura 6.3. Gráfico comparativo da melhor forma de transporte para atender a demanda de GTL da região de estudo**

Fonte: (elaboração própria)

Dessa vez, o GTL recebeu imensa vantagem quando se olha pra dimensão política. Dois dos três fatores políticos analisados receberam nota máxima, principalmente porque com a construção de uma planta de GTL favoreceria a Bolívia com a obtenção de combustíveis para suprir o mercado interno, lucraria com a venda de produtos do gás natural com grande valor agregado, além do apoio populacional, devido principalmente a geração de novos empregos indiretos.

## 7 CONCLUSÕES

O principal foco deste trabalho foi buscar o conhecimento detalhado de cada forma de transporte de gás natural e da transmissão elétrica, olhando para quatro dimensões muito importantes: técnico-econômica, ambiental, social e política. Estas dimensões, quando analisadas de forma igualitária, buscam a sustentabilidade do sistema. A ferramenta de análise utilizada chama-se Avaliação de Custos Completos (ACC), e nesta se incluem, além dos custos diretos de um projeto de energia, todas as externalidades que se têm conhecimento e podem ser avaliadas.

O transporte é o principal elo de qualquer empreendimento energético. Sem esta etapa, pode-se dizer simplesmente que nada acontece. Portanto, deve haver um cuidado todo especial nas avaliações dentro deste elo, pois um sistema de transporte pouco eficiente, muito custoso, prejudicial ambientalmente, que tenha oposição popular ou governamental, tornar-se-ia impraticável.

Olhando-se para o estudo de caso, tiram-se várias conclusões a respeito das análises feitas. Em primeiro lugar, qualquer estudo que envolva um acordo entre países tem um grau de complexidade de avaliação elevado. Na maioria dos casos, principalmente quando se tratam de recursos naturais e energéticos compartilhados, uma das partes se sentirá prejudicada. A partir dessa observação, se o estudo for bem feito, buscando não priorizar nenhum dos lados, conseguirá então desenvolver o empreendimento desejado.

### 7.1 Em relação aos resultados obtidos

A primeira dimensão analisada foi a técnico-econômica. Ficou bem claro que podem existir diversos outros sub-critérios dos que os verificados dentro desta dimensão, mas para efeito de estudo foram escolhidos aqueles que tenham maior relevância para este caso. Analogamente, na dimensão ambiental, foram usados sub-critérios que podem ser afetados significativamente quando se há transporte de energéticos. A dimensão social prioriza fatores que podem beneficiar ou não uma população atingida pela infra-estrutura implantada em suas terras. A dimensão política do estudo visou fatores relacionados à conversão cambial, oposição popular a um empreendimento e principalmente do apoio governamental local para que este empreendimento exista.

Ainda no estudo de caso, os comparativos não se prenderam apenas em comparar o transporte do gás natural à transmissão elétrica, pois, para a região demandante escolhida, as necessidades energéticas não são apenas elétricas, então, a análise do transporte de energéticos também priorizou os casos onde o gás natural podia entrar como energético substituto.

O primeiro comparativo entre os transportes de energia foi realizado para atendimento da demanda elétrica da região de estudo. Partiu-se de uma premissa que já existam plantas de geração termelétrica na região de estudo e plantas de liquefação do gás. Ou na origem, para o caso da transmissão elétrica, ou no destino, para o caso do transporte de gás natural através de gasodutos ou através de GNL usando-se trens. Logo, a análise em três (técnico-econômica, ambiental e social) das quatro dimensões foi focada apenas no transporte em si. A dimensão política teve que se direcionar além do transporte e enxergar a importância regional da implantação de plantas de beneficiamento do gás natural. Os resultados obtidos para este caso podem ter uma variedade de explicações. O GNL foi o meio que obteve melhor desempenho. Os fatores que mais pesaram a seu favor foram os técnico-econômicos, ambientais e políticos. Teve muita vantagem na dimensão técnico-econômica e ambiental porque, como já explicado anteriormente, o custo de implantação e os danos ambientais causados pela implantação da planta de liquefação não foram considerados e, devido a já existência de linhas férreas que atenderiam aos trens de transporte do GNL. Na dimensão política, a vantagem do GNL foi devido ao fato de existir interesse do governo boliviano em implantação de uma planta de liquefação de gás natural em seu território.

O segundo comparativo foi entre os meios de transporte de gás natural para atender a demanda do próprio gás às regiões de estudo. Devido aos grandes volumes demandados, o GNC foi descartado por ser impraticável seja no seu transporte através de trens ou de caminhões. Então o comparativo ficou entre o GNL e o gasoduto. Nesta situação, os gasodutos atingiram o desempenho bem superior na análise social. O sub-critério que mais pesou nesta dimensão foi a geração de empregos, bem superiores aos gerados pelo transporte do GNL.

O terceiro e último comparativo visa atender a demanda de diesel do estado do Mato Grosso do Sul no Brasil. Aqui foi considerado que a planta de GTL já exista na Bolívia, ou na

região de fronteira com o Brasil, dependendo da forma de transporte em questão. O foco, em três das quatro dimensões, novamente, foi apenas no transporte dos energéticos. Observando os resultados obtidos, nota-se imensa vantagem do GTL quando comparado ao GNL e aos gasodutos. Primeiramente, a vantagem técnico-econômica se deu a não necessidade de construção de ferrovias (já existentes), ao custo dos vagões que transportam GTL serem mais baratos que os de GNL, e também à redução do volume transportado quando o gás está sob forma de derivados líquidos. Na dimensão política, esta forma de transporte também recebeu imensa vantagem. Isso porque o governo boliviano tem interesse em implantar uma planta de GTL para que possa suprir suas necessidades internas de diesel.

Pode-se finalizar afirmando que para o caso analisado não existe uma única forma de transporte de energéticos que seja favorável quando se objetiva um equilíbrio entre as quatro dimensões citadas. Logo, para o estudo em questão (quando a análise das demandas é feita em separado), a combinação ideal para atender a demanda energética total seria: transporte de GNL via trens para atendimento elétrico do MS, com as plantas de geração no Brasil, transporte de gás natural através de gasodutos para atendimento da demanda de gás natural (a ser consumido no MS e Mutún) e, finalmente, transporte de derivados líquidos extraídos do gás natural (GTL) por meio de trens equipados com vagões-tanque. Levando-se em conta que um gasoduto e o transporte de GN via GNL dificilmente seriam instalados num mesmo trecho, pode-se afirmar, considerando as vantagens em todas dimensões analisadas, que o gasoduto seria a melhor opção para atendimento das demandas de eletricidade e gás natural da região em estudo, mantendo o transporte do GTL através de trens.

A partir das análises anteriores pode-se trabalhar com um número muito grande de hipóteses a respeito das formas de transporte energético do gás natural que seriam implantadas na região em questão. Por exemplo, como o estudo está voltado à atender às demandas unicamente do mercado brasileiro (com exceção de Mutún), todo o gás natural poderia ser transportado através de gasodutos, e, as plantas de geração térmica, e planta de GTL ficariam próximas a região de fronteira entre os dois países. O gasoduto seria a forma de transporte mais lógica para isto, pois, como já citado, a faixa de servidão já existe no local, e o volume de gás transportado no duto poderia ser ampliado apenas escolhendo um gasoduto com diâmetro maior. Assim sendo, apesar de haver um aumento no custo total, este é irrelevante quando comparado aos custos de implantação de outras infra-estruturas que transportem o mesmo recurso energético.

## 7.2 Sugestões para trabalhos futuros

Um grande número de trabalhos podem ser feitos a partir da metodologia de análise usada. A aplicação se limitou em um único fornecedor de recurso – no caso a Bolívia fornecendo gás natural, e um único demandante deste recurso – no caso suprir algumas demandas energéticas do estado do Mato Grosso do Sul no Brasil. As análises subseqüentes estariam numa expansão do número de demandantes, uma variação dos recursos fornecidos e incluindo neste estudo um maior número de formas de transporte de energéticos. O trabalho futuro poderia considerar também:

- um maior número de dimensões;
- um maior número de sub-critérios dentro destas dimensões;
- aumentar a escala de notas destes sub-critérios;
- considerar pesos diferentes dos sub-critérios analisados de acordo com sua importância.

Existe ainda um item importante a ser considerado: a Bolívia também tem necessidades energéticas próprias. A aplicação desta metodologia pode ser feita para uma logística de distribuição interna de seus recursos energéticos, abastecendo assim de maneira menos custosa (análise global) cidades de grande porte que ficam afastadas dos maiores campos produtores de gás natural. Desta feita, algumas bases apresentadas aqui podem ser aplicadas diretamente no planejamento de escoamento energético deste país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGAS - Associação das Empresas Brasileiras Distribuidoras de Gás Canalizado: <http://www.abegas.org.br>; acessado em outubro de 2004.

ABREU, P. L. de *Gás Natural: o combustível do novo milênio*. Plural Comunicação, Porto Alegre, 2003.

ACEBRON, R. M.; Impactos Sócio-Ambientais Gerados pela Construção de Gasodutos de Transporte em Áreas Tropicais Sensíveis – Proposta Visando Uma Integração Energética Sul Americana Menos Impactante, São Paulo, 2006, Dissertação (Mestrado), Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, PIPGE / USP.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: <http://www.anp.gov.br>; acessado em novembro de 2005.

API - American Petroleum Institute <http://api-ec.api.org>, acessado em março 2006.

BAITELO, R. L., Modelagem Completa e Análise dos Recursos Energéticos do Lado da Demanda para o PIR, São Paulo, 2006, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BALANÇO ENERGÉTICO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL, Secretaria de Estado de Planejamento, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul (SEPLANCT - MS), 2005

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2005.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2006.

BP - BRITISH PETROLEUM, *Statistical Review 2004*

BURANI, G. F.; FAGÁ, M.T.W.; UDAETA, M. E. M., RIGOLIN, P. H. C. “Relatório Técnico Sobre Tendências Tecnológicas e Demandas Profissionais no Setor de Gás Natural”. Relatório técnico produzido para o PRH-ANP/04, PRH4/RT-2. São Paulo, IEE/USP. 2005.

CARVALHO, C. E.; A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos do Planejamento Energético, São Paulo, 2000, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudo de Impacto Ambiental. Publicada no Diário Oficial da União, de 17/02/1986, p. 2548-2549.

CTGAS - Centro de Tecnologias do Gás Natural: <http://www.ctgas.com.br/>; acessado em novembro de 2005.

DOE – Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, “*Liquefied Natural Gas: Understanding the Basic Facts*”, agosto de 2005.

EIA - Energy Information Administration: <http://www.eia.doe.gov>, acessado em agosto de 2005.

ELETRORÁS S/A - Relatório do Programa para Orçamentos de Linhas de Transmissão, 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). An Introduction to Environmental Accounting as a Business Management Tool: key concepts and terms. Washington, Junho, 1995. EPA 724-R-95-0012.

FUJII, R. J., Modelos de Caracterização Sistêmica das Opções de Oferta Energética para o PIR, São Paulo, 2006, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GALILEO - Empresa de GNC: [http://www.galileoar.com/2005/00\\_portugues/galileo.htm](http://www.galileoar.com/2005/00_portugues/galileo.htm), acessado em dezembro de 2005.

GALVÃO, L.C.R.; REIS, L.B.; UDAETA, M.E.M., Fundamentos para o Planejamento Integrado de Recursos numa Região de Governo do Estado de São Paulo apontando a Energia Elétrica. In: VII Congresso Brasileiro de Energia, 1996, Rio de Janeiro.

Gás Energia - <http://www.gasenergia.com.br>, acessado em julho de 2005

GASNET - Portal Gasnet: <http://www.gasnet.com.br/>; acessado em novembro de 2005.

GEPEA / USP – Grupo de Energia do Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, “Quadros Sintéticos de Identificação de Impactos e Programas Sócio-Ambientais”, anexo ao RAP Geral.

GIMENES, A.L.V.; REIS, L.B.; GALVÃO, L.C.R.; UDAETA, M.E.M. O Gerenciamento pelo Lado da Demanda como Recurso Energético para a Região do Médio Paranapanema - MPP. In: VIII Congresso Brasileiro de Energia. Anais. Rio de Janeiro. Dezembro, 1999

GTB - GAS TRANSBOLIVIANO S.A. *Construyendo Confianza: Balance Social 2003.*

GTB - GAS TRANSBOLIVIANO S.A. *Reporte Anual 2003.*

GTB - GAS TRANSBOLIVIANO. *Reporte Anual 2004.*

MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia: <http://www.mct.gov.br/>; acessado em novembro de 2005.

NATIONAL ENERGY BOARD. *Reasons for Decision: Enbridge Pipelines Inc. OH-1-2000*, Publications Office, Calgary, 2001.

PETROBRAS - Portal da Petrobrás: <http://www.petrobras.com.br>; acessado em novembro de 2005.

ROCHA, C. R. O.; Exequibilidade da Industrialização do Gás Natural na Bolívia e a Sustentabilidade de Abastecimento a Mercados Além das suas Fronteiras, São Paulo, 2006, Dissertação (Mestrado), Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

SUPERINTENDENCIA DE HIDROCARBUROS DA BOLIVIA: [www.superhid.gov.bo](http://www.superhid.gov.bo), acessado em maio de 2006.

TBG - TRANSPORTADORA BRASILEIRA DE GAS. *Relatório Anual 2003*.

TBG - TRANSPORTADORA BRASILEIRA DE GAS. *Relatório Anual 2004*.

THOMAS, S.; DAWE, R. A., Review of ways to transport natural gas energy from countries which do not need the gas for domestic use – Scientific Direct Article, Janeiro, 2002.

UDAETA, M.E.M., Planejamento integrado de recursos - PIR para o Setor Elétrico (pensando o Desenvolvimento Sustentável). São Paulo, 1997. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.