

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALINE DE PINHO ULIANA

**UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO POR METAS
COMO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NA
DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL**

VITÓRIA - ES
2010

ALINE DE PINHO ULIANA

**UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO POR METAS
PARA ESCOLHA DA ESTRATÉGIA DE
DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil - Área de Concentração em Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto

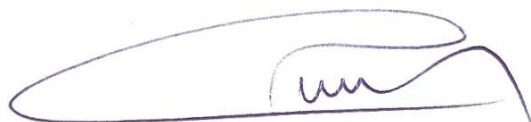
VITÓRIA - ES
2010

UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO POR METAS COMO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

Aline de Pinho Uliana

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em 16/04/2010 por:



Gregório Coelho de Moraes Neto.- Prof.
Doutor em Engenharia de Transportes
Deptº Eng. de Produção / UFES
Orientador



Marta Monteiro da Costa Cruz – Profa.
Doutora em Engenharia de Transportes
Deptº Eng. de Produção / UFES
Examinadora Interna



Luiz Antonio Silveira Lopes – Prof.
Doutor em Engenharia de Transportes
Instituto Militar de Engenharia - IME/RJ
Examinador Externo

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

U39u Uliana, Aline de Pinho, 1982-
Utilização de programação por metas como auxílio à tomada
de decisão na distribuição de gás natural / Aline de Pinho Uliana.
– 2010.
101 f. : il.

Orientador: Gregório Coelho de Moraes Neto.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito
Santo, Centro Tecnológico.

1. Gás - Distribuição. 2. Gás comprimido. 3. Programação
(Matemática). I. Moraes Neto, Gregório Coelho de. II.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III.
Título.

CDU: 624

Ao meu marido, Vinicius, por todo apoio, amor e carinho.
Aos meus pais, Valdir e Maria, que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre iluminou minha caminhada.

Ao meu marido Vinicius Baptista de Souza pelo amor, incentivo, companheirismo, e compreensão.

Aos meus pais Valdir Antonio Uliana e Maria da Conceição de P. Uliana pelo exemplo de vida.

Ao meu orientador, o professor Gregório Coelho de Moraes Neto, pelos ensinamentos, pela confiança depositada e pelo apoio irrestrito para a concretização desta etapa acadêmica.

Ao professor Luiz Antônio Silveira Lopes, do Instituto Militar de Engenharia, por aceitar participar da Banca Examinadora.

Aos professores do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, em especial à Marta Monteiro da Costa Cruz, Patrícia Alcântara Cardoso, e Rodrigo de Alvarenga Rosa, pelos conhecimentos compartilhados.

Ao Antonio Fernando Cesar Filho, da BR Distribuidora, pelas informações sobre o tema pesquisado, materiais de pesquisa e esclarecimentos durante a formulação do problema. Ao Ayrton de Carvalho Junior, pelas informações disponibilizadas e condução da visita técnica.

Aos colegas da Petrobras pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho: Flavio Campos (CENPES), Sandra Souto (Gás e Energia), Osvaldo Taira, Lílian Melo, Letícia Pitanga e Cezar Siqueira (UN-ES).

Às colega de mestrado: Andressa Barros, pelo incentivo antes e durante o curso, e Bárbara Ferrari, pela amizade e companheirismo.

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um modelo de Programação por Metas, também conhecido como *Goal Programming*, como apoio à resolução do problema de distribuição do gás natural em regiões que não são atendidas por gasodutos. Inicialmente é feita uma revisão da literatura sobre o transporte de gás natural através de gasodutos e também sob as formas comprimida e liquefeita, conhecidas como gasodutos virtuais. Em seguida é abordado o processo de tomada de decisão com objetivos múltiplos, detalhando os métodos escolhidos para o estudo: a Programação por Metas e o Método da Utilidade Associada. A formulação do problema de distribuição de gás natural permitiu avaliar o atendimento às seguintes metas: transporte de volume de gás natural compatível com a demanda e com valores de capacidade do sistema, atendimento a um valor presente líquido determinado no fluxo de caixa; adequação aos limites superior e inferior estabelecidos para a tarifa, e adequação a níveis mínimos desejáveis quanto a aspectos de segurança, meio ambiente e saúde e aspectos sócio políticos. O modelo foi aplicado a um estudo de caso na região de Linhares (ES), para o qual foram gerados quatro cenários, de acordo com os objetivos e níveis de aspiração estipulados para cada meta. Através da análise dos resultados da função objetivo para cada cenário gerado, foi possível avaliar a demanda que viabiliza a distribuição de gás natural através de caminhões e, em especial, a demanda que viabiliza a substituição do transporte através da modalidade rodoviária para o transporte através de gasodutos. Após as análises dos resultados gerados, é apresentada a conclusão da dissertação com propostas de trabalhos futuros.

Palavras-chave: Gasoduto Virtual; Distribuição de Gás Natural Comprimido; Programação por Metas.

ABSTRACT

The purpose of this work is to present a goal programming formulation in an effort to evaluate natural gas distribution alternatives where pipelines are not available. Initially, this work reviews the natural gas transport through pipelines and also through compressed and liquefied form. Then, the multiple objectives decision making process is analyzed, focusing on the chosen methods for the work: goal programming and additive utility methods. The model allows decision maker to evaluate the following goals: natural gas transportation volume, cash flow, natural gas tariff, and safety, environment, and socio-political aspects. The model was applied to a case study in Linhares (ES), for which four scenarios were generated in accordance with the goals and aspiration levels set. According to the results of the objective function for each scenario, it was possible to evaluate the demand that enables the natural gas distribution by trucks, and in particular the demand that allows the replacement of transport by road mode for the pipeline transportation. At last, after analyzing the results, the conclusions are presented with proposals for future studies.

Key-words: Virtual Pipeline; Compressed Natural Gas transportation; Goal Programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo relativo de gás natural de alguns países.....	22
Figura 2 - Mapa dutoviário do Brasil.....	23
Figura 3 - Mapa dutoviário dos EUA	24
Figura 4 - Unidade de Processamento de Gás Natural.....	25
Figura 5 - Carreta e cilindros - Galileo	29
Figura 6 - Carretas - Neogas.....	29
Figura 7 - Carreta - Mastergas	30
Figura 8 - Carretas - White Martins	30
Figura 9 - Carreta - Agira.....	30
Figura 10 - Base de Compressão em Viana - White Martins	30
Figura 11 - Comparação de custos entre GNL e GNC.....	31
Figura 12 - O processo de Tomada de Decisão.....	34
Figura 13 - Hierarquia dos Objetivos	35
Figura 14 - Exemplo de aplicação da Programação por Metas.....	47
Figura 15 - Exemplo de escala numérica	52
Figura 16 - Hierarquia dos objetivos e unidades de medidas.....	61
Figura 17 – Localização do gasoduto em estudo.....	75
Figura 18 – Escala 1: utilizada para análise de aspectos desfavoráveis.....	77
Figura 19 – Escala 2: utilizada para análise de aspectos favoráveis	77
Figura 20 – Janela de edição dos parâmetros do Solver	81
Figura 21 – Primeiro cenário gerado pelo modelo.....	82
Figura 22 – Segundo cenário gerado pelo modelo.....	84
Figura 23 – Terceiro cenário gerado pelo modelo.....	85
Figura 24 – Quarto cenário gerado pelo modelo	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aplicações da Programação por Metas entre 1990 e 2000.....	44
Tabela 2: Aplicações da Programação por Metas em Transportes entre 1990 e 2000	44
Tabela 3: Aplicações da Programação por Metas em Transportes.....	46
Tabela 4: Programas utilizados.....	48
Tabela 5: Metas utilizadas na formulação dos problemas	49
Tabela 6: Comparação do Produto Interno Bruto de Linhares, Espírito Santo e Brasil	72
Tabela 7: Determinação de pesos para aspectos de SMS	78
Tabela 8: Determinação de pesos para aspectos Sócio-Políticos	78
Tabela 9: Determinação do valor dos atributos em aspectos desfavoráveis	79
Tabela 10: Determinação do valor dos atributos em aspectos favoráveis	79
Tabela 11: Determinação dos pesos das metas	80
Tabela 12: Resumo dos resultados gerados pelo primeiro cenário	83
Tabela 13: Resumo dos resultados gerados pelo segundo cenário.....	83
Tabela 14: Resumo dos resultados gerados pelo terceiro cenário	86
Tabela 15: Resumo dos resultados gerados pelo quarto cenário	88
Tabela 16: Resumo dos resultados gerados pelos quatro cenários.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Métodos de Tomada de Decisão.....	36
Quadro 2: Transformação de objetivos em metas.....	42
Quadro 3: Atributos e tipos de medida	51
Quadro 4: Atributos em uma mesma escala	52
Quadro 5: Atributos e unidades encontradas na primeira decomposição	58
Quadro 6: Atributos e unidades adotadas para aspectos de SMS e Sócio-políticos	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abegas - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado

AHP – Analytic Hierarchy Process ou Método da Análise Hierárquica

BTU – British Thermal Unit ou Unidade térmica Britânica

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

Gasene - Gasoduto Sudeste-Nordeste

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GN – Gás Natural

GNC – Gás Natural Comprimido

GNL – Gás Natural Liquefeito

GNV – Gás Natural Veicular

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e prestação de Serviços

LGN – Líquido de Gás Natural

Metropol – Unidade de medida que representa o produto do comprimento da
tubulação pelo diâmetro

PIS – Programa de Integração Social

SMS – Segurança, Meio Ambiente e Saúde

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo Geral.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
 CAPÍTULO 2 - GÁS NATURAL.....	 20
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
2.2 GASODUTOS.....	26
2.3 GÁS NATURAL LIQUEFEITO (GNL)	26
2.4 GÁS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)	27
2.5 GASODUTOS VIRTUAIS – GNC X GNL	30
 CAPÍTULO 3 - TOMADA DE DECISÃO COM OBJETIVOS MÚLTIPLOS.....	 32
3.1 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO.....	32
3.2 OBJETIVOS E ATRIBUTOS	34
3.3 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO.....	35
3.4 PROGRAMAÇÃO POR METAS	38
3.5 APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO POR METAS	43
3.5.1 Aplicações em Transportes	45
3.6 MÉTODO DA UTILIDADE ASSOCIADA.....	50
 CAPÍTULO 4 - O MODELO PROPOSTO	 54
4.1 O AMBIENTE DE DECISÃO.....	54
4.1.1 Demanda de Transporte.....	54
4.1.2 Taxa de Desconto.....	55
4.1.3 Cálculo da Tarifa de Transporte	55
4.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	58
4.3 MODELAGEM DO PROBLEMA.....	62
4.3.1 Definições Iniciais	62
4.3.2 Avaliação dos Aspectos de SMS e Sócio-Políticos	62
4.3.3 Transformação dos Objetivos em Metas	63
4.3.4 Priorização das Metas	67

4.3.5 Formação da Função Execução.....	69
4.3.6 Formulação Geral.....	70

CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO: DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL EM LINHARES..... 71

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	71
5.1.1 Características do Município	71
5.1.2 Consumo de Combustíveis.....	72
5.2 DADOS DE ENTRADA.....	73
5.2.1 Fluxo de Caixa.....	73
5.2.2 Dados do Transporte	74
5.2.3 Composição Tarifária.....	76
5.2.4 Aspectos Sócio-Políticos e de Segurança, Meio Ambiente e Saúde	77
5.2.5 Pesos das Metas	79
5.2.6 Definição dos cenários	80
5.3 PARÂMETROS DO SOLVER.....	81
5.4 RESULTADOS DO MODELO	82

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 90

REFERÊNCIAS..... 94

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o tema escolhido para esta dissertação, estabelecendo algumas considerações iniciais sobre o setor de Transporte de Gás Natural e método utilizado como auxílio à tomada de decisão. É definido o problema e são apresentadas as justificativas para o desenvolvimento do tema, bem como os objetivos geral e específicos e a estrutura do trabalho.

1.1 Considerações Iniciais

No setor energético mundial sempre existiu uma busca por fontes alternativas de energia que pudessem ser menos prejudiciais ao meio ambiente, mais eficientes e que pudessem vir a substituir as fontes de energia atuais, quando estas se tornassem escassas. Nesse sentido, observa-se uma tendência entre os diversos países do mundo na tentativa de aumentar a participação do gás natural em suas matrizes energéticas.

As novas legislações ambientais acabaram por privilegiar o uso do gás natural por sua queima mais limpa, com menor emissão de carbono, baixo nível de enxofre e particulados. Acordos ambientais firmados pelos países com maiores taxas de emissão de poluentes criaram um incentivo para uma maior utilização do Gás Natural. O acordo denominado Protocolo de Kioto entrou em vigor em 2004, com metas de redução das emissões de gases poluentes para os países desenvolvidos entre 2008 e 2012. O Acordo de Copenhague, resultado da 15ª Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas, que ocorreu em dezembro de 2009 na Dinamarca, prevê para os países desenvolvidos metas de redução de emissões de 20% até 2020 e 80% até 2050 (BRASIL, 2010).

Acompanhando esta tendência mundial, no Brasil a participação do gás natural também tem ganhado destaque. Em 2004 a Petrobras lançou o programa de massificação do uso do gás natural, que objetivava elevar o consumo de gás natural de 29 milhões de m³/dia em 2003 para 77,6 milhões de m³/dia até 2010 com

investimentos de mais de US\$ 3 bilhões na infra-estrutura de gasodutos nas malhas Nordeste, Sudeste, Gasene (Gasoduto Sudeste-Nordeste), Urucu-Coari-Manaus e Campinas-Rio de Janeiro (SAUER, 2004). Segundo dados consolidados pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado, em outubro de 2008 o consumo nacional de gás natural já registrava 51,7 milhões de metros cúbicos diários (ABEGÁS, 2009).

O Plano de Negócios 2009-2013 da Petrobras indica que a priorização do gás natural é crescente. São planejados US\$ 11,8 bilhões de investimento para o segmento de Gás e Energia, representando aumento de 76% entre o Plano 2008-2012 e este último. O desenvolvimento do gás do pré-sal tem contribuição para o desenvolvimento do setor, uma vez que se estima que produção de gás natural do pré-sal disponibilizada para venda deve atingir aproximadamente sete milhões de metros cúbicos por dia em 2013 e cerca de quarenta milhões de metros cúbicos por dia em 2020 (PETROBRAS, 2009).

De todas as formas possíveis de distribuição do gás natural, o gasoduto é o mais seguro e eficiente. E quando se trata de volumes razoáveis de transação, é também o economicamente mais viável, uma vez que o investimento em infra-estrutura é muito elevado. Considerando que a garantia de consumidores não é alta, o risco do negócio de se investir em uma rede de gás natural torna-se grande. Desta forma, é fundamental que os esforços tecnológicos procurem reduzir custos e viabilizar economicamente a distribuição descentralizada do gás, ampliando a possibilidade de comercialização do produto para clientes situados fora das zonas de influência dos gasodutos (PRAÇA, 2003).

É neste contexto que o transporte rodoviário do Gás Natural Comprimido (GNC), também conhecido como gasoduto virtual, aparece com muita força, pois a sua característica de mobilidade e flexibilidade permitem desbravar mercados potenciais que não são servidas por redes (MANOEL, 2006). É importante ressaltar que esta forma de fornecimento de gás natural não representa uma tentativa de substituir o abastecimento do gás natural através de dutos. A idéia é de permitir o atendimento ao mercado consumidor até que a demanda atinja um nível que viabilize tal obra de

infra-estrutura, quando a modalidade rodoviária seria automaticamente substituída pela dutoviária.

Para a implantação de um projeto como o transporte rodoviário de gás natural podem ser levantados alguns objetivos a serem alcançados, dentre eles:

- Garantir viabilidade técnica e financeira;
- Atender às necessidades dos consumidores;
- Maximizar o lucro;
- Garantir tarifa de transporte competitiva;
- Melhorar a qualidade dos serviços prestados;
- Possibilitar a geração de empregos;
- Possibilitar desenvolvimento da infra-estrutura local;

A partir de então, torna-se necessário definir as prioridades de cada objetivo para se estabelecer as estratégias de atuação.

Neste trabalho será estudada a distribuição de gás natural para a região de Linhares, no Espírito Santo, onde não existe uma rede de distribuição de gás natural canalizado próxima ao mercado consumidor.

O ponto de entrega de gás natural, também conhecido como *city gate*, é um conjunto de instalações destinadas a entregar o gás natural oriundo de uma concessão ou de um gasoduto. O *city gate* mais próximo ao mercado consumidor da região de Linhares pertence ao gasoduto de Interligação Sudeste Nordeste – GASENE, e está 50km distante do mercado consumidor. Desta forma, são analisadas as seguintes alternativas:

- Utilização de transporte rodoviário entre o ponto de entrega do gás natural e os clientes;
- Construção de um gasoduto que interligue o ponto de entrega do gás natural e os clientes.

O trabalho é desenvolvido através de uma análise multicritério de tomada de decisão pelo método de Programação por Metas, ou *Goal Programming*. A Programação por

Metas é tradicionalmente vista como uma extensão da programação linear que permite estabelecer objetivos múltiplos, expressos como metas a serem atingidas. Uma importante característica da Programação por Metas é a de permitir a minimização de desvios em relação às suas metas, segundo prioridades previamente estabelecidas (LEE, KANG e CHANG, 2008). Desta forma, tem se mostrado como uma alternativa interessante para a solução de problemas de transportes com vários objetivos, mesmo conflitantes e/ou incomensuráveis, ou seja, com unidades de medidas diferentes.

1.2 Justificativa

A partir da análise de um sistema como este, surgem algumas perguntas:

- Qual seria o nível de demanda numa região que viabilizaria a distribuição de GNC através de caminhões?
- Qual seria a melhor estratégia de distribuição do produto: diretamente ao consumidor final ou utilizando centrais intermediárias?
- Qual seria o nível de demanda de uma região que viabilizaria a substituição do transporte do produto através da modalidade rodoviária para o transporte através de gasodutos?

A justificativa para a proposta de dissertação apresentada é de investigar os questionamentos acima em busca de alternativas para mitigar o problema infra-estrutural no Brasil, apostando na alternativa de distribuição do produto pelo transporte rodoviário, através de carretas que transportam o gás natural no estado comprimido (GNC).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um modelo de Programação por Metas, como apoio à resolução do problema de logística de distribuição do gás natural em regiões que não são atendidas por gasodutos, para analisar a viabilidade de implantação de um gasoduto e/ou do sistema de distribuição através de caminhões.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Analisar o problema de distribuição de gás natural em regiões não atendidas por gasodutos;
- Estudar e compreender o método de Programação por Metas, bem como sua formulação;
- Identificar os fatores e parâmetros que devem ser considerados na formulação do problema;
- Modelar o problema pelo método de Programação por Metas, utilizando o suplemento *Solver* do programa Microsoft Excel 2003;
- Aplicar o modelo proposto para a região de Linhares (ES), a partir de um levantamento do panorama atual e futuro da distribuição de gás natural na região;
- Avaliar os resultados e a aplicabilidade do modelo a outras regiões.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este primeiro capítulo faz uma breve apresentação do tema pesquisado, enfatizando a importância do estudo e sua aplicação no transporte. Descreve também a justificativa do estudo, os objetivos geral e específicos e uma descrição da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta o tema gás natural, abordando o conceito, utilização, participação na matriz energética brasileira, vantagens e barreiras de sua utilização, com foco nos tipos de transporte dutoviário, comprimido e liquefeito. Por fim, é feita uma comparação entre dois métodos de transporte através dos gasodutos virtuais: o GNC e o GNL.

No terceiro capítulo, é feita uma revisão de literatura sobre os métodos de tomada de decisão com objetivos múltiplos, detalhando os métodos escolhidos para o estudo: a Programação por Metas e o Método da Utilidade Associada. É feita ainda uma revisão bibliográfica das aplicações da Programação por Metas na área de Transportes.

O quarto capítulo aborda o modelo proposto de distribuição de gás natural. É apresentado o ambiente de decisão, definição das variáveis e parâmetros considerados na formulação do problema, e a modelagem através do método de Programação por Metas. São detalhadas as etapas de transformação dos objetivos em metas, priorização das metas e formação da função execução. Por fim, é apresentada a formulação geral do problema.

No quinto capítulo, é realizada a aplicação do modelo ao estudo de caso proposto, na região de Linhares, no Espírito Santo. Inicialmente são apresentadas as características do município e principais dados de consumo de combustíveis na região. Em seguida, são detalhados os dados de entrada considerados no modelo para: fluxo de caixa, características do transporte, composição tarifária, aspectos de segurança, meio ambiente e saúde, e ponderação das metas. São apresentados os parâmetros do Solver quanto à função execução, variáveis e restrições do modelo, e em seguida, são definidos quatro cenários para análise do estudo de caso. Ao final do capítulo, são apresentados os resultados obtidos para cada um dos cenários gerados.

Por fim, as conclusões do trabalho e recomendações para novos estudos são apresentadas no sexto capítulo.

CAPÍTULO 2 - GÁS NATURAL

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o gás natural, o seu transporte através de gasodutos e também sob a forma comprimida (GNC) e liquefeita (GNL). É feita uma comparação entre os modos de transporte de GNC e GNL.

2.1 Considerações Iniciais

O gás natural (GN) é definido como a parcela do petróleo que se encontra na fase gasosa ou em solução nas condições de reservatório, composta por uma mistura de hidrocarbonetos, principalmente o metano, etano, propano e butano. Pode ser encontrado tanto associado, em poços petrolíferos, como também não-associado, em reservatórios de gás.

Os principais fatores que justificam a tendência de utilização do gás natural são (LIMA, 2007):

- Maior volume e dispersão das reservas existentes no mundo quando comparadas ao petróleo;
- Elevado rendimento térmico, por permitir operações com menor relação ar/combustível;
- Possibilidade de aumento da vida útil dos equipamentos;
- Redução de gastos com manutenção e limpeza de equipamentos;
- Menor impacto ambiental, devido à baixa emissão de poluentes;
- Redução em custos de armazenagem de combustível;
- Maior segurança operacional em relação ao GLP (Gás Liquefeito de Petróleo);
- Controle preciso da temperatura devido às características físico-químicas;
- Versatilidade do gás natural, que pode ser utilizado nos setores automotivo, industrial, residencial e também na geração de energia.

Entretanto, apesar de suas características positivas, por muitos anos o GN foi considerado um subproduto do petróleo com baixo valor agregado, que apresentava dificuldades para armazenamento, transporte e distribuição, sendo utilizado para reinjeção nos poços ou queimado em tochas nas plataformas de produção.

Segundo o Centro Brasileiro de Infra-Estrutura (2003), a indústria do gás natural remonta a segunda metade do século XIX, originando-se nos EUA. O consumo foi impulsionado pelo desenvolvimento de novas técnicas de transporte durante a década de 50 - um dos principais entraves do uso do combustível. Entretanto, foi a partir dos anos 60 e, em especial, depois dos dois choques do petróleo, em 1973 e 1979, que o consumo mundial de gás natural cresceu significativamente, com a descoberta de novas reservas, com o aumento do preço do petróleo e quando os países europeus passaram a utilizá-lo como energético.

A utilização do gás natural no Brasil começou por volta 1940, com as descobertas de óleo e gás na Bahia, atendendo a indústrias localizadas no Recôncavo Bahiano (PARO, 2005). A partir da década de 60, com o surgimento das primeiras Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGNs) na Bahia, o GN passa a ser comercializado e seu uso vai se ampliando ao longo do tempo. Este incremento se reforça durante a década de 90, quando mudanças no setor energético nacional com o objetivo de gerar benefícios sustentáveis permitem a abertura ao capital privado para o gás natural (BAIOCO, 2007). Além disso, a partir de 2004 as reservas provadas de GN nacional ampliaram-se significativamente com a descoberta das grandes reservas de gás natural na bacia de Santos, em região privilegiada em termos de transporte e distribuição, tendo como primeiro projeto o Campo de Mexilhão (MANOEL, 2006).

A participação do gás natural na matriz energética brasileira ainda é bastante tímida, chegando a 9,3% em 2007 (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2008). Este é um patamar muito baixo se comparado com a média mundial da época que era de 23%. A Figura 1 ilustra esta diferença pelo consumo relativo de gás em alguns países. Porém, considerando que esta participação era de 2,7% em 1987 e de 3,6% em 1997, percebe-se o considerável crescimento no mercado brasileiro nos setores industriais, de transporte e na geração elétrica.

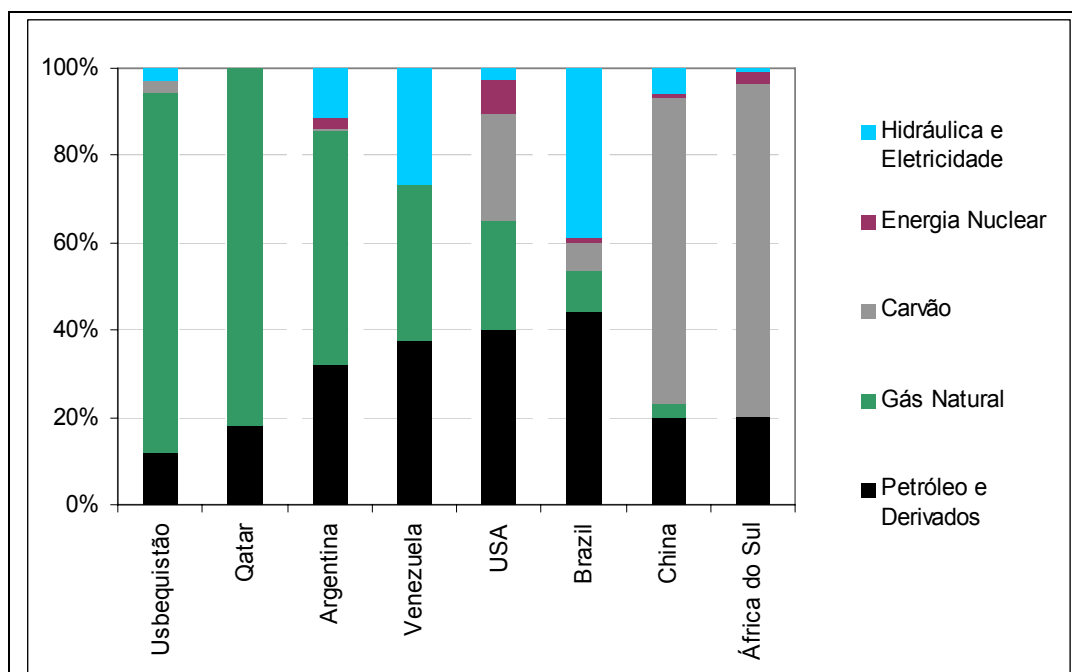


Figura 1 - Consumo relativo de gás natural de alguns países

Fonte: *British Petroleum*, 2009

Analisando-se a defasagem nacional apresentada na Figura acima se torna inevitável o interesse pelos motivos que fazem o país encontrar-se nesta situação. Segundo Lima (2007), as principais barreiras inibidoras da difusão do uso do gás natural no Brasil são:

- Falta de conhecimento com relação ao gás;
- Reduzida quantidade de fornecedores nacionais de equipamentos a gás;
- Elevados custos para conversão de equipamentos e mudanças de infraestrutura;
- Dificuldade de obtenção de mão-de-obra qualificada para operar os equipamentos;
- Resistência de empregados à implantação de novas tecnologias;
- Escassez de assistência técnica especializada;
- Alto custo do serviço para suporte técnico;
- Alto tempo de retorno do investimento;
- Condições comerciais rígidas nos contratos de compra do gás natural;
- Competitividade frente a outras fontes de energia, como o óleo combustível;
- Elevação do preço do gás;

- Falta de infra-estrutura para transmissão e distribuição;

Dentre os diversos motivos econômicos, culturais e tecnológicos citados anteriormente, um dos principais é, sem dúvida, o problema de infra-estrutura. A extensão territorial brasileira, aliada à reduzida malha dutoviária existente atualmente no país, faz com que o produto não consiga chegar a diversos mercados consumidores potenciais, e podem tornar a utilização do gás natural economicamente inviável se comparada com fontes concorrentes de energia.

Tal problema surge no país porque, diferentemente dos Estados Unidos e da Europa, a infra-estrutura para o gás natural não foi planejada conjuntamente ao processo de industrialização e as redes de distribuição não foram implantadas acompanhando o crescimento das cidades. Esta diferença pode ser observada ao comparar os mapas dos EUA e do Brasil com suas respectivas malhas dutoviárias.



Figura 2 - Mapa dutoviário do Brasil
Fonte: Abegás, 2009

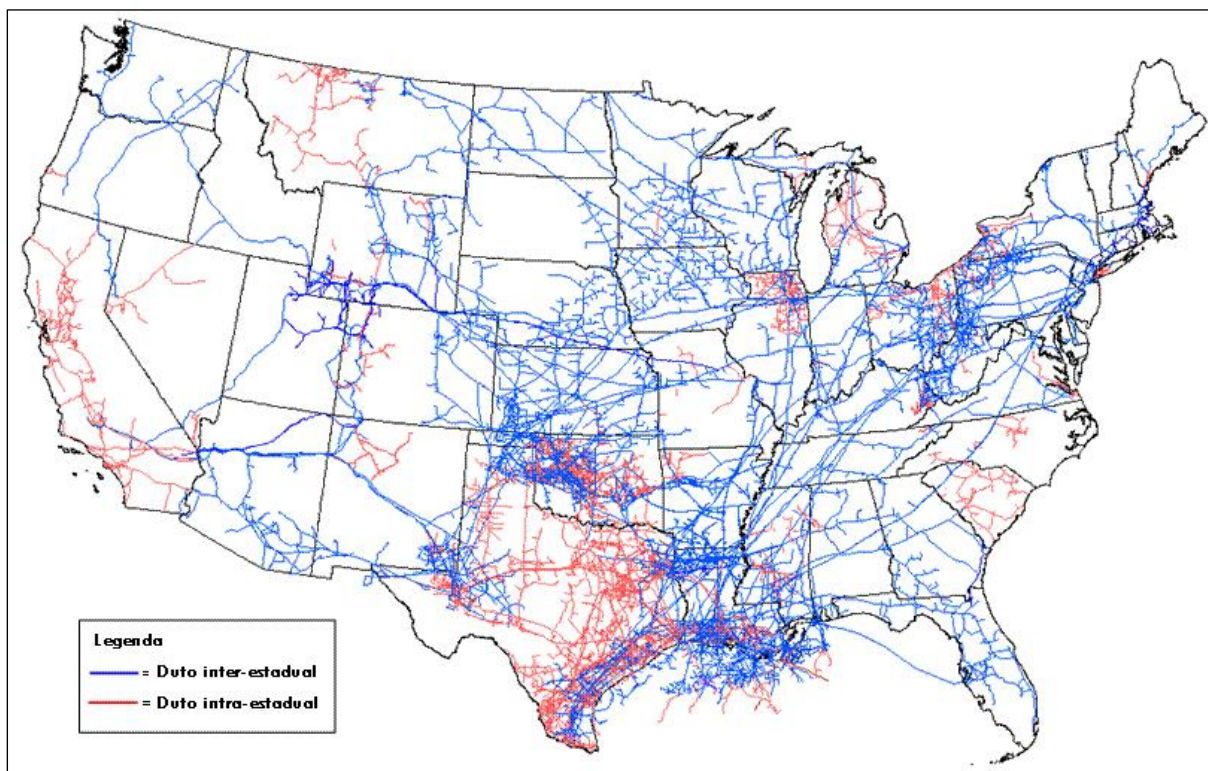


Figura 3 - Mapa dutoviário dos EUA
Fonte: EIA, 2008

A cadeia produtiva do gás natural pode ser dividida em três níveis de atividades: exploração e produção (*upstream*), processamento e transporte (*midstream*) e distribuição (*downstream*).

Na exploração, segundo Cardoso (2005), testes sísmicos verificam a existência de bacias sedimentares com as condições necessárias para a acumulação de hidrocarbonetos. Através da perfuração de um poço pioneiro é possível comprovar a existência da acumulação. Estudos de viabilidade técnica e econômica determinam a etapa de investimentos na produção.

Na fase de produção, que pode ser em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*), o gás natural deve passar por separadores para retirar a água e os hidrocarbonetos no estado líquido. Caso o gás esteja contaminado com compostos a base de enxofre, deve ser enviado para uma unidade específica a fim de ser depurado. Uma parte do gás pode ser utilizada para facilitar a extração do petróleo, ou para geração de eletricidade e vapor nas plataformas. O restante é escoado para as unidades de processamento.

O processamento do combustível ocorre em Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), nas quais o produto é desidratado e fracionado (Figura 4), gerando três sub-produtos: o gás natural processado, o GLP e a gasolina natural (PRAÇA, 2003).

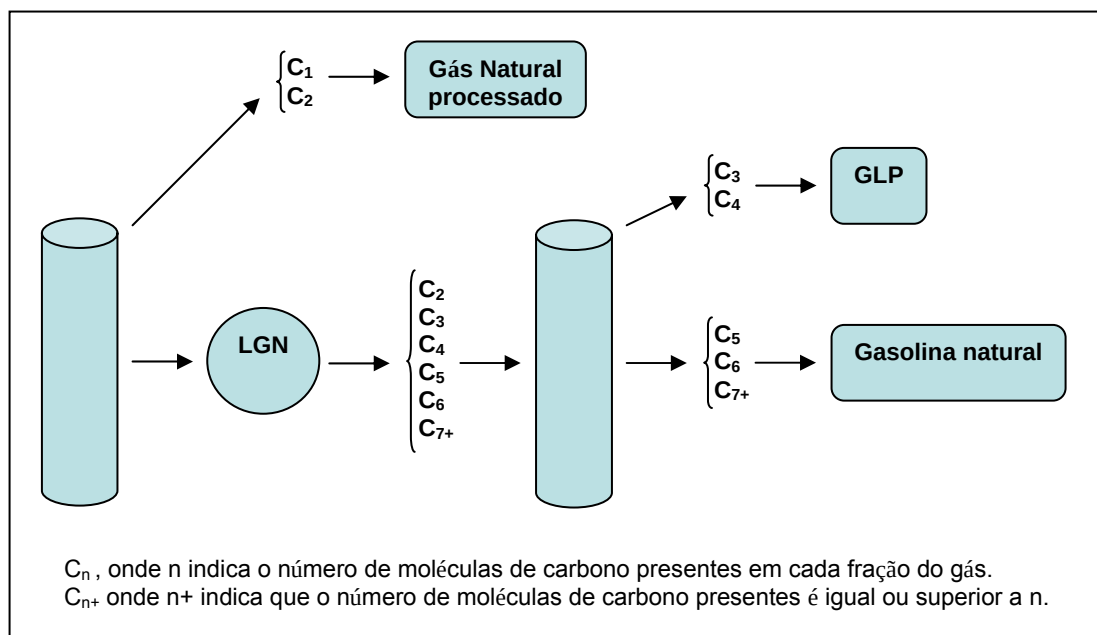


Figura 4 - Unidade de Processamento de Gás Natural
 Fonte: Adaptado de Cardoso, 2005

O transporte do gás natural pode ser feito no estado gasoso ou líquido. Na forma gasosa são utilizados os gasodutos ou então os cilindros de alta pressão, como gás natural comprimido (GNC). Para utilização veicular, o GNC é conhecido como GNV. O gás também pode ser transportado no estado líquido, como gás natural liquefeito (GNL), através de barcaças, caminhões e navios. As principais tecnologias de transporte do gás natural serão detalhadas no próximo item.

De acordo com Praça, 2003, a distribuição é também uma das atividades críticas do processo, quando o gás chega ao consumidor residencial, comercial, industrial ou automotivo. Nesta fase, o gás já deve atender a padrões rígidos de especificação e estar praticamente isento de contaminantes que podem causar problemas aos equipamentos que serão alimentados pelo combustível. Quando necessário, o gás deverá também estar odorizado. Tal prática permite que o combustível seja detectado mais facilmente em caso de vazamentos.

2.2 Gasodutos

De acordo com Abreu e Martinez (2003, p. 18) “o transporte por gasodutos é a solução mais amplamente utilizada”, já que apesar de lenta, ela é do tipo 24h/dia, sete dias por semana, o que torna a velocidade efetiva bem maior quando comparada com a de outras modalidades de transporte. Ballou (2006, p. 157) afirma que “em relação ao tempo em trânsito, o serviço dutoviário é o mais confiável, já que são quase nulas as interrupções causadoras de variabilidade desse tempo”. Entretanto, os gasodutos são ativos que não podem ser reaproveitados em outras localidades, ou seja, caso a demanda esperada pelo gás natural fique abaixo do esperado, os investidores não conseguirão reinstalar os dutos em novas cidades como forma de recuperar seus investimentos.

O custo de implantação do duto depende fundamentalmente da ocupação humana nas áreas atravessadas, das dificuldades impostas pelo relevo ou construções. É usual se referir ao custo do duto por metropol, que representa o produto do comprimento da tubulação (expresso em metros lineares) pelo seu diâmetro (expresso em polegadas). A referência de preços em 2003, que era de US\$ 15 a US\$ 25/metropol (ABREU e MARTINEZ, 2003), de acordo com levantamentos feitos por Garcia (2008), passou em 2005 a uma média de US\$ 40/metropol e em 2008 já registrava valores entre US\$ 75 e US\$ 100/metropol.

2.3 Gás Natural Liquefeito (GNL)

O Gás Natural Liquefeito é um gás natural resfriado a temperaturas inferiores a menos 160°C, visando transferência e estocagem como líquido. Sua composição é predominantemente metano e pode conter também quantidades variáveis de etano, propano e nitrogênio. Esta tecnologia, que existe há cerca de 40 anos, permite a redução do volume do fluido em cerca de 600 vezes, tornando o seu transporte mais fácil. O processo do GNL compreende produção, liquefação, transporte marítimo, regaseificação, distribuição por dutos e consumo em termelétricas, indústria, comércio ou residências (BAIOCO, 2007).

Segundo Perrut (2005), as tecnologias de liquefação de larga escala esbarram em barreiras, como elevados custos de investimento, necessidade de grandes reservas e a distância dos mercados consumidores. Esse tipo de construção tende a se concentrar nos transportes intercontinentais, para o abastecimento de países com menor custo de capital, como Estados Unidos e Japão, e onde a construção de infraestrutura de gasodutos se inviabiliza por motivos tecnológicos e geográficos.

No Brasil, o desenvolvimento da tecnologia GNL em pequena escala visa facilitar o transporte do gás natural para pequenos centros consumidores, onde a construção de gasodutos torna-se inviável pela baixa demanda. Uma *joint venture* feita entre a PETROBRAS e a White Martins na cidade de Paulínia (SP) representou mudanças no panorama brasileiro com relação ao GNL. O motivo foi a construção de uma planta de liquefação de pequena escala chamada GEMINI, que produz GNL a um custo de 10% a 15% do preço do GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), e por isso vem despertando o interesse das indústrias.

2.4 Gás Natural Comprimido (GNC)

O GNC é o gás natural processado e condicionado para o transporte em ampolas ou cilindros, à temperatura ambiente e pressão próxima à condição de mínimo fator de compressibilidade, cerca de 220 bar (ANP, 2009). Segundo Perrut (2005), “o Gás Natural Comprimido ocupa um volume cerca de 270 vezes menor que o volume ocupado nas condições normais”.

Essa opção permite o atendimento da demanda em regiões onde não há infraestrutura de redes de distribuição de gás canalizado. Visa também estimular o desenvolvimento de novos mercados de gás natural no Brasil, uma vez que possui alta flexibilidade. O aspecto negativo refere-se à operação de transporte, que é complexa e com riscos de acidente.

O sistema de transporte rodoviário de gás natural consiste, basicamente, de uma central de compressão que se encontra junto ao ramal dutoviário principal. Nessa central, o gás natural é comprimido e transferido para um veículo transportador que

faz a distribuição do produto para centrais intermediárias de armazenamento ou diretamente ao consumidor final.

No Brasil, já existem algumas experiências dessa alternativa de distribuição do produto, como por exemplo:

- Tramontina: em um projeto piloto, a fábrica de Carlos Barbosa (RS) recebeu GNC entre setembro de 2002 a março de 2004, quando entrou em operação um gasoduto na região (BARUFI, 2004).
- Sucos Kiki: a fábrica de Salto (SP), a partir de novembro de 2003 optou pelo GNC, com 3 carretas percorrendo o trajeto de 106 km. O novo sistema permitiu uma redução expressiva nos custos mensais do transporte de 1 milhão de m³ de gás por mês, que passaram de R\$ 1,5 milhão com o GLP para uma média de R\$ 400 mil a R\$ 500 mil em 2004. O investimento foi de cerca de US\$ 2,5 milhões no processo (BARUFI, 2004; COLLET, 2003).
- Gerdau Açominas: a partir de abril de 2005 se tornou a primeira empresa de Minas Gerais a utilizar o GNC. Até que a construção do gasoduto previsto para a região não se concretize, o GNC é a alternativa utilizada, em substituição ao GLP, nos processos siderúrgicos. As carretas realizam um trajeto de 100 km entre a estação de compressão e a empresa (MINAS..., 2007).
- Gás Natural Veicular em Pernambuco: enquanto a Companhia Pernambucana de Gás (Copergás) não conclui as obras do gasoduto Recife-Caruaru, a partir de maio de 2008 o GNC começou a ser transportado para Gravatá. A entrega é feita por caminhões, como já ocorre em Caruaru (ESTATAL..., 2008).
- Gás Natural Veicular em Teresópolis: uma das alternativas encontradas para a impossibilidade da construção de um gasoduto na cidade por entraves ambientais, a partir de dezembro de 2008, foi a comercialização do GNC (GÁS..., 2009).
- GNC no Espírito Santo: após a inauguração da primeira base de compressão e distribuição de gás natural comprimido do estado em 13/12/2005 (WHITE...,2005), a empresa White Martins transporta gás natural comprimido para empresas no estado, como a Sucos Mais, Brametal e Flexibras, além de

postos de combustíveis na Grande Vitória, Colatina, Ibraçu e Venda Nova do Imigrante (AZEREDO, 2008).

Existem algumas empresas ofertando serviços de transporte de GNC e fornecendo equipamentos para empresas de transporte no Brasil. Dentre elas, destacam-se:

- Galileo (sede em Buenos Aires): pelo seu sistema de entrega, o gás natural é transferido para alguns módulos que são trocados pelos módulos vazios do cliente (Figura 5).
- Neogas (sede no Rio de Janeiro): o gás é transferido para os cilindros da carreta e depois para o reservatório do cliente (Figura 6).
- MasterGas (sede no nordeste, BR 101): a entrega é feita diretamente ao cliente industrial e postos ou então a gasodutos secundários, que atendem a residências e pequenos comércios/indústrias (Figura 7).
- Agira (sede na Argentina com fábrica em Pernambuco): atende a postos GNV ou às necessidades industriais ou residenciais a distância (Figura 8).
- White Martins (sede no Rio de Janeiro): atende a postos, indústrias, distribuidores e residências em vários estados brasileiros, sendo que a partir de 2005 passou a atender também ao Espírito Santo (Figuras 9 e 10).



Figura 5 - Carreta e cilindros - Galileo
Fonte: Galileo, 2009



Figura 6 - Carretas - Neogas
Fonte: Neogas, 2009



Figura 7 - Carreta - Mastergas
Fonte: Mastergas, 2009



Figura 8 - Carretas - White Martins
Fonte: White Martins, 2009



Figura 9 - Carreta - Agira
Fonte: Agira, 2009



Figura 10 - Base de Compressão em Viana - White Martins
Fonte: Azeredo, 2008

2.5 Gasodutos Virtuais – GNC X GNL

O gasoduto virtual é um sistema que permite o transporte de gás natural por meio de carretas e módulos acoplados a plataformas móveis. O gás é liquefeito (GNL) ou comprimido (GNC) e posteriormente armazenado em cilindros, que são transportados principalmente em caminhões, podendo também ser utilizadas balsas ou plataformas ferroviárias. Quando o produto chega ao local de destino, o módulo é conectado a uma estação de descompressão e, assim, o gás está pronto para ser consumido (ANICETO, 2004).

Estudos apontam que a distância viável de transporte do gás natural por carretas é de até 150 a 200 km no caso do GNC, e até 500 km no caso do GNL (PERRUT, 2005 e OLIVEIRA, 2006). Estas limitações são estabelecidas com base na capacidade média de deslocamento diário de um caminhão, no volume ocupado pelo gás e também nos investimentos necessários em cada caso.

Como as carretas de GNC não possuem a capacidade de transportar um grande volume de Gás Natural, comparadas as GNL, estas são obrigadas a fazer maior número de viagens, em comparação às carretas de gás liquefeito, para atender a um mesmo cliente. No entanto, essa opção tecnológica ainda seria justificável enquanto a distância entre a unidade de compressão e o mercado consumidor não ultrapassasse um raio em torno de 200 km. A partir dessa distância, o caminhão de GNC dificilmente consegue fazer mais de uma viagem ao dia e, portanto, necessitaria de mais um veículo para efetuar o transporte diário do combustível. Com isso, os investimentos em novas carretas, assim como a duplicação de seus custos operacionais, tornam o transporte via GNC mais caro que o via GNL, para longas distâncias.

Por outro lado, a utilização de tecnologia GNL nos Gasodutos Virtuais seria mais atrativa para o transporte do gás a distâncias superiores a 200 km. Acima desta distância, o transportador economizaria no número de viagens, comparando-se com o GNC. No entanto, para o transporte num raio menor, este tipo de transporte talvez não justificasse o grande aporte de investimentos feitos nas plantas de liquefação. Esta relação está exemplificada na Figura 11, supondo uma demanda de gás de 100.000 m³/mês.

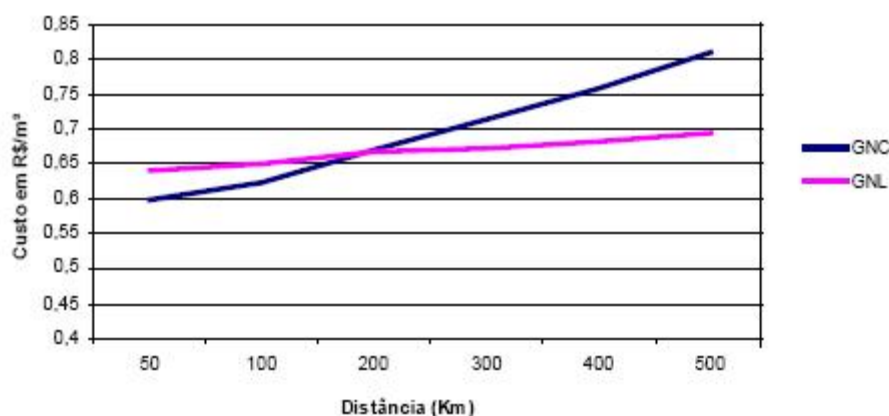


Figura 11 - Comparação de custos entre GNL e GNC
Fonte: Perrut, 2005

Neste trabalho, o foco do transporte dos cilindros de gás natural é pela modalidade de transporte rodoviária, sob a forma de GNC.

CAPÍTULO 3 - TOMADA DE DECISÃO COM OBJETIVOS MÚLTIPLOS

Neste capítulo é analisado o processo de tomada de decisão e são abordados os métodos de tomada de decisão com objetivos múltiplos. O método escolhido para o estudo, a Programação por Metas, é detalhada através de uma revisão bibliográfica sobre suas aplicações na área de Transportes. Por fim, o Método da Utilidade Associada é descrito, com o objetivo de ser utilizado na modelagem do problema.

3.1 O processo de Tomada de Decisão

Em qualquer segmento de indústria, um projeto deve ser analisado de forma criteriosa antes de ser aprovado. No setor do gás natural, tal preocupação é ainda maior devido à sua característica de grandes investimentos e alto risco. Em algumas circunstâncias, a chance de sucesso seria considerada em outros setores como ínfima, imaterial ou quase inexistente. Nesta indústria, onde o fator político tem um peso muito grande, a tomada de decisão de se fazer ou não um investimento, ou de qual projeto deve ser priorizado em detrimento de outros, é um processo extremamente complexo (MARANHAO, 2006).

Segundo Gomes (2006), decisão é um processo que leva, direta ou indiretamente, à escolha de ao menos uma dentre diferentes alternativas, sendo todas candidatas a resolver determinado problema. Ramos (1995) ressalta que decidir é optar entre alternativas viáveis também designadas por cursos de ação. Em situações em que a pressão do tempo é grande, como são as situações de crise, resvala-se com facilidade para modelos muito simples, em que apenas um dos critérios de decisão assume particular relevância, levando a por de lado outros aspectos e, conseqüentemente, reduz-se o problema (mais vasto) a um de minimização ou maximização do objetivo associado ao critério relevante.

Contudo, cada vez mais os tomadores de decisão são forçados a considerar uma grande variedade de critérios para avaliação das diferentes alternativas que lhe são oferecidas, como por exemplo, atender às necessidades dos consumidores,

maximizar o lucro, atender aos deveres e responsabilidades com a sociedade, melhorar treinamento de pessoal, atender aos interesses de acionistas, melhorar a qualidade de produtos, atingir o progresso tecnológico, maximizar crescimento da empresa, melhorar a eficiência gerencial, atender aos deveres com governo e melhorar relações com fornecedores.

Segundo Jones (2004), a programação com objetivos múltiplos tem sua origem em 1961 com os trabalhos de Charnes e Cooper, que buscavam uma forma de resolver problemas de programação linear que se apresentavam inviáveis devido a conflitos existentes em suas equações de restrição. Como resultado de pesquisas neste campo, foram desenvolvidos e aprimorados modelos para diversos tipos de programação multicritério, ou de Programação com Objetivos Múltiplos.

A tomada de decisão com objetivos múltiplos tem como principal meta auxiliar o decisor a articular suas preferências em presença de ambigüidades, conflitos e incertezas, tornando sua decisão mais coerente com seus interesses (MARANHÃO, 2006). São muito freqüentes em aplicações reais situações conflitantes do tipo: a alternativa a é preferida à b, considerando-se algumas de suas características, e não preferida, considerando-se outras. Na prática, normalmente um único ponto de vista é insuficiente para incluir toda a informação necessária e todas as contradições inerentes ao problema. Daí a importância de a análise de decisão considerar vários critérios (PARREIRAS, 2006).

Nos últimos 40 anos houve uma transformação no desenvolvimento de novas metodologias para auxiliar o processo de tomada de decisão, especialmente no desenvolvimento de procedimentos de programação multicritério para tomada de decisão (AOUNI e KETTANI, 2001).

O processo de tomada de decisão pode ser resumido em cinco passos (MORAIS NETO, 1988), conforme a Figura 12, a saber:

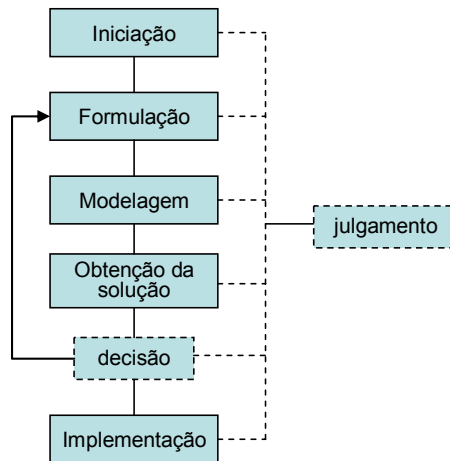


Figura 12 - O processo de Tomada de Decisão
Fonte: Morais Neto, 1988

- Iniciação: quando o decisor, percebendo a necessidade de alteração, realiza um diagnóstico do sistema;
- Formulação: envolve várias tarefas como a definição do problema, especificação dos objetivos e identificação das medidas dos atributos;
- Modelagem: uma vez que o sistema, seu ambiente e o conjunto de objetivos estão bem definidos, um modelo é construído. Esse modelo deve representar o mais fielmente possível o sistema;
- Obtenção da solução: através de métodos e técnicas apropriadas de tomada de decisão, todas as alternativas viáveis são analisadas com a finalidade de se obter uma solução para o problema;
- Implementação: se a solução encontrada for considerada satisfatória, será então implementada. Caso contrário os resultados obtidos serão analisados e deve-se retornar ao passo Formulação para as correções necessárias.

3.2 Objetivos e Atributos

De acordo com Morais Neto (1988), os conceitos de objetivo e atributo são básicos para o perfeito entendimento de qualquer processo de tomada de decisão.

Objetivo é, essencialmente, uma expressão que reflete a vontade do decisor acerca de um determinado estado do sistema em questão; é uma expressão que exprime o

“desejo” do decisor e assim, pode ser plenamente alcançado ou não. Um problema de decisão com objetivos múltiplos é caracterizado pela existência de vários objetivos, alguns bem definidos, outros pobremente definidos. Um conjunto de objetivos bem definidos apresenta uma estrutura hierárquica semelhante à apresentada na Figura 13.

No nível mais alto situa-se o objetivo geral que, sendo expresso normalmente de forma vaga, não pode ser medido. Por isto, é decomposto em vários outros objetivos e estes em sub-objetivos até que se possam ser encontradas maneiras de medir cada um deles.

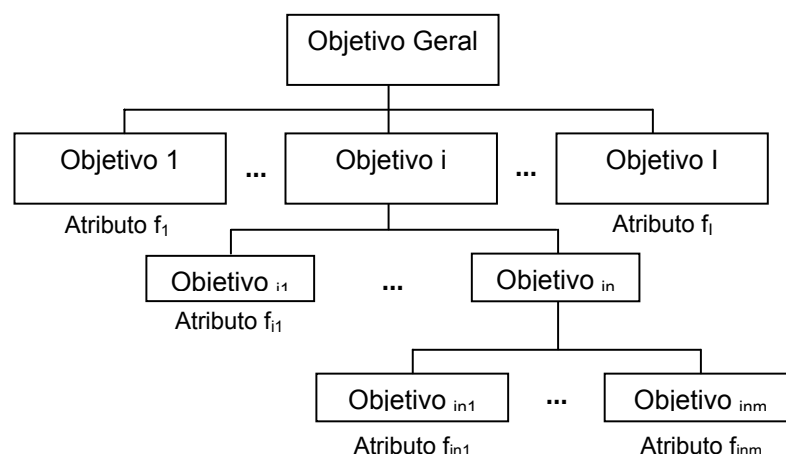


Figura 13 - Hierarquia dos Objetivos
Fonte: Morais Neto, 1988

Um atributo é a medida adotada cujo valor reflete o grau de atendimento de um objetivo a ele associado.

3.3 Métodos de Tomada de Decisão

Existe um grande número de métodos de tomada de decisão com objetivos múltiplos e inúmeras tentativas têm sido realizadas no sentido de classificá-los em grupos com as mesmas características. Chankong e Haimes (1983), ao apresentarem vários desses métodos, classificam inicialmente os métodos de tomada de decisão em duas grandes categorias (Quadro 1).

TEORIA DA UTILIDADE	TEORIA DA OTIMIZAÇÃO VETORIAL
Métodos de: - Avaliação direta: Função Utilidade de Multi-atributos; - Eliminação Seqüencial: Lexicográfico e Electre; - Representação Espacial: Curvas de Indiferença.	Métodos baseados em: - Pesos, prioridades, objetivos e ideais: <i>Goal Programming</i> , STEP e SEMOPS; - Preferência Global: Ad Hoc Preferência, Bicritério de Geoffrion e PROTRADE; - <i>Trade Off</i> : Zions-Wallenius e Geoffrion.

Quadro 1: Métodos de Tomada de Decisão
Fonte: Morais Neto, 1988, p. 12.

Na primeira categoria, coloca aqueles que, baseados principalmente na Teoria da Utilidade, têm em comum o fato de serem aplicáveis quando se tem um conjunto de alternativas normalmente pequeno e explicitamente especificado. Na segunda categoria, inclui aqueles que são baseados na Teoria da Otimização Vetorial, como os métodos de programação matemática e os métodos de preferências orientadas. Nessa categoria estão os métodos aplicáveis quando se tem um conjunto de alternativas muito grande e que, por esta razão, é implicitamente especificado através de equações.

Parreiras (2006) e Maranhão (2006) abordam os métodos de tomada de decisão a partir das linhas de pensamento das escolas Americana e da Francesa (ou Européia).

A Escola Americana, baseada na Teoria da Utilidade, tem como principal linha de abordagem a hierarquização dos níveis de decisão de um problema, bem como a formação de juízo de valor em termos numéricos.

Em contraposição aos métodos da Escola Americana, desenvolveu-se na Europa a Escola Francesa, em que não é imposta ao analista de decisão uma estruturação hierárquica dos critérios. Seus métodos caracterizam-se por apresentar dois estágios. No primeiro, são realizadas comparações entre cada alternativa, e a partir dessas comparações são definidas relações entre cada par de alternativas. No segundo estágio, essas relações são exploradas por meio de um conjunto de diretrizes, tendo como objetivo ordenar as alternativas da melhor para a pior e

classificar as alternativas em categorias pré-definidas. O Quadro 3 lista os principais métodos das escolas Americana e Francesa.

MÉTODOS DA ESCOLA AMERICANA	MÉTODOS DA ESCOLA FRANCESA
AHP: baseia-se em comparações entre alternativas com uso de escalas; Macbeth: transforma em quantitativos os julgamentos qualitativos realizados pelo decisor ao comparar os pares de alternativas; Ponto médio: método para construção de funções utilidade; Programação por Metas: exige que o decisor declare sua preferência indicando a meta que ele deseja alcançar. Permite ordenar todas as alternativas a partir da distância de cada uma delas em relação a essa meta; Smarts: auxilia a construção de funções utilidade aproximando-as por funções lineares; Smarts Intervalar: auxilia a construção de funções utilidade introduzindo nelas a imprecisão dos julgamentos do decisor. Smarter: similar ao Smarts, aproxima as funções utilidade por funções lineares e estima o peso de cada critério por uma técnica chamada Rank Order Centroid; Todim: possui algumas características semelhantes ao AHP. Pode ser considerado um método híbrido, por possuir elementos próprios de ambas as escolas; Utadis: classifica alternativas em categorias pré-definidas pela comparação entre o valor da função utilidade global para cada alternativa e constantes usadas para delimitar cada classe.	Electre I: baseia-se em concordância ou não para construir as relações entre as alternativas; Electre II: ordena as alternativa da melhor até a pior, tendo como dados de entrada os resultados obtidos pelo método Electre I; Electre III: utiliza os conceitos de sobre-classificação e índice de credibilidade para ordenar as alternativas; Electre IV: método em que as alternativas são ordenadas, mas não exige especificação de pesos para cada critério; Electre Tri: compara as alternativas e os perfis que definem os limites das categorias; Oreste: baseado no conceito de sobre-classificação, usado para ordenar as alternativas da melhor até a pior; Promethee I: usa o conceito de fluxo de rede da teoria de grafos para a ordenação das alternativas, admitindo preferência indefinida do decisor e alternativas incomparáveis; Promethee II: similar ao Promethee I, mas não admite julgamentos em que as alternativas são incompatíveis; Promethee V: executa-se o Promethee II e a seguir executa-se método de busca de alternativa que atende a uma serie de restrições impostas sobre o valor do fluxo de rede; Topsis: baseia-se na distância de cada alternativa até a solução ideal.

Quadro 3: Métodos de tomada de decisão
Fonte: Adaptado de Parreiras, p. 43 e 45.

Com base na teoria de interesse no presente trabalho, apresenta-se a seguir o método de Programação por Metas, baseado na Teoria da Otimização Vetorial.

3.4 Programação por Metas

Dentre os vários métodos de tomada de decisão com objetivos múltiplos, a Programação por Metas, ou *Goal Programming*, tem sido bastante utilizada e se tornou objeto de estudo em diversas pesquisas, por permitir diferentes abordagens (ERTUĞRUL, 2007). É considerada por Aouni e Kettani (2001) o modelo mais conhecido de programação multicritério com crescente utilização, dada a ampla rede de pesquisadores e usuários continuamente evoluindo em seu desenvolvimento teórico e em suas aplicações, todas bem sucedidas.

A Programação por Metas é tradicionalmente vista como uma extensão da programação linear que permite estabelecer objetivos múltiplos, expressos como metas a serem atingidas. Uma importante característica da Programação por Metas é a de permitir a minimização de desvios em relação às suas metas, segundo prioridades previamente estabelecidas (LEE, KANG e CHANG, 2008). Por essas razões, o interesse pela Programação por Metas é crescente, podendo ser verificadas aplicações em diversas áreas, como por exemplo:

- Alocação de fluxo de cargas militares (MORAIS NETO, 1988);
- Tomada de decisão em terminais marítimos petroleiros (RAMOS, 1995);
- Gerenciamento de coleta de resíduos (CUNHA e CAIXETA FILHO, 2002);
- Alocação estática de caminhões no planejamento de produção em mineração (COSTA, SOUZA e PINTO, 2005);
- Escolha de fornecedores de monitores de cristal líquido (LEE, KANG e CHANG, 2008)

Alguns conceitos são fundamentais para a compreensão do modelo de Programação por Metas (MORAIS NETO, 1988):

- Objetivo: expressão que reflete o desejo do decisor, como maximização de lucro, minimização de custos, etc.;
- Nível de aspiração: valor associado ao nível de atingimento de um objetivo que se deseja alcançar;
- Meta: equação formada pela associação entre objetivo e nível de aspiração;

- Desvio da meta: é a diferença que poderá ocorrer entre o nível de atingimento alcançado para uma meta e o nível de atingimento inicialmente desejado. Portanto, podem existir desvios positivos (quando a meta é superada) ou negativos (quando a meta não é atingida).

Dentre os tipos de classificação da Programação por Metas, Jones (2004) e Mirrazzavi, Jones e Tamiz (2001) destacam:

- Programação por Metas Ponderadas (ou *Weighted Goal Programming*): para cada desvio associado às metas é estabelecido um peso em função da importância relativa dada pelo decisor à meta. Para meta menos importante, cuja minimização de seus desvios é irrelevante, deve-se atribuir para o peso um valor zero ou próximo de zero; caso contrário, deve-se atribuir um valor mais alto. Todas as metas ponderadas são consideradas simultaneamente. Para objetivos incomensuráveis, é possível estabelecer desvios percentuais para possibilitar a soma direta dos valores ponderados na função execução;
- Programação por Metas Lexicográficas (ou *Pre-Emptive Goal Programming*): minimização seqüencial dos desvios previamente ordenados e priorizados. Os desvios das metas com maior prioridade são minimizados ao máximo, para posteriormente serem considerados os desvios seguintes. Este método é utilizado quando o processo de tomada de decisão possui uma ordenação natural dos objetivos e na qual prevalece a comparação relativa entre eles.

A formulação geral do modelo de Programação por Metas compreende as seguintes etapas (RAMOS, 1995):

- Formulação dos objetivos: definidos de acordo com os desejos do decisor e formulados em expressões matemáticas que relacionem as variáveis de decisão. Devem ser selecionados de forma a eliminar aqueles que forem redundantes;
- Transformação dos objetivos em metas: para cada um dos objetivos deve ser estabelecido um nível de aspiração a ser incluído no membro direito da equação correspondente à meta, juntamente com as variáveis de desvios a serem incluídas no membro esquerdo;

- Priorização das metas: para Programação por Metas Ponderadas devem ser estabelecidos pesos para os desvios das metas, em função da importância de cada meta. Para Programação por Metas Lexicográficas, deve ser definida uma ordem de importância das metas para que as com menores prioridades só sejam consideradas após o atingimento das metas de maiores níveis de prioridade;
- Formação da função execução: a solução da Programação por Metas é obtida através da minimização dos valores das variáveis de desvio das metas.

Cabe ressaltar que o sucesso da modelagem pela Programação por Metas depende da acuidade e experiência do decisor no estabelecimento das metas, critérios e restrições (PERÇIN, 2006; EL-WAHED e LEEB, 2006; WEY e WU, 2007).

Para facilitar o entendimento da formulação da Programação por Metas, Moraes Neto (1988) propõe uma comparação com o modelo da Programação Linear. A formulação padrão da Programação Linear visa:

- Encontrar $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, tal que maximize ou minimize a função objetivo:

$$Z = \sum_{j=1}^j d_j \cdot x_j \quad (1)$$

Sujeita às restrições:

$$\sum_{j=1}^j c_{ij} \cdot x_j \stackrel{\geq}{\leq} b_i, \text{ para todo } i, j \quad (2)$$

com:

$$x_j \geq 0$$

onde:

$i = 1, 2, \dots, I;$

$j = 1, 2, \dots, J;$

d_j : coeficiente da variável de decisão x_j na função objetivo;

c_{ij} : coeficiente da variável de decisão x_j na restrição i ;

b_i : membro direito da restrição i .

Na Programação Linear, a solução ótima só será viável se todas as restrições forem cumpridas.

Já a formulação da Programação por Metas visa encontrar $x = (x_1, x_2, \dots, x_j)$ tal que minimiza a função execução:

$$a = \{ g_1(\eta_i, \rho_i), g_2(\eta_i, \rho_i), \dots, g_k(\eta_i, \rho_i) \} \quad (3)$$

e tal que:

$$\sum_{j=1}^j c_{ij} \cdot x_j + \eta_i - \rho_i \equiv b_i \quad \text{para todo } i, j \quad (4)$$

com:

$$x_i, \eta_i, \rho_i \geq 0$$

onde:

$i = 1, 2, \dots, I$;

$j = 1, 2, \dots, J$;

$g_k(\eta_i, \rho_i)$: função linear das variáveis de desvio no nível de prioridade k ;

x_j : variável de decisão j ;

η_i, ρ_i : variáveis de desvio negativo e positivo, respectivamente, da meta i ;

c_{ij} : coeficiente da variável de decisão x_j na meta i ;

b_i : nível de aspiração da meta i .

O conceito de Programação por Metas é bastante semelhante ao conceito tradicional de programação matemática, linear ou não-linear. Entretanto, no conceito tradicional, os modelos são desenvolvidos considerando apenas um objetivo a ser minimizado ou maximizado, e já na técnica de Programação por Metas é possível estabelecer diversas metas a serem atingidas, segundo prioridades estabelecidas (CUNHA e CAIXETA FILHO, 2002).

Para o processo de transformação de objetivos em metas, é necessário compreender as três formas básicas de metas, que são diferenciadas pelas relações envolvendo o objetivo e o seu nível de aspiração:

- $f_i(x) \leq b_i$: quando se tem uma meta na qual deseja-se que $f_i(x)$ seja igual ou menor que b_i ;
- $f_i(x) \geq b_i$: quando se tem uma meta na qual deseja-se que $f_i(x)$ seja igual ou maior que b_i ;

- $f_i(x) = b_i$: quando se tem uma meta na qual deseja-se que $f_i(x)$ seja exatamente igual a b_i ;

onde:

$f_i(x)$ = representação matemática do objetivo i como uma função linear de variáveis de decisão $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$;

b_i = valor do nível de aspiração associado ao objetivo i .

Na formulação típica de programação linear com objetivos múltiplos, as três formas básicas de metas apresentadas são transformadas, adicionando a variável de desvio negativo (η) e subtraindo a variável de desvio positivo (ρ). Essas variáveis de desvio são, por definição, positivas ($\eta_i \geq 0$, $\rho_i \geq 0$). E, também intuitivo, que a existência de uma implica a anulação da outra, ou seja, se $\eta_i \geq 0$, então $\rho_i = 0$, e vice versa. Isto é assegurado pela exigência de que $\eta_i \times \rho_i = 0$. O Quadro 2 mostra essas transformações.

Deve-se observar que as transformações acima são aplicáveis não apenas aos objetivos, mas também às restrições, caso houver.

Metas básicas	Formulação em Programação Linear por Objetivos Múltiplos	Minimizar
$f_i(x) \leq b_i$	$f_i(x) + \eta_i - \rho_i = b_i$	ρ_i
$f_i(x) \geq b_i$	$f_i(x) + \eta_i - \rho_i = b_i$	η_i
$f_i(x) = b_i$	$f_i(x) + \eta_i - \rho_i = b_i$	$\eta_i + \rho_i$

Quadro 2: Transformação de objetivos em metas

Fonte: Morais Neto, 1988

Uma vez que a função objetivo e as restrições foram transformadas em metas, e os desvios a serem minimizados foram identificados, necessita-se estabelecer uma maneira de avaliar a solução a ser apresentada. Isso é conseguido através de uma função execução, que mede o nível de atingimento da solução em termos de minimização de um conjunto de variáveis de desvio de metas ordenadas de acordo com a importância.

Ahern e Anandarajah (2007) ressaltam que as maiores limitações da Programação Linear são a otimização de um único objetivo e utilização de restrições rígidas. Por exemplo, se há uma restrição de que o volume transportado deve ser maior que um determinado valor, mesmo pequenos desvios negativos não são permitidos na Programação Linear. Segundo Ragsdale (2004), diversos problemas de decisão gerenciais podem ser modelados com maior acuidade utilizando metas ao invés de restrições. Geralmente estes problemas não possuem uma função objetivo explícita a ser minimizada ou maximizada, e sim metas que podem incluir variáveis flexíveis e restrições.

A Programação por Metas permite utilização de variáveis rígidas e flexíveis, através do estabelecimento de níveis de desvios com relação às metas. Em seus trabalhos, Lee (1972) e Ignizio (1985) já ressaltavam esta limitação da Programação Linear em não permitir trabalhar com objetivos múltiplos e variáveis flexíveis.

3.5 Aplicação da Programação por Metas

Com o objetivo de identificar a aplicabilidade, eficiência e flexibilidade da Programação por Metas quando comparada aos demais métodos descritos no item 3.3, foi feita uma revisão bibliográfica de trabalhos que utilizam esta alternativa de análise multi-critério em diversos setores e, em particular, no setor de transportes. Os resultados desta pesquisa foram publicados e apresentados pela autora no XXIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, no dia 10 de novembro de 2009 em Vitória-ES.

Como referência mais recente de aplicações gerais, cabe ressaltar o trabalho de Jones (2004), que analisa a aplicação da Programação por Metas entre 1990 e 2000, através de artigos publicados em periódicos de referência contendo descrição, modificação ou avanços relacionados ao método. Os artigos foram classificados por Jones (2004) em 16 campos de aplicação, conforme mostra a Tabela 1.

Como o autor classificou cada artigo em apenas uma categoria, observou-se que alguns deles poderiam também ter sido classificados como aplicação no setor de

transportes. Por isso, foi feita uma nova análise dos artigos, visando identificar os que estão também relacionados a Transportes. Constatou-se que o percentual de aplicação da Programação por Metas aumenta de 4,2% para 12,8%, conforme consta da Tabela 2, que foi elaborada a partir do artigo de Jones (2004).

Tabela 1: Aplicações da Programação por Metas entre 1990 e 2000

Campo de aplicação	Nº artigos por campo	%
Gerenciamento acadêmico	4	1,5%
Gerenciamento agrícola	20	7,5%
Planejamento da demanda de suprimentos	9	3,4%
Planejamento e produção energética	18	6,8%
Engenharias	19	7,2%
Gestão ambiental e de resíduos	14	5,3%
Finanças	5	1,9%
Planejamento em saúde	5	1,9%
Tecnologia da informação e computação	10	3,8%
Planejamento estratégico e gerencial	15	5,7%
Planejamento militar	4	1,5%
Gerenciamento de recursos naturais	26	9,8%
Planejamento da produção	27	10,2%
Planejamento sócio-econômico	7	2,6%
Desenvolvimento teórico	71	26,8%
Transportes e distribuição	11	4,2%
Total	265	100,0%

Fonte: Jones (2004)

Tabela 2: Aplicações da Programação por Metas em Transportes entre 1990 e 2000

Campo de aplicação	Nº artigos em Transportes	%
Transportes e distribuição	11	4,2%
Planejamento e produção energética	6	2,3%
Planejamento da produção	6	2,3%
Gerenciamento de recursos naturais	3	1,1%
Planejamento da demanda de suprimentos	2	0,8%
Gestão ambiental e de resíduos	2	0,8%
Gerenciamento agrícola	1	0,4%
Engenharias	1	0,4%
Planejamento estratégico e gerencial	1	0,4%
Planejamento sócio-econômico	1	0,4%
Total	34	12,8%

Fonte: Uliana e Moraes Neto (2009)

Jones (2004) conclui, através de sua pesquisa, que a Programação por Metas ainda está sendo bastante utilizada em diversos campos, tanto em desenvolvimento teórico quanto em aplicações práticas. Afirmar ainda que o percentual de 26,5% de artigos classificados como em “desenvolvimento teórico” mostra-se adequado para uma disciplina que está muito bem estabelecida, mas ainda sendo adaptada e refinada.

3.5.1 Aplicações em Transportes

Visando a análise da aplicação da Programação por Metas na área de Transportes, foi realizada uma revisão bibliográfica de trabalhos (artigos, dissertações e teses) publicados em periódicos nacionais e internacionais, selecionados através do portal da CAPES e de instituições de ensino nacionais conceituadas, no período de 1985 a 2009.

A Tabela 3 sintetiza os trabalhos analisados, discriminando o ano, o autor, a finalidade de uso, o método de priorização das metas e a modalidade de transporte. Observa-se que a maior parte dos trabalhos se refere à modalidade rodoviária, representando 58,3% do total analisado, enquanto 16,7% correspondem à modalidade ferroviária, 20,8% ao multimodal e os restantes 4,2% ao marítimo.

Observa-se que 62,5% das aplicações utilizam a Programação por Metas Ponderada, enquanto 37,5% utilizam a Lexicográfica. Pode-se atribuir o maior percentual de utilização do método Ponderado à facilidade computacional da formulação das equações. Isto porque ferramentas de comum acesso aos usuários, como o Excel, permitem que a formulação ponderada seja minimizada em uma única célula através do suplemento Solver. Já o método Lexicográfico, exige uma formulação mais específica para busca das soluções por etapas.

Tabela 3: Aplicações da Programação por Metas em Transportes

Ano	Autor	Finalidade	Método	Modo
2009	Chang, Wey e Tseng	Seleção de projetos de revitalização ferroviária	Ponderada	Ferroviário
2009	Ho e Emrouznejad	Rede de distribuição logística	Ponderada	Multimodal
2008	Vansteenwegen	Planejamento de transporte público e turístico	Ponderada	Ferroviário
2008	Tsai, You e Lin	Escolha de canal de distribuição na indústria do aço	Lexicográfica	Multimodal
2008	Selim e Ozkarahan	Planejamento de depósitos e fábricas	Ponderada	Rodoviário
2008	Pati, Vrat e Kumar	Sistema de distribuição de papel reciclado	Lexicográfica	Rodoviário
2007	Dajie	Alocação estática de vagões	Ponderada	Ferroviário
2007	Leung	Distribuição de viagens em engenharia de tráfego	Ponderada	Rodoviário
2007	Wey e Wu	Alocação de recursos de transporte	Ponderada	Multimodal
2007	Ahern e Anandarajah	Priorização de investimentos ferroviários	Ponderada	Ferroviário
2007	Calvete	Roteirização de veículos	Ponderada	Rodoviário
2006	Perçin	Seleção de fornecedores	Lexicográfica	Rodoviário
2005	Costa, Souza e Pinto	Alocação estática de caminhões	Ponderada	Rodoviário
2003	Çebi e Bayraktar	Seleção de fornecedores	Lexicográfica	Rodoviário
2002	Cunha e Caixeta Filho	Gerenciamento de coleta de resíduos	Lexicográfica	Rodoviário
2000	Duff-Ridell	Projetos de redes de transportes	Ponderada	Rodoviário
1995	Ramos	Terminais marítimos petroleiros	Lexicográfica	Marítimo
1995	Niemeier et al.	Seleção de projetos de transportes	Ponderada	Multimodal
1994	Chalam	Atendimento a demandas de transporte	Ponderada	Rodoviário
1992	Brauer e Naadimuthu	Planejamento de centros de distribuição	Lexicográfica	Rodoviário
1991	Min	Análise intermodal de transporte internacional	Ponderada	Multimodal
1988	Morais Neto	Alocação de fluxo de cargas militares	Lexicográfica	Rodoviário
1987	Sinha e Sastry	Planejamento de localização de infra-estruturas	Lexicográfica	Rodoviário
1985	Kwak e Schniederjans	Transporte rodoviário	Ponderada	Rodoviário

Fonte: Uliana e Morais Neto (2009)

O exemplo utilizado por Ragsdale (2004) para explicar a aplicação do método de Programação por Metas, resolvido através do Solver, é apresentado na Figura 14. Trata-se do projeto de expansão da área de convenções de um hotel, para o qual são estabelecidos objetivos relacionados ao número total de salas de conferência classificadas por tamanho (pequenas, médias e grandes), limite da área de expansão, e custos. Pode-se verificar que para cada um dos cinco objetivos a serem

alcançados foi atribuído um peso para desvios positivos e negativos, caracterizando o método utilizado como Ponderado. É importante destacar que, como os objetivos são incomensuráveis, a formulação é feita a partir de desvios percentuais. A utilização do método Ponderado de Programação por Metas permitiu a formulação através da minimização do valor de apenas uma célula, a “B23”.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Davis McKeown Hotel Expansion						
2								
3								
4	Problem Data	Small	Medium	Large				
5	Square Footage	400	750	1,050				
6	Building Cost	\$18,000	\$33,000	\$45,150				
7								
8	Goal Constraints	Small	Medium	Large	Sq. Ft.	Cost		
9	Actual Amount	5	10	15	25,250	\$1,097,250		
10	+ Under	0	0	0	0	\$0		
11	- Over	0	0	0	250	\$97,250		
12	= Goal	5	10	15	25,000	\$1,000,000		
13	Target Value	5	10	15	25,000	\$1,000,000		
14								
15	Percentage Deviation							
16	Under	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
17	Over	0.00%	0.00%	0.00%	1.00%	9.73%		
18								
19	Weights							
20	Under	1	1	1	1	0		
21	Over	0	0	0	1	1		
22								
23	Objective	0.11						

Células variáveis: 9, 10, 11
 Células de restrições: 12, 13
 Célula de destino: 23

Key Cell Formulas		
Cell	Formula	Copied to
B12	=B9+B10-B11	C12:F12
B16	=B10/B\$13	B16:F17
E9	=SUMPRODUCT(B9:D9,B5:D5)	---
F9	=SUMPRODUCT(B9:D9,B6:D6)	---
B23	=SUMPRODUCT(B16:F17,B20:F21)	---

Figura 14 - Exemplo de aplicação da Programação por Metas
Fonte: Ragsdale (2004)

Dentre os programas utilizados, destacam-se o LINDO (17%), o LINGO (13%), WinQSB (8%) e GAMS (4%), com utilização mais frequentes (Tabela 4). Entretanto, identificou-se que em 21% dos trabalhos houve desenvolvimento pelos autores de programas específicos para a solução dos problemas de Programação por Metas, como o SISDIN (MORAIS NETO, 1988) e ORMCDM (HO e EMROUZNEJAD, 2009). Em 29% dos trabalhos não foi possível identificar a ferramenta utilizada.

Tabela 4: Programas utilizados

Programa	Nº de trabalhos
Não identificado	7
LINDO	4
LINGO	3
Programas específicos	2
ORMCDM	1
SISDIN	2
WINQSB	2
GAMS	1
WIPRO-Z650	1
XMP ZOOM version	1
Total geral	24

Fonte: Uliana e Morais Neto (2009)

Com relação à formação das funções objetivo, identificou-se que normalmente foi abordada a minimização de desvios positivos em metas que limitam recursos ou fatores prejudiciais aos objetivos, como custo, risco e tempo, e minimização do desvio negativo em fatores benéficos ao sistema como nível de serviço, atendimento à demanda e retorno financeiro. Para algumas metas foram consideradas tanto a minimização de um dos desvios (PATI, VRAT e KUMAR, 2008), como também da soma dos desvios positivo e negativo (KWAK e SCHNIEDERJANS, 1985; MORAIS NETO, 1988; HO e EMROUZNEJAD, 2009).

Os exemplos abaixo permitem a diferenciação entre as formulações da Função Execução:

- com minimização ponderada de desvios positivos e negativos:

$$\min \ddot{W}\ddot{g} + \sum_{i=2}^n \hat{W}_i \hat{g}_i^- + \sum_{i=2}^n \tilde{W}_i \tilde{g}_i^+ + \sum_{k=1}^V \dot{W}_k \dot{g}_k^- + \sum_{k=1}^V \check{W}_k \check{g}_k^- \quad (5)$$

onde W representa a ponderação das metas e g os desvios (CALVETE, 2005);

- com minimização lexicográfica de desvios positivos e negativos:

$$\min \{d_c^+, d_q^+, d_e^-\} \quad (6)$$

onde d representa o desvio de cada meta, apresentado na ordem de prioridade para a solução lexicográfica (PATI, VRAT e KUMAR, 2008);

- com minimização ponderada da soma dos desvios:

$$\min z = \sum_k P_k (d_r^+ + d_r^-) + \sum_k P_k (d_s^+ + d_s^-) \quad \forall r, \forall s \quad (7)$$

onde P representa a ponderação das metas e d os desvios (HO e EMROUZNEJAD, 2009);

- com minimização lexicográfica de um dos desvios ou da soma de desvios positivos e negativos:

$$\min a = \left[\left(\sum_{n=1}^N \rho_n \right), \left(\sum_{j=1}^J w_j (n_{N+j} + \rho_{N+1}) \right), (\rho_{N+J+1}), (\eta_{N+J+2}), (\eta_{N+J+3}) \right] \quad (8)$$

onde ρ representa o desvio positivo e η o negativo das metas (MORAIS NETO, 1988).

Quanto aos tipos de metas utilizadas nos 24 trabalhos analisados, observou-se que algumas foram bastante freqüente, como custo, presente em 18% dos trabalhos analisados, nível de serviço, em 16%, função utilidade, em 10%, e atendimento à demanda e volume transportado, ambos em 8%. A Tabela 5 apresenta as 15 principais classes de metas utilizadas.

Tabela 5: Metas utilizadas na formulação dos problemas

Metas	Nº de artigos	%
Custo	14	18%
Nível de serviço	13	16%
Demanda	6	8%
Volume transportado	6	8%
Risco	5	6%
Capacidade	5	6%
Tempo	5	6%
Função utilidade	8	10%
Retorno	3	4%
Investimento	3	4%
Eficiência	3	4%
Distância	2	3%
Estoque	2	3%
Recursos	2	3%
Produtividade	2	3%
Total geral	79	100%

Fonte: Uliana e Morais Neto (2009)

Com relação à priorização entre as metas, algumas particularidades foram observadas. Quando uma meta apresenta relevância muito maior que as demais, considera-se esta meta como de prioridade na formulação de Programação por Metas Lexicográfica, já que o modelo buscará minimizar ao máximo os desvios desta meta antes de analisar as de prioridades menores. Outra forma observada foi através de atribuição de pesos significativamente maiores a estas metas, como fizeram Ho e Emrouznejad (2009) ao atribuir 32% a tempo de atendimento contra 7% para valor agregado e, também, Chang, Wey e Tseng (2009) ao atribuir 50% para benefícios e 5% para riscos. Em alguns trabalhos, porém, não houve diferenciação entre as metas e os pesos foram considerados iguais, como nos de Leung (2007) e de Chalam (1994).

A Programação por Metas é um importante avanço na modelagem e na análise de problemas de decisão nos quais existem vários objetivos, mesmo conflitantes e/ou incomensuráveis, a serem atingidos; permite flexibilidade no nível de atingimento às metas, de forma que seja possível considerar mais de um cenário de acordo com os desvios e prioridades estabelecidas. Tal característica representa um diferencial para o decisor, devido à grande quantidade de fatores, interesses e variáveis envolvidas na maioria dos processos decisórios.

Através da pesquisa realizada, foi possível constatar que a Programação por Metas permanece em pleno desenvolvimento e aplicação na tomada de decisão em diversas áreas, entre elas a de transportes. Os resultados obtidos se mostram bastante satisfatórios, sendo os principais fatores relacionados à flexibilidade e robustez.

3.6 Método da Utilidade Associada

Conforme abordado no item 3.2, os métodos baseados na Teoria da Utilidade são empregados quando se tem um conjunto explicitamente bem definido de alternativas a serem avaliadas. Segundo Brito (2007), a idéia básica é de associar um valor que represente o critério de escolha para cada desejo do decisor. Esse processo permite

criar uma escala com valores de utilidade, e agrega aspectos de incerteza presentes no problema de decisão.

Dadas as características deste método e o interesse de sua aplicação no trabalho, o exemplo a seguir, baseado no trabalho de Rigolin (2007), possibilitará o entendimento de seus principais conceitos.

Exemplo 1: para a análise do Planejamento Integrado de Recursos aplicada aos meios transportadores de gás natural e transmissão elétrica, são analisados quatro aspectos ou dimensões: técnico-econômico, ambiental, social e político. A dimensão ambiental analisa quais os efeitos que as modalidades de transporte escolhidos causam ao meio ambiente em questão. Desta forma, são estabelecidos os seguintes atributos para a análise:

Atributos	Valores		
	10	5	0
Poluição atmosférica	Não polui	Afeta a qualidade do ar levemente	Causa desequilíbrio ambiental
Poluição aquática	Não polui	Altera pouco a temperatura da água	Dejetos nocivos nas águas, desvio do fluxo natural das águas
Poluição dos solos	Não polui	Afeta a qualidade do solo levemente	Dejetos nocivos nos solos, alteração do terreno
Facilidade de obtenção de Licenças Ambientais	Sem obstáculos	Obstáculos razoáveis	Muitos obstáculos
Emissão de Gases Estufa	Desprezível	Médio	Alto

Quadro 3: Atributos e tipos de medida
Fonte: Rigolin, 2007

Pode-se perceber que o decisor está diante de um problema com atributos expressos qualitativamente. Além disso, não pode levar em consideração apenas um dos aspectos, uma vez que todos são relevantes para a avaliação.

Uma forma de lidar com esses aspectos (multiplicidade, incomensurabilidade e subjetividade) é através de uma escala ordinal, pela qual o decisor é chamado a avaliar cada um dos atributos. Suponha que se estabeleça uma escala de 0 a 100, na qual é dada pontuação 0 ao atributo em condições mais desfavoráveis e 100 em condições favoráveis ao planejamento. Ou seja, considerando a escala representada

na Figura 15 e as alternativas do Quadro 3, a alternativa “a1” corresponderia a 90, “a2” a 70, “a3” a 50 e assim por diante. A essas pontuações dá-se o nome de utilidade.

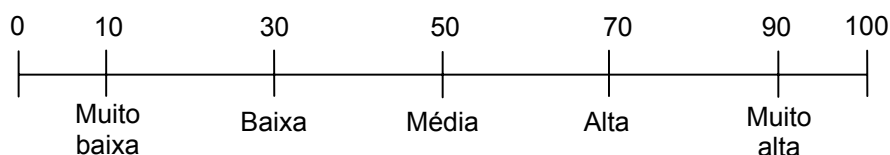


Figura 15 - Exemplo de escala numérica

Os atributos podem, assim, ser expressos em forma numérica (Quadro 4) e em uma mesma escala, de 0 a 100.

Atributos	Peso	Alternativas				
		a1	a2	a3	a4	a5
Custo total (US\$ milhões)	0,30	90	70	50	30	10
Manutenção (frequência / origem das peças)	0,15	90	70	50	30	10
Tempo de construção	0,10	90	70	50	30	10
Domínio da tecnologia	0,15	90	70	50	30	10
Tempo de retorno	0,30	90	70	50	30	10

Quadro 4: Atributos em uma mesma escala

Embora todos os atributos sejam relevantes na avaliação dos projetos, cada um deles poderá ter um grau de importância maior ou menor em relação aos demais (MORAIS NETO, 1988). Sendo assim, é possível atribuir ao custo total importância duas vezes maior que o domínio da tecnologia, por exemplo (Quadro 4).

Com as utilidades e os pesos associados a cada atributo, pode-se calcular a utilidade total de cada alternativa. Para isso, basta somar os produtos das utilidades pelos pesos respectivos em cada projeto, com os seguintes resultados:

- $U_{a1} = 0,30 \times 90 + 0,15 \times 90 + 0,10 \times 90 + 0,15 \times 90 + 0,30 \times 90 = 90$
- $U_{a2} = 0,30 \times 70 + 0,15 \times 70 + 0,10 \times 70 + 0,15 \times 70 + 0,30 \times 70 = 70$
- $U_{a3} = 0,30 \times 50 + 0,15 \times 50 + 0,10 \times 50 + 0,15 \times 50 + 0,30 \times 50 = 50$
- $U_{a4} = 0,30 \times 30 + 0,15 \times 30 + 0,10 \times 30 + 0,15 \times 30 + 0,30 \times 30 = 30$
- $U_{a5} = 0,30 \times 10 + 0,15 \times 10 + 0,10 \times 10 + 0,15 \times 10 + 0,30 \times 10 = 10$

Desta forma, as alternativas podem ser ordenadas conforme suas utilidades totais, indicando que a alternativa a1 é a preferível às demais por apresentar maior valor de utilidade total. Neste exemplo as alternativas foram classificadas propositadamente em ordem decrescente de utilidade. Entretanto, nas situações reais o mesmo cenário pode apresentar atributos favoráveis e outros desfavoráveis, tornando o método importante para a ordenação final.

Portanto, o cálculo das utilidades totais de cada alternativa tem a seguinte formulação geral:

$$U_i = \sum_{j=1}^J w_j \times u_{ij} \quad \text{para todo } i, j \quad (9)$$

CAPÍTULO 4 - O MODELO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o ambiente de decisão, definição das variáveis e parâmetros considerados na formulação do problema, e a modelagem através do método de Programação por Metas. São detalhadas as etapas de transformação dos objetivos em metas, priorização das metas e formação da função execução. Por fim, é apresentada a formulação geral do problema.

4.1 O Ambiente de Decisão

Antes da formulação do problema é necessário fazer algumas considerações sobre o ambiente de decisão de forma a familiarizar-se com certos aspectos, tais como demanda de transporte, Taxa de Desconto e cálculo das tarifas de transporte, segundo a terminologia da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2002).

4.1.1 Demanda de Transporte

Para determinação da demanda, considera-se a demanda estimada no momento do dimensionamento e planejamento das aquisições (infra-estruturas, equipamentos).

A estimativa da demanda para fins de cálculo da tarifa deve ser feita de forma bastante criteriosa. Devem ser considerados os indicadores demográficos e econômicos da região analisada, além das características de consumo atuais e projetadas dos principais clientes. Deve ser analisada a possibilidade de ganhos futuros de escala durante o dimensionamento, desde que a análise também seja feita de forma a evitar que os usuários do sistema arquem com os riscos do negócio ou com erros na estimativa.

Uma das etapas da formulação do modelo consiste no estabelecimento da variável volume de gás transportado. Este volume deve ser igual ou bastante próximo à demanda estimada, visando o atendimento ao cliente. Além disso, esta variável deve

ser inferior à capacidade do sistema e superior a valores de volume mínimo transportado, eventualmente estabelecido em contrato. Tais características são tratadas através de restrições e metas do modelo.

4.1.2 Taxa de Desconto

A viabilidade do projeto é avaliada no modelo proposto através do conceito de Valor Presente Líquido. Para Hirschfeld (1980, p.80), “O método do Valor Presente Líquido também chamado Método do Valor Atual Líquido, tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e dispêndios”.

Para qualificar o projeto como economicamente atrativo, a Taxa de Desconto utilizada deve ser igual ou superior a uma taxa mínima de juros pretendida pelo investidor, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

A TMA é formada a partir de três componentes básicos:

- Custo de Oportunidade: remuneração obtida em alternativas que não as analisadas. Exemplo: caderneta de poupança, fundo de investimento, etc;
- Risco do Negócio: o ganho tem que remunerar o risco inerente de uma nova ação. Quanto maior o risco, maior a remuneração esperada;

A TMA pode variar de acordo com a percepção do investidor ou ainda durante o tempo. Assim, cada empresa ou investidor tem uma política para a fixação desta taxa, seja de acordo com análise histórica da rentabilidade do setor, rentabilidade de projetos semelhantes, dentre outros.

4.1.3 Cálculo da Tarifa de Transporte

O preço do gás natural vendido às distribuidoras é composto, fundamentalmente, por duas parcelas, uma referida como *commodity* destinada a remunerar o produtor,

e outra denominada tarifa de transporte, destinada ao serviço de movimentação do gás entre as áreas de produção e consumo.

Na composição da tarifa de transporte do gás natural é computada a remuneração dos investimentos e os custos relacionados com a distribuição, a partir dos quais é calculada a margem de distribuição.

O cálculo da tarifa de transporte de GN passa por três etapas iniciais:

- Levantamento do investimento necessário para o desenvolvimento da atividade,
- Custos de operação e manutenção e impostos;
- Definição da remuneração adequada à atividade (Taxa de Desconto do investimento);
- Estimativa da demanda.

Obtidos esses três parâmetros, calcula-se a tarifa de transporte, que deve ser tal que, multiplicada pela demanda, recupere o investimento remunerado à Taxa de Desconto considerado justa, mais os custos de operação e manutenção e impostos.

Uma forma de se fazer esse cálculo é construindo um fluxo de caixa onde estejam como saídas de caixa o valor da base de ativos e os novos investimentos, as despesas com operação e manutenção e os valores pagos por impostos; e, como entrada de caixa a receita, que é o produto da tarifa (variável) pela demanda pelo serviço de transporte. O investimento total remunerado segundo a Taxa de Desconto estabelecida deve ter sido recuperado ao final da vida útil da infra-estrutura de transporte.

A ANP (2002) orienta que a tarifa seja calculada de modo que o valor presente líquido desse fluxo de caixa, aplicando-se a Taxa de Desconto do fluxo de caixa definida, seja nulo. Ou seja, o valor presente da receita total a ser gerada pela venda do serviço de transporte (entradas de caixa), deve ser igual ao valor presente das saídas de caixa.

A equação para o cálculo da tarifa pode ser escrita a partir da fórmula de cálculo do valor presente líquido:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i \times Tarifa}{(1+R)^i} \right) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Inv_i + C_i - VR_n}{(1+R)^i} \right) \quad (10)$$

onde:

V_i = demanda em volume no ano i ;

Inv_i = investimento realizado no ano i ;

C_i = custos de operação e manutenção e impostos referentes ao ano i ;

VR_n = Valor residual dos bens investidos ao final do ano n ;

R = Taxa de Desconto;

n = prazo de avaliação.

Todas as variáveis na equação acima devem ser conhecidas, menos a tarifa, que é uma variável procurada.

No modelo proposto, são definidas restrições para a tarifa de transporte do gás com relação aos limites máximo e mínimo:

- Limite máximo: o valor deve ser inferior à tarifa de combustíveis substitutos ($Tarifa_{CS}$), como o óleo combustível medido em unidade de equivalência energética, como por exemplo a unidade R\$/MM BTU.
- Limite mínimo: como as tarifas são estabelecidas por Agências Reguladoras, e reajustes são feitos em caso de novos investimentos visando remuneração do investidor, o valor da tarifa para o modelo pode ser igual ou superior à tarifa estabelecida pelas Agências Reguladoras ($Tarifa_{AR}$).

Sendo assim, o valor da tarifa, além de ser tal que permita valor presente líquido nulo do fluxo de caixa, deve estar entre os limites mínimo e máximo estabelecidos.

4.2 Formulação do Problema

Seguindo o processo de decomposição de objetivos representado na Figura 13: Hierarquia dos objetivos, no problema proposto podem ser identificados os seguintes objetivos:

- Como objetivo geral tem-se a avaliação e comparação de modalidades de transporte de gás natural através de indicadores técnicos, financeiros e sócio-políticos;
- Para uma primeira decomposição do objetivo geral, podem-se identificar alguns objetivos mais específicos a serem atingidos, tais como:
 - o Atender à demanda de gás natural, sendo o volume de transporte compatível com a capacidade do sistema e com eventual valor mínimo contratual;
 - o Assegurar valor presente líquido nulo no fluxo de caixa (fluxo de caixa);
 - o Não ultrapassar limites superior e inferior estabelecidos para a tarifa (tarifa);
 - o Assegurar níveis mínimos desejáveis quanto a aspectos de segurança, meio ambiente e saúde (SMS);
 - o Assegurar níveis mínimos desejáveis quanto a aspectos sócio-políticos (Sócio-Políticos).

Com esta primeira decomposição já é possível designar atributos e unidades de medida para alguns objetivos, como mostra o Quadro 5.

OBJETIVOS	ATRIBUTOS	UNIDADE
- Atender à demanda de gás natural, sendo o volume de transporte compatível com a capacidade do sistema e com eventual valor mínimo contratual	Volume	mil m ³
- Assegurar valor presente líquido nulo no fluxo de caixa	Fluxo de caixa	R\$
- Não ultrapassar limites superior e inferior estabelecidos para a tarifa	Tarifa	R\$/(mil m ³)

Quadro 5: Atributos e unidades encontradas na primeira decomposição

Os dois objetivos restantes são subjetivos (qualitativos) e, portanto, mais difíceis de serem medidos. Nestes casos, Rigolin (2007) sugere a decomposição em sub-objetivos.

Para o objetivo “assegurar níveis mínimos desejáveis quanto a aspectos de segurança, meio ambiente e saúde ocupacional”, podem ser identificados os seguintes sub-objetivos, dentre outros:

a) Relacionados com as manutenções necessárias:

- o Frequência de manutenção compatível com a necessidade, e que não gere grandes impactos no atendimento ao cliente;
- o Menor complexidade e especialização requerida da mão-de-obra.

b) Relacionados com possibilidade de acidentes:

- o Baixa probabilidade de ocorrência;
- o Baixa severidade das possíveis ocorrências.

c) Relacionados com a poluição gerada:

- o Baixa poluição atmosférica, que pode ser causada pelos veículos transportadores, no caso do transporte rodoviário, ou por vazamentos do metano transportado, no caso do transporte dutoviário;
- o Baixa poluição aquática, que é causada em geral por obras de grande escala;
- o Baixa poluição dos solos, não apenas causada pela presença de contaminantes, como também pela ocupação de áreas para construção de grandes obras.

d) Relacionados com a obtenção de licenças ambientais:

- o Baixo nível de obstáculos para a obtenção de licenças. Um fator que contribui para este objetivo é a existência de infra-estruturas que possivelmente seriam utilizadas para cada um dos modos.

Para o objetivo “assegurar níveis mínimos desejáveis quanto a aspectos sócio-políticos”, são analisados os efeitos causados pelo transporte de gás natural na qualidade de vida da sociedade em geral e também fatores políticos relacionados à escolha de uma outra modalidade de transporte. Podem ser identificados os seguintes sub-objetivos:

- o Possibilidade de geração de empregos em obras, empresas de transporte de gás ou empregos indiretos;
- o Desenvolvimento da infra-estrutura local;
- o Baixa oposição da população, por não se ver impactada por aumento do ruído, do tráfego ou de emissões de particulados;
- o Baixo risco de exposição cambial, que pode ocorrer quando os meios de transporte envolvem tecnologias ou equipamentos de procedência externa;
- o Apoio governamental, devido à importância para a geração de recursos para o governo, melhorias na infra-estrutura ou interesse em obtenção de tecnologia.

A decomposição poderia prosseguir até que fossem encontrados atributos e unidades diretamente relacionados com os sub-objetivos resultantes. Pode-se, no entanto, fazer uso do Método da Utilidade Associada, apresentada no item 3.5, através da qual as utilidades de cada atributo serão medidas em uma única escala numérica. Tem-se então como resultado os atributos e unidades apresentados no Quadro 6.

OBJETIVOS	ATRIBUTOS	UNIDADE
Aspectos de SMS		U^{α}
- “Frequência de manutenção...”;	Frequência de manutenções	u^{α}_z
- “...complexidade e especialização...”;	Complexidade das manutenções	u^{α}_z
- “Baixa probabilidade de ocorrência...”;	Probabilidade de acidentes;	u^{α}_z
- “Baixa severidade...”;	Severidade de acidentes;	u^{α}_z
- “Baixa poluição atmosférica...”;	Poluição atmosférica	u^{α}_z
- “Baixa poluição aquática...”;	Poluição aquática	u^{α}_z
- “Baixa poluição dos solos...”;	Poluição dos solos	u^{α}_z
- “...obstáculos para a obtenção de licenças...”;	Obtenção de licenças	u^{α}_z
Aspectos Sócio-Políticos		U^{β}
- “...geração de empregos...”;	Geração de empregos	u^{β}_z
- “Desenvolvimento da infra-estrutura...”;	Infra-estrutura	u^{β}_z
- “Baixa oposição da população...”;	Oposição popular	u^{β}_z
- “...exposição cambial”;	Exposição cambial	u^{β}_z
- “Apoio governamental...”;	Apoio governamental	u^{β}_z

Quadro 6: Atributos e unidades adotadas para aspectos de SMS e Sócio-políticos

Onde:

- U^α = utilidade total referente aos objetivos dos aspectos de SMS;
- U^β = utilidade total referente aos objetivos dos aspectos sócio-políticos;
- u^{α_z} = utilidades dos aspectos de SMS do atributo z;
- u^{β_z} = utilidades dos aspectos Sócio-Políticos do atributo z;

Chega-se assim ao final da especificação dos objetivos, cuja estrutura hierárquica pode ser representada na Figura 16, onde aparecem o objetivo geral, os sub-objetivos e suas respectivas unidades de medidas.

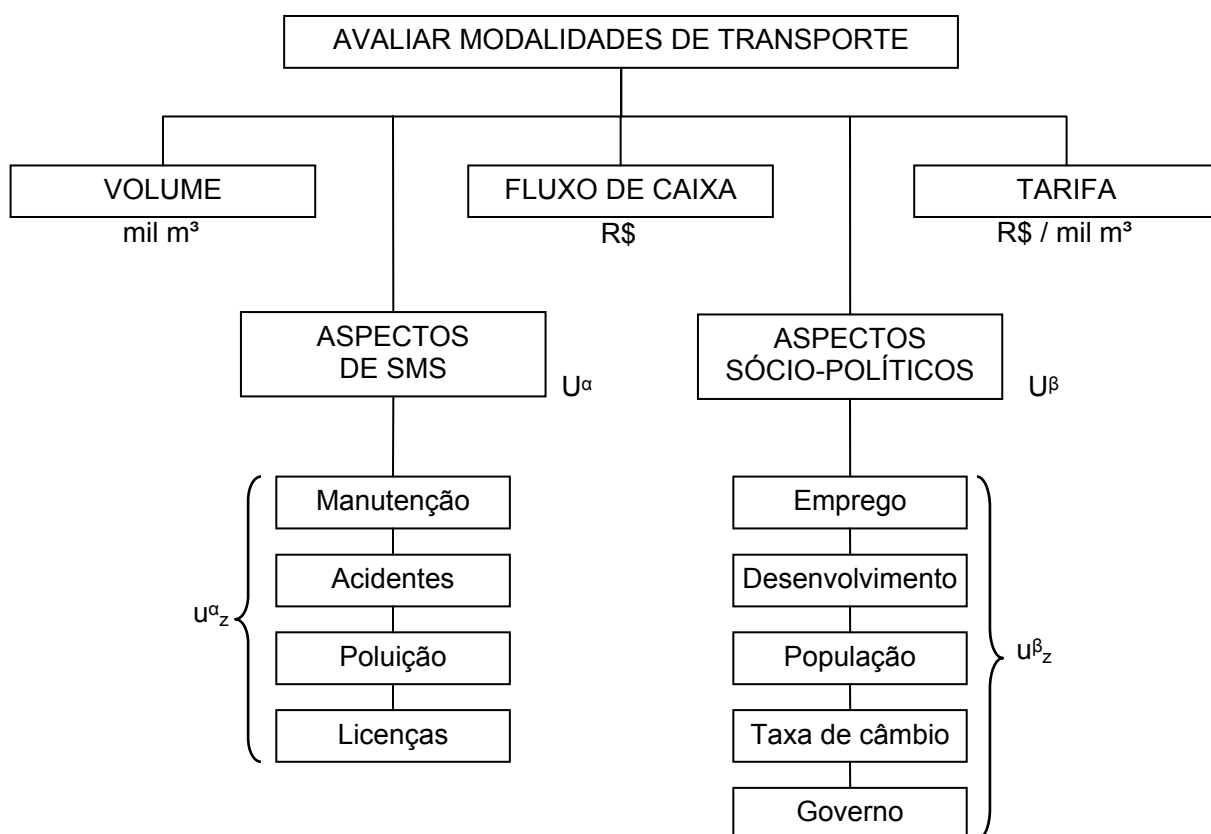


Figura 16 - Hierarquia dos objetivos e unidades de medidas

4.3 Modelagem do Problema

4.3.1 Definições Iniciais

Seja:

- V_i = volume transportado de gás natural, em mil m^3 , no ano i ;
- D_i = demanda de gás natural, em mil m^3 , no ano i ;
- Inv_i = investimentos realizados no ano i , em R\$;
- C_i = pagamentos realizados em R\$ no ano i , referentes a custos de operação, manutenção e impostos, como imposto de renda, contribuição social, PIS e COFINS;
- Tarifa = tarifa de transporte de gás natural, em R\$/mil m^3 ;
- VR_n = Valor residual dos bens investidos ao final do ano n ;
- R = Taxa de Desconto;
- n = prazo de avaliação.

De acordo com a Equação 10, apresentada no item 4.1.4, pode-se definir que o valor presente dos custos e investimentos deve ser igual à receita, definida pelo volume multiplicado pela tarifa.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i \times Tarifa}{(1+R)^i} \right) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Inv_i + C_i - VR_n}{(1+R)^i} \right) \quad (10)$$

4.3.2 Avaliação dos Aspectos de SMS e Sócio-Políticos

Como visto no item 4.2, os objetivos relacionados com aspectos de segurança, meio-ambiente e saúde ocupacional e aspectos sócio-políticos foram decompostos em sub-objetivos com seus correspondentes atributos de forma que o decisor (ou equipe de planejamento de transportes) pudesse avaliá-los através do Método da Utilidade Associada.

Os atributos podem ser diferenciados pelo decisor de acordo com a importância dada a cada um. Assim, define-se:

- p_z = peso do atributo z ;
- SMS = nível de adequação aos aspectos de SMS alcançados para a modalidade de transporte escolhida;
- SP = nível de adequação aos aspectos sócio-políticos alcançados para a modalidade de transporte escolhida.

As equações de utilidade total dos objetivos podem ser escritas como:

$$U^\alpha = \frac{\sum_{z=1}^{z=4} (u^\alpha_z \times p_z)}{\sum_{z=1}^4 p_z} \quad (11)$$

$$U^\beta = \frac{\sum_{z=1}^{z=5} (u^\beta_z \times p_z)}{\sum_{z=1}^5 p_z} \quad (12)$$

O nível de atendimento aos aspectos de SMS e sócio-políticos pode ser definido através da função utilidade total de cada objetivo, ponderado pelo volume transportado com relação à demanda dos clientes. Desta forma, temos:

$$SMS = \frac{U^\alpha \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (13)$$

$$SP = \frac{U^\beta \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (14)$$

4.3.3 Transformação dos Objetivos em Metas

Aplicando os conceitos introduzidos no item 3.3, são estabelecidas metas básicas para cada objetivo através das expressões matemáticas que os representam e dos níveis de aspirações de cada um. A seguir, essas metas básicas são formuladas em

termos de Programação por Metas, com a introdução das variáveis de desvio positivo (ρ) e negativo (η) das metas.

METAS DE VOLUME

O objetivo básico “atender à demanda de gás natural, sendo o volume de transporte de gás natural compatível com a capacidade do sistema e com eventual valor mínimo contratual” pode ser transformado nas seguintes metas básicas:

$$V_m \leq V_i \leq V_c \quad (15)$$

e também:

$$V_i = D_i \quad (16)$$

onde:

V_m = volume mínimo contratual de transporte;

V_c = volume máximo, limitado pela capacidade do sistema.

Utilizando as transformações contidas no Quadro 2, tem-se as seguintes metas em Programação por Metas:

$$V_i + \eta_i - \rho_i = D_i \quad (17)$$

$$e \quad V_i + \eta_i - \rho_i \leq V_c \quad (18)$$

$$e \quad V_i + \eta_i - \rho_i \geq V_m \quad (19)$$

Terão que ser minimizadas tanto as variáveis de desvios positivos quanto negativos ($\rho + \eta$) para cada ano (i) do período analisado, uma vez que o volume transportado deve ser o mais próximo possível à demanda.

METAS DE VALOR PRESENTE DA RECEITA E SAÍDAS DE CAIXA

O objetivo de “assegurar valor presente líquido nulo no fluxo de caixa” é atendido quando o valor presente da receita total gerada pela venda do serviço de transporte

se equivale ao valor presente das saídas de caixa. Pode-se, portanto, representar este objetivo conforme a equação 10:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i \times Tarifa}{(1+R)^i} \right) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Inv_i + C_i - VR_n}{(1+R)^i} \right) \quad (10)$$

Utilizando as transformações contidas no Quadro 2, tem-se as seguintes metas em Programação por Metas:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i \times Tarifa}{(1+R)^i} \right) + \eta_r - \rho_r = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Inv_i + C_i - VR_n}{(1+R)^i} \right) \quad (20)$$

Deverá ser minimizada a variável de desvio negativo da receita gerada (η_r).

A equação 20 caracteriza-se como um polinômio de grau n , o que induz à classificação do modelo como não linear. Entretanto, como a Taxa de Desconto não foi considerada uma variável do problema, mas um dado de entrada, o denominador da equação transforma-se em um coeficiente. Assim, este não representa um fator determinante para que o modelo seja não linear.

METAS DE TARIFA

O objetivo de “não ultrapassar limites superior e inferior estabelecidos para a tarifa” de acordo com o item 4.1.4, pode ser expresso por:

$$Tarifa_{AR} \leq Tarifa \leq Tarifa_{CS} \quad (21)$$

Em termos de Programação por Metas:

$$Tarifa + \eta_t - \rho_t \geq Tarifa_{AR} \quad (22)$$

$$e \quad Tarifa + \eta_t - \rho_t \leq Tarifa_{CS} \quad (23)$$

Deverá ser minimizada a variável de desvio positivo da tarifa (ρ_t).

METAS DE ASPECTOS DE SMS

Partindo da função utilidade total para aspectos de SMS, expressa na Equação 13, o objetivo de “assegurar níveis mínimos desejáveis quanto a aspectos de segurança, meio ambiente e saúde” pode ser transformado na seguinte meta:

$$SMS = \frac{U^a \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \geq N_{SMS} \quad (24)$$

onde N_{SMS} é o nível de aspiração do objetivo.

Em termos de Programação por Metas:

$$\frac{U^a \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} + \eta_{SMS} - \rho_{SMS} \geq N_{SMS} \quad (25)$$

Deverá ser minimizada a variável de desvio negativo da meta (η_{SMS}).

METAS DE ASPECTOS SÓCIO-POLÍTICOS

Partindo também da função utilidade total para aspectos sócio-políticos, expressa na Equação 14, o objetivo de “assegurar níveis mínimos desejáveis quanto a aspectos sócio-políticos” pode ser transformado na seguinte meta:

$$SP = \frac{U^\beta \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \geq N_{SP} \quad (26)$$

onde N_{SP} é o nível de aspiração do objetivo.

Em termos de Programação por Metas:

$$\frac{U^\beta \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} + \eta_{SP} - \rho_{SP} \geq N_{SP} \quad (27)$$

Assim como na meta anterior, deverá ser minimizada a variável de desvio negativo (η_{SP}).

4.3.4 Priorização das Metas

METAS ABSOLUTAS

As restrições existentes em um modelo de Programação por Metas podem ser tratadas como metas absolutas, ou seja, devem ser totalmente cumpridas para que a solução seja implementável.

No problema proposto, o objetivo “atender à demanda de gás natural, sendo o volume de transporte de gás natural compatível com a capacidade do sistema e com eventual valor mínimo contratual” é uma restrição que deve ser totalmente atendida. As variáveis de desvio ($\rho + \eta$) de suas metas correspondentes devem ser minimizadas a zero. Ou seja, para que o volume transportado, além de estar enquadrado aos limites superior e inferior, permita o atendimento à demanda de gás natural, a soma dos desvios positivo e negativo deve ser igual a zero.

Assim, na primeira prioridade estão as metas de volume.

META DE VALOR PRESENTE DA RECEITA E SAÍDAS DE CAIXA

Dada a importância do conceito de fluxo de caixa para a análise de investimentos, em que as receitas e despesas se anulam a uma taxa pré-estabelecida, no modelo proposto a esta meta é dada alta prioridade. Utilizando o conceito de minimização lexicográfica (item 3.3), deve-se fixar para a meta de valor presente líquido o segundo nível de prioridade, o que faz com que ela seja considerada antes das demais (custo, segurança e adequabilidade). Já ao utilizar o conceito de minimização ponderada, deve-se estipular o segundo peso mais alto na priorização das metas. Para o presente trabalho, é utilizada a formulação de Programação por Metas ponderada.

META DE TARIFA

Considerando que as metas de primeiro e segundo nível de priorização foram atendidas, esta meta se torna decisiva para a escolha entre duas alternativas de transporte de gás natural. Para que a modalidade de transporte seja escolhida, um forte requisito é de que ele permita uma tarifa atrativa ao usuário, e por isso esta meta está em terceira prioridade. E como a tarifa é uma variável no cálculo do valor presente líquido, o modelo não deverá permitir que a tarifa calculada seja excessivamente alta a ponto de possibilitar atendimento à segunda meta (valor presente), em detrimento da terceira (tarifa). Este é um ponto importante a ser observado durante o estabelecimento dos pesos para cada meta. Como resultado, poderão ser comparadas as tarifas calculadas para cada modo de transporte, sendo o menor valor o mais atrativo aos consumidores. O atendimento desta meta de tarifa está diretamente ligado à possível variação da demanda, uma vez que tarifas muito altas poderiam fazer com que o mercado optasse por combustíveis substitutos. Por outro lado, uma tarifa competitiva poderia gerar aumento gradual de demanda.

METAS DE ASPECTOS DE SMS E SÓCIO-POLÍTICOS

As metas que se referem a aspectos de SMS e sócio-políticos poderão ser colocadas no quarto e quinto nível de prioridade na ponderação das metas, respectivamente. São importantes para o modelo para a possibilidade de comparação de alternativas, mas não requerem alto nível de priorização quando comparadas às demais metas.

4.3.5 Formação da Função Execução

Considerando que cada meta possui uma unidade de medida diferente, a soma dos desvios poderia gerar um valor de difícil interpretação ou comparação em diferentes cenários. Nestes casos, Ragsdale (2004) sugere que a função execução considere a soma dos desvios percentuais para cada meta. Sendo assim, levando em consideração as variáveis de desvios a serem minimizadas (item 4.3.3) e os níveis de prioridades estabelecidos (item 4.3.4), tem-se a seguinte função execução:

$$\text{Minimizar } a = \left[P_1 \times \left(\sum_{i=1}^n \eta_i - \rho_i \right) + P_2 \times (\eta_r) + P_3 \times (\rho_t) + P_4 \times (\eta_{SMS}) + P_5 \times (\eta_{SP}) \right] \quad (28)$$

onde P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 representam os pesos atribuídos a cada uma das metas, divididos pelo respectivo nível de aspiração, caracterizando a minimização dos desvios percentuais.

4.3.6 Formulação Geral

O problema de distribuição de gás natural tem a seguinte formulação geral:

Encontrar $x = (V_1, V_2, \dots, V_n, Tarifa)$, tal que MINIMIZE a função execução

$$a = \left[P_1 \times \left(\sum_{i=1}^n \eta_i - \rho_i \right) + P_2 \times (\eta_r) + P_3 \times (\rho_t) + P_4 \times (\eta_{SMS}) + P_5 \times (\eta_{SP}) \right] \quad (28)$$

e tal que:

$$V_i + \eta_i - \rho_i = D_i \quad \text{para todo } i \quad (17)$$

$$V_i + \eta_i - \rho_i \leq V_c \quad \text{para todo } i \quad (18)$$

$$V_i + \eta_i - \rho_i \geq V_m \quad \text{para todo } i \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i \times Tarifa}{(1+R)^i} \right) + \eta_r - \rho_r = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Inv_i + C_i - VR_n}{(1+R)^i} \right) \quad (20)$$

$$Tarifa + \eta_t - \rho_t \geq Tarifa_{AR} \quad (22)$$

$$Tarifa + \eta_t - \rho_t \leq Tarifa_{CS} \quad (23)$$

$$\frac{U^\alpha \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} + \eta_{SMS} - \rho_{SMS} \geq N_{SMS} \quad (25)$$

$$\frac{U^\beta \times \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n D_i} + \eta_{SP} - \rho_{SP} \geq N_{SP} \quad (27)$$

Todas as variáveis devem ser não negativas.

CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO: DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL EM LINHARES

Neste capítulo é apresentada uma aplicação prática da proposta de resolução do problema de distribuição de gás natural com a utilização da Programação por Metas, cuja modelagem foi apresentada no capítulo anterior. A aplicação do modelo é feita para a região de Linhares, no Espírito Santo.

5.1 Considerações Iniciais

Linhares é um município cuja economia encontra-se em expansão, e que apresenta melhora dos seus indicadores econômicos, principalmente devido à recente atração de novos empreendimentos industriais. Entretanto, até o momento, o mercado consumidor em Linhares mostrou-se limitado, de modo que somente as vendas projetadas para o consumo existente no município não são suficientes para remunerar os investimentos necessários ao seu atendimento através de gasodutos.

Em Linhares, o fornecimento de gás natural visa o atendimento das demandas do mercado industrial em unidades que consomem combustíveis como GLP, óleo combustível e diesel, bem como do mercado automotivo substituindo gasolina e álcool no uso veicular. Em um segundo momento, o gás natural poderia substituir combustíveis como o GLP de utilidades comerciais e residenciais, bem como ganhar competitividade para disputar o mercado da lenha como combustível industrial, ainda utilizada como fonte energética na região.

5.1.1 Características do Município

O município de Linhares possui a maior extensão territorial do estado do Espírito Santo, e uma população de aproximadamente 132.664 habitantes, sendo o segundo município mais populoso do interior do estado (IBGE, 2009). Destaca-se por sua

indústria moveleira, pela produção de álcool, cacau, confecções e também pela produção de petróleo e gás natural.

Historicamente, se destacavam em Linhares os setores primário e terciário na geração de riquezas. Entretanto, a economia do município tem registrado um elevado crescimento da participação da indústria no PIB. Observa-se pela Tabela 6 que o PIB per capita do município cresceu a uma taxa média de 14,47% a.a. acima da inflação entre 2003 e 2007, além de representar um crescimento acima da média Estadual e Nacional. Tal crescimento deve-se principalmente à instalação de diversos empreendimentos industriais no município.

Tabela 6: Comparação do Produto Interno Bruto de Linhares, Espírito Santo e Brasil

Descrição		2003	2004	2005	2006	2007	Crescimento anual descontada a inflação
Linhares	PIB per capita (R\$/hab.)	7.953	10.612	11.543	13.904	16.142	14,47%
	Crescimento (%)		33,4%	8,8%	20,5%	16,1%	
ES	PIB per capita (R\$/hab.)	9.425	11.998	13.855	15.235	18.003	12,50%
	Crescimento (%)		27,3%	15,5%	10,0%	18,2%	
Brasil	PIB per capita (R\$/hab.)	9.498	10.692	11.658	12.687	14.465	6,20%
	Crescimento (%)		12,6%	9,0%	8,8%	14,0%	
Inflação no período - IPCA		-	7,6%	5,7%	3,1%	4,5%	-

Fonte: IBGE (2010), BACEN (2010)

O município possui um mercado industrial diversificado, onde se destacam as empresas dos setores metal-mecânico e moveleiro, e apresenta um potencial de atratividade de novas indústrias respaldado pelas facilidades logísticas da sua localização, à margem da BR-101 e proximidade com o Porto de Barra do Riacho, no município de Aracruz.

5.1.2 Consumo de Combustíveis

Um combustível considerado potencialmente substituto ao gás natural no município de Linhares é a lenha, por ser abundante na região. É observado que algumas indústrias obtêm a lenha de plantações próprias para o abastecimento de suas

caldeiras e fornalhas. Entretanto, o custo da sua utilização tem aumentado progressivamente nos últimos anos, tendo em vista que a lenha é também utilizada como matéria-prima pelas indústrias de celulose e de fabricação de móveis da região. Este fator apresenta-se como inibidor da demanda de lenha a médio prazo, tendo como consequência a busca por outras fontes energéticas (AZEREDO, 2008).

Podem também ser citados como concorrentes à utilização do gás natural os combustíveis fósseis derivados do petróleo, como o GLP, diesel e em especial o óleo combustível. Estes combustíveis apresentam, em geral, custos por unidade energética (R\$/kcal) mais elevados que o gás natural, e demandam uma logística de distribuição, condicionamento e armazenamento especial. Entretanto, com o aumento da tarifa do gás natural, o óleo combustível passa a ser uma fonte energética competitiva, embora mais poluente.

Além da lenha e combustíveis fósseis, é importante destacar a utilização da energia elétrica como insumo produtivo das empresas do pólo moveleiro, principal expoente industrial do município. Estas empresas apresentam menor potencial de consumo de gás natural no seu processo produtivo, uma vez que grande parte de seus equipamentos utilizam energia elétrica.

5.2 Dados de Entrada

Inicialmente, cabe ressaltar que as estimativas apresentadas neste trabalho foram feitas para fins acadêmicos e, portanto, os valores reais podem sofrer variações.

5.2.1 Fluxo de Caixa

O prazo de avaliação considerado para o fluxo de caixa no modelo é de 20 anos, conforme o documento vigente da ANP (2002), que descreve a metodologia de cálculo das tarifas de transporte de gás natural. Os dados de entrada para a análise do fluxo de caixa do modelo, conforme o item 4.3.1, são descritos abaixo:

- Demanda inicial: é a demanda de gás natural no chamado ano zero, ou seja, ano que antecede o início da operação de transporte, medido em mil m³/dia. Atualmente, a demanda na região é de aproximadamente 35 mil m³/dia;
- Crescimento da demanda: devido às oscilações no mercado e conseqüente dificuldade na estimativa anual deste indicador, é considerado no modelo um crescimento linear da demanda de gás natural na região, de 3% ao ano para a alternativa de transporte de GNC e 4,5% ao ano para o gasoduto;
- Investimento inicial: o investimento necessário para construção do gasoduto foi estimado com base em projetos de mesmo porte, em R\$ 48 milhões. Já o investimento no transporte de GNC corresponde principalmente à aquisição de caminhões e compressores, que para a demanda atual foi estimado em R\$ 5 milhões. Além do investimento inicial, devido ao crescimento da demanda, foi considerada a necessidade de aquisição de caminhões e compressores adicionais nos anos 4, 10 e 15;
- Custo operacional: para o custo de operação e manutenção do gasoduto, de acordo com Sauer (2005) é razoável admitir que a relação custos operacionais versus investimentos de gasodutos brasileiros estejam próximos à relação de 1,5%. Com relação ao GNC, devido às características do transporte rodoviário (abastecimento e manutenção dos veículos, por exemplo) considera-se a relação de 10% do investimento;
- Valor residual: de acordo com Reis (2006) e Barja (2006), o valor residual é considerado 10% do valor do investimento.
- Taxa de Desconto: é utilizado o valor de 15%, conforme metodologia de cálculo das tarifas de transporte de gás natura ANP (2002).

5.2.2 Dados do Transporte

Os dados do transporte se diferenciam de acordo com o modo de transporte utilizado.

- Distância de transporte: para o gasoduto, foi considerado um traçado cujo ponto de partida é o *city gate* do gasoduto Cacimbas-Vitória, onde este cruza a ES-040 (Figura 17). A rede de distribuição é locada à margem desta rodovia

até chegar à BR 101, de onde se estende ao sul e ao norte, para atender aos principais clientes. A extensão total é de 69 quilômetros. Com relação ao transporte do GNC, como a base de compressão e distribuição está localizada em Viana, para o trajeto até Linhares são considerados 150 km.



Figura 17 – Localização do gasoduto em estudo

- Capacidade de transporte: com relação ao gasoduto de 69 km, pode-se estimar a capacidade de transporte de 270 mil m^3/dia (BAIOCO, 2007) ou 98 milhões de m^3/ano . Já para o GNC, considerando a demanda de 35 mil m^3/dia com crescimento de 4,5% ao ano, capacidade de cada caminhão de 6.235 m^3 (WHITE MARTINS, 2009) com média de 1,2 viagens por dia, a capacidade de transporte é de 22,5 milhões de m^3/ano .
- Volume mínimo de transporte: para o gasoduto, não é considerada restrição para o volume mínimo de transporte. Já para o GNC, restrições contratuais limitam o volume transportado devido aos custos fixos inerentes à operação. Desta forma, considera-se 15 mil m^3/dia ou 5,5 milhões de m^3/ano .

5.2.3 Composição Tarifária

A tarifa de distribuição do gás natural é composta por:

- a) Preço do gás natural pago à Petrobras, também chamado gás *commodity*;
- b) Preço do transporte do gás natural até o ponto de entrega aos distribuidores, o *city gate*;
- c) Impostos, definidos pelas agências reguladoras de serviço público de energia de cada estado, como a ASPE no Espírito Santo;
- d) Margem de distribuição, que é a parcela que remunera os gastos com a distribuição até o consumidor final.

Como o valor referente à margem de distribuição é a parcela da tarifa responsável por remunerar os gastos com a distribuição do gás natural até o cliente, este é o valor utilizado no cálculo do valor presente da receita.

Para obter o valor da tarifa total do gás natural, visando comparação com os limites inferior e superior, é feito, portanto, o seguinte cálculo:

$$(a) + (b) + (d) + (c) \times \frac{[(a) + (b) + (d)]}{1 - (c)} \quad (28)$$

sendo (a), (b), (c) e (d) as parcelas da tarifa detalhadas acima em 5.2.3.

Desta forma, são definidos os seguintes dados de entrada do modelo:

- Tarifa do gás natural: o valor da tarifa é definido pelas agências reguladoras, sendo calculado por um valor fixo e um valor variável. Como a parcela variável é diferente para cada cliente, foi feito um cálculo da tarifa média a ser utilizada no modelo, baseada na demanda total de 35 mil m³/dia, de R\$ 1,03/m³;
- Tarifa do óleo combustível: como o óleo combustível foi utilizado como parâmetro de potencial combustível substituto, este é um dado de entrada que limita o valor máximo da tarifa calculada. Para o modelo é utilizado o valor de R\$ 1,10/kg. Como a diferença entre o poder calorífico do óleo combustível (10.100 kcal/kg) e a do gás natural (9.400 kcal/m³) é

relativamente pequena, foi feita uma comparação direta entre as tarifas unitárias (ABEGAS, 2009);

- Valor do gás *commodity* e valor referente ao transporte até o *city gate*: é utilizado o valor de referência de R\$ 0,6397/m³;
- Percentual de impostos na tarifa: de acordo com a ASPE (2010), os tributos inclusos na tarifa são referentes a ICMS, PIS e COFINS, nas alíquotas de 17%, 1,65% e 7,60%, respectivamente.

5.2.4 Aspectos Sócio-Políticos e de Segurança, Meio Ambiente e Saúde

Conforme exposto no item 4.3.2, o nível de atendimento aos aspectos de SMS e sócio-políticos é definido em função da utilidade total de cada objetivo. Para isso, é necessário estabelecer o peso e o valor de cada atributo, utilizando as escalas adequadas (Figura 18 e Figura 19).

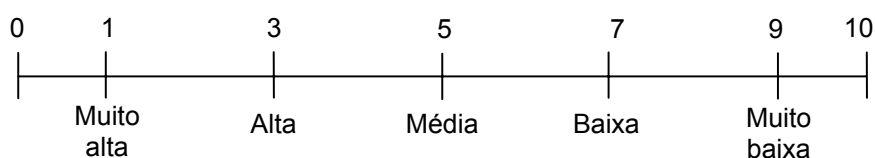


Figura 18 – Escala 1: utilizada para análise de aspectos desfavoráveis

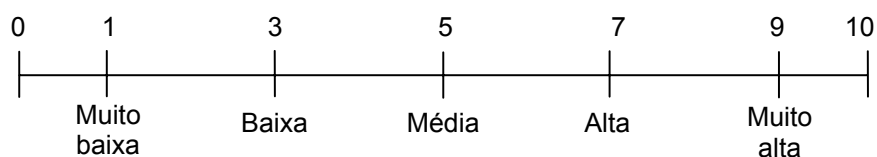


Figura 19 – Escala 2: utilizada para análise de aspectos favoráveis

A determinação dos pesos e atributos para os aspectos sócio-políticos e de segurança, meio ambiente e saúde foi feita a partir de entrevistas com profissionais da área, que ressaltaram as diferentes características de cada modo de transporte. Além disso, foram consideradas as observações feitas por Rigolin (2007) em sua análise comparativa do transporte de gás natural através de gasodutos, GNL e GNC.

Desta forma, são definidos os seguintes dados de entrada do modelo:

PESOS

Os pesos foram determinados de acordo com a importância do atributo para a análise comparativa das alternativas de transporte. Com relação aos aspectos de SMS, os maiores pesos foram atribuídos aos itens acidentes e poluição (Tabela 7), enquanto para os aspectos sócio-políticos, os maiores pesos foram atribuídos aos itens infra-estrutura local e risco de exposição cambial (Tabela 8).

Tabela 7: Determinação de pesos para aspectos de SMS

Aspectos de SMS	Peso
Probabilidade de ocorrência e severidade de acidentes	0,40
Poluição atmosférica, aquática e dos solos	0,30
Frequência e complexidade das manutenções	0,20
Obstáculos para obtenção de licenças	0,10

Tabela 8: Determinação de pesos para aspectos Sócio-Políticos

Aspectos Sócio-Políticos	Peso
Desenvolvimento da infra-estrutura local	0,25
Risco de exposição cambial	0,25
Apoio governamental	0,20
Possibilidade de geração de empregos	0,15
Oposição da população	0,15

A próxima etapa é avaliar cada um dos atributos de acordo com o modo de transporte.

A avaliação dos atributos possibilita ao modelo a comparação entre o valor determinado para cada alternativa e o valor de referência, ou seja, o valor de aspiração para os objetivos. As escalas foram estabelecidas de forma que, quanto maior o valor atribuído, mais adequado é o atributo para a alternativa de transporte analisada. Foi considerado o valor 7 como o valor aspirado para ambos os aspectos.

ATRIBUTOS

Os atributos considerados desfavoráveis à escolha da alternativa de transporte foram analisados através da escala 1. A avaliação com valor mais baixo para o transporte de GNC foi referente à frequência das manutenções dos caminhões e equipamentos, que quando comparada à de gasodutos, é representativamente maior. Por outro lado, com relação ao risco de exposição cambial, a alternativa de transporte por gasodutos obteve avaliação mais baixa devido ao alto investimento inicial e à necessidade de aquisição de equipamentos importados, tais como compressores, dutos e válvulas (Tabela 9).

Tabela 9: Determinação do valor dos atributos em aspectos desfavoráveis

Aspectos desfavoráveis	GNC	Gasodutos
Obstáculos para obtenção de licenças	7	9
Oposição da população: valor atribuído	7	5
Risco de exposição cambial: valor atribuído	5	1
Probabilidade de ocorrência e severidade de acidentes	5	7
Poluição atmosférica, aquática e dos solos	5	7
Frequência e complexidade das manutenções	3	5

Os atributos considerados favoráveis à escolha da alternativa de transporte foram analisados através da escala 2. A avaliação com valor mais alto foi referente à possibilidade de geração de empregos na alternativa de transporte de gás natural através de gasodutos, devido aos empregos gerados para as obras de instalação (Tabela 10).

Tabela 10: Determinação do valor dos atributos em aspectos favoráveis

Aspectos favoráveis	GNC	Gasodutos
Possibilidade de geração de empregos	7	9
Desenvolvimento da infra-estrutura local	5	5
Apoio governamental	7	5

5.2.5 Pesos das Metas

Conforme exposto no item 4.3.4, para cada meta do modelo proposto de Programação por Metas ponderado é estabelecido um peso, de acordo com a

importância avaliada pelo decisor. Considerando que os valores atribuídos são diretamente proporcionais à prioridade, são estabelecidos os seguintes pesos:

Tabela 11: Determinação dos pesos das metas

Meta	Peso
Desvio na meta de volume transportado	5
Desvio na meta de fluxo de caixa	4
Desvio na meta de valor da tarifa	3
Desvio na meta de aspectos de SMS	2
Desvio na meta de aspectos Sócio-Políticos	1

É importante destacar que alterações na ponderação entre as metas podem ser feitas, gerando diferentes cenários.

5.2.6 Definição dos cenários

Diferentes cenários podem ser gerados com a alteração dos dados de entrada do modelo. A definição dos cenários a serem gerados se baseia nos seguintes questionamentos:

1. Qual o resultado da função execução e desvios apresentados pelo modelo para o transporte rodoviário de gás natural, considerando a demanda atual?
2. Qual o resultado da função execução e desvios apresentados pelo modelo para o transporte dutoviário de gás natural, considerando a demanda atual?
3. Quais são as alterações no resultado do modelo para o transporte dutoviário de gás natural ao se considerar maior peso para a meta de atendimento ao valor da tarifa?
4. Qual o nível de demanda que viabilizaria a substituição do transporte do produto através da modalidade rodoviária para a dutoviária?

Desta forma, serão gerados quatro cenários com o objetivo de responder aos questionamentos acima.

5.3 Parâmetros do Solver

O primeiro passo na definição dos parâmetros do Solver é escolher a célula de destino do modelo de Programação por Metas. Foi escolhida a célula cuja fórmula contém as equações da função execução, com as somas dos desvios de cada meta devidamente ponderados. É feita a seleção para minimização desta célula.

O próximo passo é a seleção das variáveis do modelo, que são: os volumes de transporte em cada ano da análise, o valor da margem de distribuição e também os valores de desvios positivos e negativos no volume anual, retorno financeiro do fluxo de caixa, tarifa, aspectos de SMS e sócio-políticos.

Por fim, as restrições do problema foram estabelecidas de acordo com as equações 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25 e 27, além da imposição de não negatividade das variáveis. A Figura 20 ilustra a janela de edição dos parâmetros do Solver, onde as células são referenciadas de acordo com a posição na planilha onde estão contidos os valores do problema.

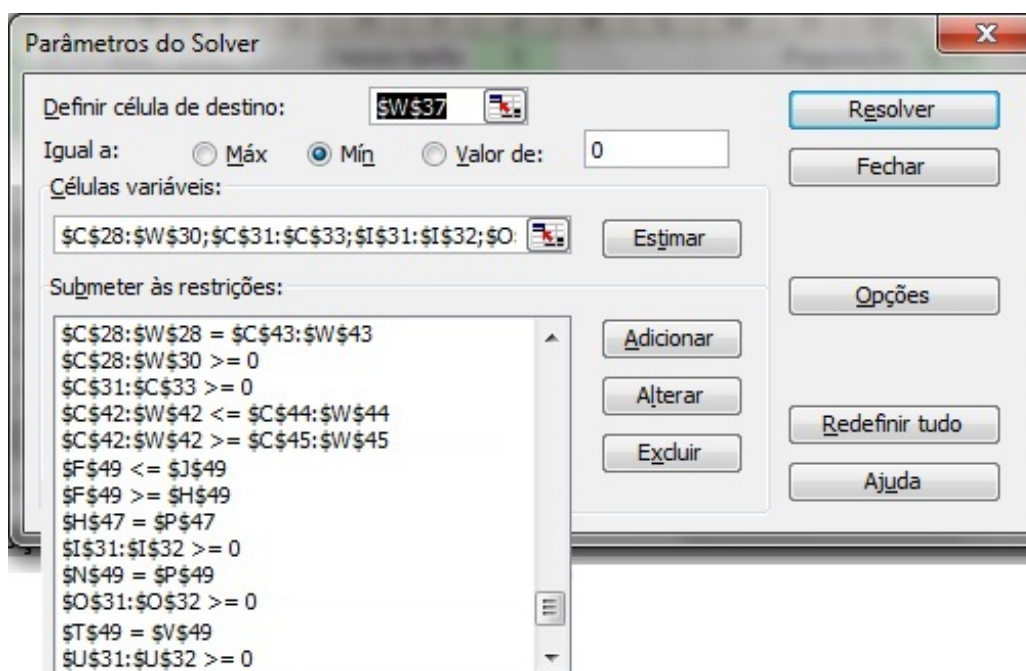


Figura 20 – Janela de edição dos parâmetros do Solver

Figura 21 – Primeiro cenário gerado pelo modelo

O resultado da função execução e desvios apresentados pelo modelo são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Resumo dos resultados gerados pelo primeiro cenário

Descrição	Valor
Resultado da função execução	0,8
Desvio na meta de volume transportado	0,0
Desvio na meta de fluxo de caixa	0,0
Desvio na meta de valor da tarifa	0,00
Desvio na meta de aspectos de SMS	2,2
Desvio na meta de aspectos Sócio-Políticos	1,3

Dentre os valores de desvios que o modelo buscou minimizar, apenas os referentes a aspectos de SMS e Sócio-políticos não resultaram em zero. Isto se deve ao fato da avaliação do cenário para o GNC ter gerado valores para a função utilidade total diferentes do valor previsto inicialmente, de 7.

Como o desvio negativo na meta de retorno financeiro do fluxo de caixa e o desvio positivo na meta de valor da tarifa foram nulos, percebe-se que os resultados do modelo condizem com o esperado, uma vez que esta operação já vem sendo utilizada para o transporte de GNC na região de Linhares.

SEGUNDO CENÁRIO

O resultado da função execução e desvios apresentados pelo modelo são apresentados na Tabela 13, e a planilha contendo o modelo gerado para o transporte dutoviário de gás natural, considerando a demanda atual, é apresentada na Figura 22.

Tabela 13: Resumo dos resultados gerados pelo segundo cenário

Descrição	Valor
Resultado da função execução	1,7
Desvio na meta de volume transportado	0,0
Desvio na meta de fluxo de caixa	0,0
Desvio na meta de valor da tarifa	0,45
Desvio na meta de aspectos de SMS	0,2
Desvio na meta de aspectos Sócio-Políticos	2,4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Aline de Pinho Uliana

UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO POR METAS COMO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

DADOS DE ENTRADA

Fluxo de Caixa

Demanda inicial: 35 mil m3/dia

Crescim. demanda: 4,5 % aa

Investimento Inicial: 48,0 MM R\$

Custo operacional: 1,5 % investim.

Valor residual: 10,0 % investim.

Taxa desconto: 15,0 %

Composição tarifária

Tarifa do gás natural: 1,03 R\$/m3

Tarifa óleo combust.: 1,10 R\$/kg

Commodity + distrib.: 0,64 R\$/m³

% de impostos - tarifa: 26,3 %

Aspectos de SMS e Sócio Políticos

	Peso	Escala	Ui	Descrição
Manutenção:	0,20	1	5,0	Frequência / complexidade
Acidentes:	0,40	1	7,0	Probab. ocorrência/severidade
Poluição:	0,30	1	7,0	Atmosférica, aquática, solos
Licenças:	0,10	1	9,0	Obstáculos para obtenção
Total SMS:	1,00		Ui_{tot} = 6,8	
Emprego:	0,15	2	9,0	Possib. geração de empregos
Desenvolvimento:	0,25	2	5,0	Desenv. infra-estrutura local
População:	0,15	1	5,0	Oposição da população
Taxa de câmbio:	0,25	1	1,0	Risco de exposição cambial
Governo:	0,20	2	5,0	Apoio governamental
Total S.Políticos:	0,00		Ui_{tot} = 4,6	

Características do transporte

Capacid. transporte: 98,0 10⁶m³/ano

Volume mín. transp.: 0,0 10⁶m³/ano

Distância transp: 69,0 km

Pesos das metas

Desvio volume: 5

Desvio retorno: 4

Desvio tarifa: 3

Desvio SMS: 2

Desvio S.Político: 1

VARIÁVEIS

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Volume transp. (10 ⁶ m³):	0,0	12,8	13,3	14,0	14,6	15,2	15,9	16,6	17,4	18,2	19,0	19,8	20,7	21,7	22,6	23,7	24,7	25,8	27,0	28,2	29,5
Desvio + Volume (10 ⁶ m³):	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio - Volume (10 ⁶ m³):	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio + retorno (MM R\$):	0,00																				
Desvio - retorno (MM R\$):	0,00																				
Margem de distrib.: 0,50 R\$/m³																					

Desvio + tarifa = 0,45 R\$/m³

Desvio - tarifa = 0,00 R\$/m³

Desvio + SMS = 0,00

Desvio - SMS = 0,20

Desvio + Sócio Político = 0,00

Desvio - Sócio Político = 2,40

FORMULAÇÃO: FUNÇÃO EXECUÇÃO

Minimizar:

$$\alpha = \left[P_1 \times \left(\sum_{i=1}^n \eta_i - \rho_i \right) + P_2 \times (\eta_r) + P_3 \times (\rho_r) + P_4 \times (\eta_{SMS}) + P_5 \times (\eta_{SP}) \right] = \left(P_1 \times 0,0 + P_2 \times 0,0 + P_3 \times 0,45 + P_4 \times 0,2 + P_5 \times 2,4 \right) = 1,7$$

E tal que:

Volume:

$V_i + \eta_i - \rho_i =$	0	13	13	14	15	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$= D_i =$	0	13	13	14	15	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$e \leq V_c =$	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
$e \geq V_m =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fluxo de Caixa:

Valor presente receita + $\eta_r - \rho_r =$ 52,21 >= valor presente saídas de caixa = 52,21

Tarifa:

Tarifa + $\eta_t - \rho_t =$ 1,10 >= 1,03 e <= 1,10

SMS:

7,0 = 7,0

Sócio Políticos:

7,0 = 7,0

Figura 22 – Segundo cenário gerado pelo modelo

É verificado no segundo cenário um aumento no resultado da função execução. O principal motivo do aumento é o desvio na meta de tarifa do gás natural. Este resultado indica que a margem de distribuição necessária para remunerar os investimentos com o gasoduto resulta numa tarifa superior à atualmente aplicada, mais especificamente R\$ 0,45/m³ maior. Os desvios nos aspectos de SMS e sócio-políticos não são nulos devido aos mesmos motivos apontados anteriormente.

Este resultado também está de acordo com o esperado, uma vez que analistas do setor entendem que para a demanda atual, a rede de distribuição de Linhares não apresenta rentabilidade suficiente para remunerar os investimentos.

TERCEIRO CENÁRIO

Para o terceiro cenário foi feita uma alteração no peso da meta de tarifa, passando de terceiro maior valor para o primeiro maior valor. A planilha contendo o modelo gerado para o transporte dutoviário de gás natural, com priorização da meta de atendimento à tarifa do gás natural, é apresentada na Figura 23.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Aline de Pinho Uliana

UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO POR METAS COMO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

DADOS DE ENTRADA

Fluxo de Caixa

Demanda inicial: 35 mil m3/dia

Crescim. demanda: 4,5 % aa

Investimento Inicial: 48,0 MM R\$

Custo operacional: 1,5 % investim.

Valor residual: 10,0 % investim.

Taxa desconto: 15,0 %

Composição tarifária

Tarifa do gás natural: 1,03 R\$/m3

Tarifa óleo combust.: 1,10 R\$/kg

Commodity + distrib.: 0,64 R\$/m³

% de impostos - tarifa: 26,3 %

Aspectos de SMS e Sócio Políticos

	Peso	Escala	Ui	Descrição
Manutenção:	0,20	1	5,0	Frequência / complexidade
Acidentes:	0,40	1	7,0	Probab. ocorrência/severidade
Poluição:	0,30	1	7,0	Atmosférica, aquática, solos
Licenças:	0,10	1	9,0	Obstáculos para obtenção
Total SMS:	1,00		Ui_{tot} = 6,8	
Emprego:	0,15	2	9,0	Possib. geração de empregos
Desenvolvimento:	0,25	2	5,0	Desenv. infra-estrutura local
População:	0,15	1	5,0	Oposição da população
Taxa de câmbio:	0,25	1	1,0	Risco de exposição cambial
Governo:	0,20	2	5,0	Apoio governamental
Total S.Políticos:	0,00		Ui_{tot} = 4,6	

Características do transporte

Capacid. transporte: 98,0 10⁶m³/ano

Volume mín. transp.: 0,0 10⁶m³/ano

Distância transp.: 69,0 km

Pesos das metas

Desvio volume: 4

Desvio retorno: 3

Desvio tarifa: 5

Desvio SMS: 2

Desvio S.Político: 1

VARIÁVEIS

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Volume transp. (10 ⁶ m³):	0,0	12,8	13,3	14,0	14,6	15,2	15,9	16,6	17,4	18,2	19,0	19,8	20,7	21,7	22,6	23,7	24,7	25,8	27,0	28,2	29,5
Desvio + Volume (10 ⁶ m³):	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio - Volume (10 ⁶ m³):	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio + retorno (MM R\$):	0,00																				
Desvio - retorno (MM R\$):	34,42																				
Margem de distrib.:	0,17																				

Desvio + tarifa = 0,00 R\$/m²

Desvio - tarifa = 0,00 R\$/m²

Desvio + SMS = 0,00

Desvio - SMS = 0,20

Desvio + Sócio Político = 0,00

Desvio - Sócio Político = 2,40

FORMULAÇÃO: FUNÇÃO EXECUÇÃO

Minimizar:

$$\alpha = \left[P_1 \times \left(\sum_{i=1}^n \eta_i - \rho_i \right) + P_2 \times (\eta_r) + P_3 \times (\rho_r) + P_4 \times (\eta_{SMS}) + P_5 \times (\eta_{SP}) \right] = \left(P_1 \times 0,0 + P_2 \times 34,4 + P_3 \times 0,00 + P_4 \times 0,2 + P_5 \times 2,4 \right) = 2,4$$

E tal que:

Volume:	0	13	13	14	15	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$V_i + \eta_i - \rho_i =$	0	13	13	14	15	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$e \leq V_i =$	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
$e \geq V_m =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fluxo de Caixa:

Valor presente receita + $\eta_r - \rho_r = 52,21$

>= valor presente saídas de caixa = 52,21

Tarifa:

Tarifa + $\eta_t - \rho_t = 1,10$

>= 1,03 <= 1,10

SMS:

7,0 = 7,0

Sócio Políticos:

7,0 = 7,0

Figura 23 – Terceiro cenário gerado pelo modelo

O resultado da função execução e desvios apresentados pelo modelo são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Resumo dos resultados gerados pelo terceiro cenário

Descrição	Valor
Resultado da função execução	2,4
Desvio na meta de volume transportado	0,0
Desvio na meta de fluxo de caixa	34,4
Desvio na meta de valor da tarifa	0,00
Desvio na meta de aspectos de SMS	0,2
Desvio na meta de aspectos Sócio-Políticos	2,4

Pode-se observar que a inversão nas prioridades alterou os resultados, com aumento no valor da função execução. Neste caso, o desvio positivo na meta relacionada à tarifa passa a ser nulo, enquanto o desvio negativo no retorno financeiro do fluxo de caixa passa a ser de R\$ 32,42 milhões.

Tais resultados sugerem a interpretação de que a construção do gasoduto com a demanda atual está condicionada a uma tarifa muito alta (segundo cenário) ou então a um resultado negativo no fluxo de caixa (terceiro cenário).

QUARTO CENÁRIO

O quarto cenário foi gerado com o objetivo de identificar a demanda a partir da qual a construção do gasoduto passaria a ser economicamente viável, com desvio nulo tanto para a meta de fluxo de caixa, quanto para a meta de valor da tarifa.

As alterações nos dados de entrada consistiram em um aumento gradativo no valor de demanda inicial, mantendo-se os demais valores e prioridades conforme o que foi estabelecido para o primeiro e para o segundo cenário. Partiu-se do valor de demanda inicial de 35 mil m³ por dia, com acréscimo de 10 mil m³ por dia.

Os pontos dos Gráficos 1 e 2 representam cada um dos resultados gerados com a variação de 10 mil m³ por dia no valor da demanda inicial.

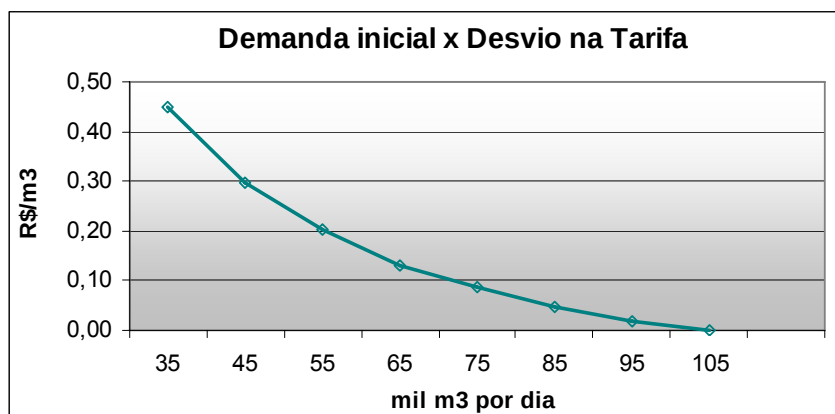


Gráfico 1 – Impacto da alteração da demanda inicial no valor da tarifa

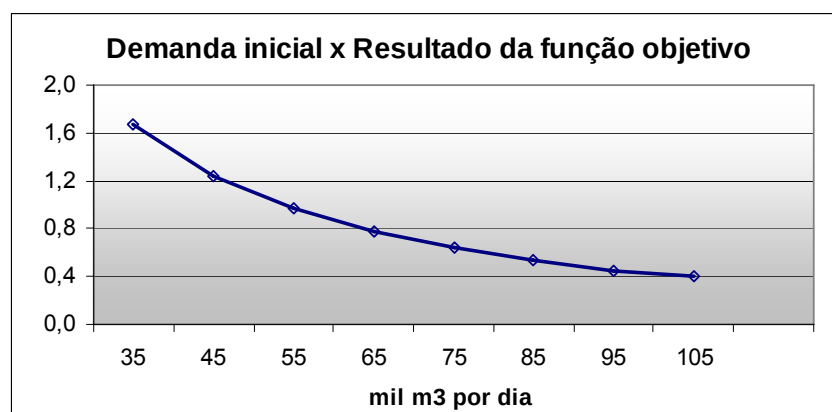


Gráfico 2 – Impacto da alteração da demanda inicial no resultado da função objetivo

Foi observado que o resultado da função objetivo reduziu de 1,7 para um valor mínimo de 0,4, e o desvio na tarifa passou de R\$ 0,45/m³ para zero, quando considerada a demanda inicial de 105 mil m³ por dia.

A partir destes resultados, foi possível identificar que o valor de demanda a partir do qual é possível notar desvio positivo nulo nas metas relacionadas à tarifa e ao fluxo de caixa, é de 103 mil m³ por dia de gás natural. A planilha contendo o modelo gerado para este quarto cenário é apresentada na Figura 24.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Aline de Pinho Uliana

UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO POR METAS COMO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

DADOS DE ENTRADA

Fluxo de Caixa

Demanda inicial: 103 mil m3/dia

Crescim. demanda: 4,5 % aa

Investimento Inicial: 48,0 MM R\$

Custo operacional: 1,5 % investim.

Valor residual: 10,0 % investim.

Taxa desconto: 15,0 %

Composição tarifária

Tarifa do gás natural: 1,03 R\$/m3

Tarifa óleo combust.: 1,10 R\$/kg

Commodity + distrib.: 0,64 R\$/m³

% de impostos - tarifa: 26,3 %

Aspectos de SMS e Sócio Políticos

	Peso	Escala	Ui	Descrição
Manutenção:	0,20	1	5,0	Frequência / complexidade
Acidentes:	0,40	1	7,0	Probab. ocorrência/severidade
Poluição:	0,30	1	7,0	Atmosférica, aquática, solos
Licenças:	0,10	1	9,0	Obstáculos para obtenção
Total SMS:	1,00		Ui_{SMS} = 6,8	
Emprego:	0,15	2	9,0	Possib. geração de empregos
Desenvolvimento:	0,25	2	5,0	Desenv. infra-estrutura local
População:	0,15	1	5,0	Oposição da população
Taxa de câmbio:	0,25	1	1,0	Risco de exposição cambial
Governo:	0,20	2	5,0	Apoio governamental
Total S.Políticos:	0,00		Ui_{S.Políticos} = 4,6	

Características do transporte

Capacid. transporte: 98,0 10⁶m³/ano

Volume mín. transp.: 0,0 10⁶m³/ano

Distância transp: 69,0 km

Pesos das metas

Desvio volume: 5

Desvio retorno: 4

Desvio tarifa: 3

Desvio SMS: 2

Desvio S.Político: 1

VARIÁVEIS

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Volume transp. (10 ⁶ m³):	0,0	37,6	39,3	41,1	42,9	44,8	46,9	49,0	51,2	53,5	55,9	58,4	61,0	63,8	66,6	69,6	72,8	76,0	79,5	83,0	86,8
Desvio + Volume (10 ⁶ m³):	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio - Volume (10 ⁶ m³):	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio + retorno (MM R\$):	0,00																				
Desvio - retorno (MM R\$):	0,00																				
Margem de distrib.:	0,17																				

Desvio + tarifa = 0,00 R\$/m³

Desvio - tarifa = 0,00 R\$/m³

Desvio + SMS = 0,00

Desvio - SMS = 0,20

Desvio + Sócio Político = 0,00

Desvio - Sócio Político = 2,40

FORMULAÇÃO: FUNÇÃO EXECUÇÃO

Minimizar:

$$\alpha = \left[P_1 \times \left(\sum_{i=1}^n \eta_i - \rho_i \right) + P_2 \times (\eta_r) + P_3 \times (\rho_r) + P_4 \times (\eta_{SMS}) + P_5 \times (\eta_{SP}) \right] = \left(P_1 \times 0,0 + P_2 \times 0,0 + P_3 \times 0,00 + P_4 \times 0,2 + P_5 \times 2,4 \right) = 0,4$$

E tal que:

Volume:

$$V_i + \eta_i - \rho_i =$$

0	38	39	41	43	45	47	49	51	53	56	58	61	64	67	70	73	76	79	83	87
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$$= D_i =$$

0	38	39	41	43	45	47	49	51	53	56	58	61	64	67	70	73	76	79	83	87
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$$e \leq V_c =$$

98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$$e \geq V_m =$$

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fluxo de Caixa:

Valor presente receita + $\eta_r - \rho_r = 52,21$

>= valor presente saídas de caixa = 52,21

Tarifa:

Tarifa + $\eta_t - \rho_t = 1,10$

>= 1,03 <= 1,10

SMS:

7,0 = 7,0

Sócio Políticos:

7,0 = 7,0

Figura 24 – Quarto cenário gerado pelo modelo

O resultado da função execução e desvios apresentados pelo modelo são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Resumo dos resultados gerados pelo quarto cenário

Descrição	Valor
Resultado da função execução	0,4
Desvio na meta de volume transportado	0,0
Desvio na meta de fluxo de caixa	0,0
Desvio na meta de valor da tarifa	0,00
Desvio na meta de aspectos de SMS	0,2
Desvio na meta de aspectos Sócio-Políticos	2,4

Desta forma, o modelo sugere que a demanda mínima para a utilização do gasoduto no transporte de gás natural em Linhares seja de 103 mil m³ por dia. Esta demanda é cerca de três vezes superior à atual.

A Tabela 16 apresenta um resumo dos principais resultados obtidos em cada cenário gerado para a análise do problema.

Tabela 16: Resumo dos resultados gerados pelos quatro cenários

Descrição	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
- Transporte	Rodoviário	Dutoviário	Dutoviário	Dutoviário
- Demanda (mil m ³ / dia)	35	35	35	103
- Priorização da meta de tarifa	-	-	Sim	-
- Atendimento às metas de fluxo de caixa e tarifa	-	-	-	Sim
- Resultado da função execução	0,8	1,7	2,4	0,4
- Desvio na meta de volume transportado	0,0	0,0	0,0	0,0
- Desvio na meta de fluxo de caixa	0,0	0,0	34,4	0,0
- Desvio na meta do valor de tarifa	0,00	0,45	0,00	0,00
- Desvio na meta de aspectos de SMS	2,2	0,2	0,2	0,2
- Desvio na meta de aspectos sócio-póliticos	1,3	2,4	2,4	2,4

É importante destacar que os resultados estão condicionados aos dados de entrada considerados, com finalidade acadêmica. Além disso, outras soluções podem ser obtidas, desde que o decisor se disponha a alterar os parâmetros de entrada do modelo relacionados ao cálculo do fluxo de caixa, características do transporte, composição tarifária, aspectos de segurança, meio ambiente, saúde e sócio-políticos, bem como as prioridades estabelecidas para cada meta.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta dissertação teve como objetivo principal desenvolver um modelo de Programação por Metas, como apoio à resolução do problema de logística de distribuição do gás natural em regiões que não são atendidas por gasodutos, para analisar a viabilidade de implantação de um gasoduto e/ou de um sistema de distribuição através de caminhões.

O modelo proposto foi aplicado em estudo de caso na região de Linhares, no Espírito Santo, para analisar as alternativas de transporte de gás natural rodoviário e dutoviário. Para isso, foram gerados quatro cenários, a partir dos quais foram obtidos os seguintes resultados:

- Primeiro cenário: o modelo foi aplicado para o transporte rodoviário de gás natural, considerando a demanda atual. Como os desvios na meta de retorno financeiro do fluxo de caixa e de valor da tarifa foram nulos, percebeu-se que os resultados do modelo condizem com o esperado, uma vez que esta operação já vem sendo utilizada para o transporte de GNC na região de Linhares;
- Segundo cenário: o modelo foi aplicado para o transporte dutoviário de gás natural, considerando a demanda atual. Foi verificado um aumento no resultado da função execução devido ao desvio na meta de tarifa do gás natural. Este resultado também está de acordo com o esperado, uma vez que analistas do setor entendem que para a demanda atual, a rede de distribuição de Linhares não apresenta rentabilidade suficiente para remunerar os investimentos;
- Terceiro cenário: foi feita uma alteração no peso da meta de tarifa, passando de terceiro maior valor para o primeiro maior valor. Aplicado o modelo, foi verificado um aumento no valor da função execução, com desvio na meta de retorno financeiro do fluxo de caixa e desvio nulo na meta relacionada à tarifa. Tais resultados sugerem a interpretação de que a construção do gasoduto com a demanda atual está condicionada a uma tarifa muito alta (segundo cenário) ou então a um resultado negativo no fluxo de caixa (terceiro cenário);

- Quarto cenário: o modelo foi aplicado com o objetivo de identificar a demanda a partir da qual a construção do gasoduto passaria a ser economicamente viável, com desvio nulo tanto para a meta de fluxo de caixa, quanto para a meta de valor da tarifa. O resultado sugere que a demanda mínima para a utilização do gasoduto no transporte de gás natural em Linhares seja de 103 mil m³ por dia. Esta demanda é cerca de três vezes superior à atual. É importante destacar que este valor está condicionado aos dados de entrada considerados, com finalidade acadêmica.

Conclui-se, através dos resultados obtidos, que o método de Programação por Metas possibilitou ao tomador de decisão a geração de diferentes cenários visando à otimização de metas conflitantes e incomensuráveis. Conclui-se ainda que o modelo pode ser aplicado a outras regiões, a partir de uma revisão na priorização dos objetivos e alteração nos dados de entrada, tais como a distância de transporte prevista, demanda inicial, valores de investimento, custo operacional, dentre outros.

A aplicação do método de Programação por Metas à resolução do problema de distribuição de gás natural se apresentou como uma boa ferramenta, por ter permitido investigar os principais questionamentos levantados inicialmente, quanto à demanda que viabiliza a distribuição de GNC através de caminhões e, em especial, quanto à demanda que viabiliza a substituição do transporte através da modalidade rodoviária para o transporte através de gasodutos.

O estabelecimento dos objetivos mostrou-se como importante etapa do método, em especial por ter permitido a decomposição de objetivos mensuráveis não apenas quantitativamente como também qualitativamente. Isto foi possível através da utilização do Método da Utilidade Associada para os objetivos relacionados a aspectos de segurança, meio ambiente, saúde e sócio-políticos.

Outra importante característica observada no método de tomada de decisão com objetivos múltiplos é a flexibilidade de não inviabilizar a solução quando uma das metas não é atendida. Tal característica possui grande aplicabilidade quando há vários objetivos a serem atendidos, e nem todas as variáveis são rígidas, ou seja, podem ser estabelecidos níveis de aspiração desejados com minimização das

variáveis de desvio. Esta característica permitiu, por exemplo, a análise comparativa entre o segundo e terceiro cenários gerados pelo modelo. Ambos tiveram atendimento parcial aos objetivos, mas foram importantes para a análise da priorização das metas.

A ferramenta utilizada para a aplicação da Programação por Metas, o suplemento *Solver*, mostrou-se adequado aos objetivos do trabalho, devido à facilidade na entrada e alteração de dados para geração de diferentes cenários, rapidez na obtenção da solução e interface amigável ao usuário. É importante destacar também o fato de ser uma ferramenta relativamente acessível aos usuários, quando comparada a outros programas específicos.

Foi possível constatar que o método da Programação por Metas permanece em pleno desenvolvimento e continua sendo aplicado em diversas áreas, dentre elas o planejamento e produção energética, planejamento da produção, gerenciamento de recursos naturais, além de diversas aplicações em transportes e distribuição. Assim como havia sido verificado para as aplicações citadas, os resultados obtidos neste trabalho também foram bastante satisfatórios, em especial devido aos fatores relacionados à flexibilidade e robustez.

Uma das dificuldades encontradas durante a realização deste trabalho foi a obtenção e manipulação de dados de entrada, dada a característica de confidencialidade de algumas variáveis, como investimento e custos operacionais, e volatilidade de outras, como a demanda. Estas dificuldades foram superadas através de entrevistas com profissionais do setor, que sugeriram publicações que poderiam embasar as estimativas para a aplicação com fins acadêmicos.

Objetivando a realização de futuras pesquisas e a complementação e aprimoramento do trabalho, pode-se sugerir a avaliação dos objetivos relacionados a aspectos de segurança, meio ambiente, saúde e sócio-políticos, através do Método da Utilidade Associada, de forma mais detalhada e específica. A aplicação atual, feita de forma qualitativa, ficou sujeita ao conhecimento e interpretação do decisor. Desta forma, sugere-se o levantamento de parâmetros a serem obedecidos na determinação dos atributos, de suas medidas qualitativas e de suas ponderações,

para cada situação. Outros pontos que podem ser desenvolvidos são: agregar a análise do transporte de GNL à comparação com o GNC e gasodutos, e analisar a alternativa de utilização de centrais intermediárias na distribuição do GNC.

REFERÊNCIAS

ABREU, Percy Louzada de; MARTINEZ, José Antônio. **Gás Natural**: O combustível do novo milênio. 2. ed. Porto Alegre: Plural Comunicação, 2003. 82 p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP) – SUPERINTENDÊNCIA DE COMERCIALIZAÇÃO E MOVIMENTAÇÃO DE GÁS NATURAL. **Descrição da metodologia de cálculo das tarifas de transporte de gás natural**. Nota Técnica 054/2002-SCG. Rio de Janeiro, 2002.

AGIRA: **gasoduto móvel**. Disponível em: <<http://www.agira.com.br/portugues/gasoduto-movel.php>>. Acesso em: 11 fev. 2009.

AHERN, Aoife; ANANDARAJAH, Gabriel. Railway projects prioritisation for investment: Application of goal programming. **Transport Policy Journal**, v.14, p. 70-80, jan.2007.

ANICETO, Luiz Ângelo; CORTEZ, Breno Peixoto; DIÓGENES, Pedro Neto Nogueira. Gasoduto virtual: avançando novos mercados - estudo de caso. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE TRÂNSITO E TRANSPORTE, 13., 2004, Nova York. **Anais...** Rio de Janeiro: Panam, 2004.

AGÊNCIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO - ASPE. **Tarifas do Gás Natural canalizado**: área de concessão BR - Petrobras Distribuidora. Disponível em: <<http://www.aspe.es.gov.br>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Glossário ANP**. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/glossario>>. Acesso em 03 fev. 2009.

AOUNI, Belaid; KETTANI, Ossama. Goal programming model: a glorious history and a promising future. **European Journal Of Operational Research**, 133, p. 225-231. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE GÁS CANALIZADO – ABEGÁS. **Mapas dos gasodutos e estatísticas do setor**. Disponível em <<http://www.abegas.org.br>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

AZEREDO, Sandro. **Transporte de GNC**. 2008. Entrevista e visita técnica conduzida pelo Gerente Negócios da White Martins Gases Industriais a Aline de Pinho Uliana, Viana, 20 nov. 2008.

BAIOCO, Juliana Souza et al. Custos e benefícios econômicos de tecnologias de transporte de gás natural no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 4., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás, 2007. p. 119-1 - 119-10.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Balanço Energético Nacional de 2008**. Brasil, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2008. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENResultadosPreliminares2008.aspx>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

BALLOU, Ronald H.. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p. Tradução Raul Rubenich.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Relatório de inflação - Dezembro/2009**. Disponível em: < <http://www.bcb.gov.br/?RELINF200912>>. Acesso em 22 jan. 2010.

BARJA, Gabriel de Jesus Azevedo. A **Cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BARUFI, Clara. O gás chega de caminhão. **Energia & Mercados**, São Paulo, ano 3, p.29-31, out. 2004.

BRASIL. Governo Federal. **Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <www.cop15brasil.gov.br>. Acesso em: 25 fev. 2010.

BRAUER, D. C.; NAADIMUTHU, G.. A Goal Programming model for aggregate inventory and distribution planning. **Mathematical And Computer Modelling**, v.16, n.3, p. 81-90. 1992.

BRITISH PETROLEUM. **BP Statistical Review of World Energy**. Disponível em <<http://www.bp.com>>. Acesso em: 23 jan. 2009.

BRITO, Anderson Jorge de Melo. **Avaliação multi-critério de riscos em gasodutos de gás natural: uma abordagem de classificação com o Electre Tri**. 2007. 176 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

CALVETE, Herminia I. et al. A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows. **European Journal Of Operational Research**, v.177, n.3, p. 1720-1733. mar. 2007.

CARDOSO, Luiz Cláudio. **Petróleo: do poço ao posto**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 192 p.

ÇEBI, Ferhan; BAYRAKTAR, Demet. An integrated approach for supplier selection. **Logistics Information Management**, v.16, n.6, p. 395-400. 2003.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRA-ESTRUTURA. **Gás Natural: Dinâmica da indústria no Brasil e tecnologias emergentes de transporte, distribuição e estocagem**. Instituto Nacional de Tecnologia. Nota Técnica 10/2003. Coordenado por: Rafael Schechtman. Disponível em: <<http://www.tendencias.int.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2009.

CHALAM, G. Aruna. Fuzzy goal programming (FGP) approach to a stochastic transportation problem under budgetary constraint. **Fuzzy Sets And Systems**, v.66, n.3, p. 293-299. set. 1994

CHANG, Yu-hern; WEY, Wann-ming; TSENG, Hsiao-yu. Using ANP priorities with goal programming for revitalization strategies in historic transport: A case study of the Alishan Forest Railway. **Expert Systems With Applications**, v.36, n.4, p. 8682-8690. mai. 2009.

CHANKONG, V.; HAIMES, Y.Y., Multiobjective decision making: theory and methodology. **North Holland series in systems science and engineering**, vol. 8, North Holland, New York, 1983.

COLLET, Luciana. Gasodutos Virtuais Ganham espaço. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 20 out. 2003. Caderno A6. Disponível em: <<http://indexet.gazetamercantil.com.br/arquivo/2003/10/20/525/Gasodutos-virtuais,-ganham-espaco.html>>. Acesso em: 05 fev. 2009.

COSTA, Felipe Pereira da; SOUZA, Marcone Jamilson Freitas; PINTO, Luiz Ricardo. Um modelo de programação matemática para alocação estática de caminhões visando ao atendimento de metas de produção e qualidade. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 1, n. 58, p.77-81, jan.mar. 2005. Trimestral.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José Vicente. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de

Programação por Metas. **Gestão e Produção**, São Paulo, v. 9, n. 2, p.143-161, ago. 2002. Mensal.

DAJIE, Zuo. Stochastic static wagon-flow allocation model in a marshalling station. In: International Conference on Transportation Engineering, 1., 2007, Chengdu. **Proceeding**. Chengdu: Asce, 2007. p. 3959 - 3964.

DUFF-RIDDELL, Wayne. A Practical Transit Network Design Method. In: Traffic and Transportation Studies, 2., 2000, Beijing. **Proceedings...** . Beijing: Asce, 2000. p. 220 - 227.

EIA - ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. U.S. **Natural Gas Pipeline Network**. Washington, D.C., 2008. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/ngpipeline/ngpipelines_map.html>. Acesso em: 01 fev. 2009.

EL-WAHED, Waïel F. Abd; LEEB, Sang M.. Interactive fuzzy goal programming for multi-objective transportation problems. **Journal Omega**, v.34, n.3, p. 158-166. abr. 2006

ERTUĞRUL, Irfan; GUNES, Mustafa. Fuzzy Goal Programming and an Application of Production Process. **Anal. And Des. Of Intel. Sys. Using Sc Tech.**, ASC 41, p. 649-659. 2007.

ESTATAL leva gás para o interior de Pernambuco de caminhão. Jornal do Commercio: **Sindcomb Notícias**, Pernambuco. 30 maio 2008. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br/conteudos.asp?cod=4256&tipo=Artigos&categoria=8>>. Acesso em: 5 fev. 9.

GALILEO: **Galerías de imagenes**. Disponível em: <http://www.galileoar.com/2005/galerias/galeria_gasoducto.htm>. Acesso em: 11 fev. 2009.

GARCIA, Roberto. Perspectivas do transporte em dutos e polidutos em Minas Gerais. In: Seminário de Transportes Multimodais de Minas Gerais, 8., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** . Belo Horizonte: CREA-MG, 2008. Disponível em <<http://www.crea-mg.org.br/interna.aspx?id=4927>>. Acesso em 03 fev. 2009.

GÁS Natural Veicular chega a Teresópolis. **O Diário de Teresópolis**, Rio de Janeiro, 19 jan. 2009. Disponível em: <http://www.odiariodeteresopolis.com.br/leitura_noticias.asp?IdNoticia=9738>. Acesso em: 05 fev. 2009.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro. **Teoria da Decisão**. São Paulo: Cengage Learning, 2006. 116 p.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos**. São Paulo: Atlas, 1998.

HO, William; EMROUZNEJAD, Ali. Multi-criteria logistics distribution network design using SAS/OR. **Expert Systems With Applications**, v.36, n.3, p. 7288-7298. abr 2009.

IGNIZIO, J. P. **Introduction to Linear Goal Programming**. Beverly Hills: Sage, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas de População**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/POP2009_DOU.pdf>. Acesso em 28 dez. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto dos Municípios 2003-2007**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2003_2007/tab01.pdf>. Acesso em 21 jan. 2010.

JONES, Dylan F.. **Goal Programming in the Period 1990-2000**. In: EHRGOTT, Matthias; GANDIBLEUX, Xavier. Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Surveys. United Kingdom: Springer Verlag, 2004. p. 129-170. (International Series in Operations Research & Management Science, v.52).

KWAK, N. K.; SCHNIEDERJANS, Marc J.. Goal Programming solutions to transportation problems with variable supply and demand requirements. **Socio-economic Planning Sciences**, v.19, n.2, p. 95-100. 1985.

LEE, Amy H.i.; KANG, He-yau; CHANG, Ching-ter. Fuzzy multiple goal programming applied to TFT-LCD supplier selection by downstream manufacturers. **Expert Systems With Applications**, 2008. DOI:10.1016/j.eswa.2008.08.044. Disponível em: <<http://www.doi.org>>. Acesso em 24 jan.2009.

LEE, S. M. **Goal Programming for Decision Analysis**. Philadelphia: Auerbach, 1972

LEUNG, Stephen C.h.. A non-linear goal programming model and solution method for the multi-objective trip distribution problem in transportation engineering. **Optimization And Engineering**, v.8, n.3, p. 277-298. ago. 2007.

LIMA, Mariana Sarmanho de Oliveira. **O gás natural como alternativa energética para a indústria têxtil: vantagem competitiva ou estratégia de sobrevivência.** 2007. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MANOEL, Cácio Oliveira. **Aspectos regulatórios e modelos contratuais aplicáveis ao mercado de distribuição de gás natural a granel (gás natural comprimido - GNC e gás natural liquefeito - GNL) no Brasil.** 2006. 188 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MARANHÃO, Francisco José Coelho. **A exploração de gás natural em Mexilhão: análise multicritério pelo método Todim.** 2006. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro, 2006.

MASTERGAS: **master service.** Disponível em: <<http://www.mastergas.com.br/master-service/aluguel-e-venda-de-carretas/>>. Acesso em: 11 fev. 2009.

MIN, Hokey. International Intermodal Choices Via Chance-Constrained Goal Programming. **Transportation Research Part A**, v.25, n.6, p. 351-362. nov. 1991.

MINAS Gerais comercializa cerca de 2,2 milhões m³/mês de GNC. **GÁS BRASIL.** Disponível em: <<http://www.gasbrasil.com.br/noticia/noticia.asp?NotCodNot=23777>>. Acesso em: 12 dez. 2007.

MIRRAZAVI, S. Keyvan; JONES, Dylan F.; TAMIZ, M.. A comparison of genetic and conventional methods for the solution of integer goal programmes. **European Journal Of Operational Research**, v.132, n.3, p. 594-602. ago. 2001.

MORAIS NETO, Gregório Coelho de. **Sistema Decisório Interativo de Alocação de Fluxo de Cargas.** 1988. 168 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós Graduação em Sistemas e Computação, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1988.

NEOGAS: gás natural sem gasodutos para qualquer lugar. Disponível em: <<http://www.neogas.com.br/index-3.html>>. Acesso em: 11 fev. 2009.

NIEMEIER, Debbie A. et al. Optimization Models for Transportation Project Programming Process. **Journal Of Transportation Engineering**, v.121, n.1, p. 14-26. jan-fev.1995.

OLIVEIRA FILHO, Alberto Dantas de. **Substituição de diesel por gás natural em ônibus do transporte público urbano**. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Departamento de Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, Silvio Luiz. **Tratado de Metodologia científica: projetos de pesquisa, TGI, TCC, Monografias, Dissertações e Teses**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1999. 320 p.

PARO, André de Carvalho. **Estudo da contribuição do gás natural no setor elétrico: uma análise de cenários de sua expansão nos setores de energia termelétrica, cogeração e residencial**. 2005. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PARREIRAS, Roberta Oliveira. **Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério**. 2006. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.

PATI, Rupesh Kumar; VRAT, Prem; KUMAR, Pradeep. A goal programming model for paper recycling system. **Journal Omega**, v.36, n.3, p. 405-417. jun.2008

PERÇIN, Selçuk. An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. **Measuring Business Excellence**, Bradford, v.10 nº4, p. 34-49. abr. 2006.

PERRUT, Fabio Marques. **Potencial para Difusão das Tecnologias Alternativas ao Transporte do Gás Natural no Brasil: o caso do gás natural comprimido e gás natural liquefeito**. 2005. 72 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PETROBRAS. Nota à imprensa: Petrobras investirá US\$174,4 bi até 2013. 23 jan. 2009. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em: 25 jan. 2009.

PRAÇA, Eduardo Rocha. **Distribuição de gás natural no Brasil: um enfoque crítico e de minimização de custos**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2003.

RAGSDALE, Cliff T.. **Goal Programming and Multiple Objective Optimization**. In: RAGSDALE, Cliff T.. **Spreadsheet Modeling & Decision Analysis: A practical introduction to the management science**. 4. ed. New York: Southwestern Colleg Publishing, 2004. Cap. 7, p. 313-325.

RAMOS, Abdias Fernandez. **Procedimento para tomada de decisão em terminais marítimos petrolíferos**. 1995. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Sistemas e Computação, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1995.

REIS, Paulo Fernando Isabel dos. **Comparação do Transporte de Gás**. In: Encontro Brasileiro de Energia do Hidrogênio. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 2006.

RIGOLIN, Pascoal Henrique da Costa. **Avaliação global dos modos energéticos de transporte do gás natural inclusive como energia secundária**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SAUER, Ildo Luís. Programa de massificação do uso do gás natural: apresentação ao IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 4. 2004. Itajubá. **Anais...** Itajubá: UNIFEI/SBPE, 2004. 36p.

SAUER, Ildo Luís. Director de Gás e Energia - Petrobras. **Estudios de evaluación estratégica**: Integración latino-americana a través de la rede de transporte de gás natural. 6. ed. Rio de Janeiro, 2005. 75 p. (Estudio).

SELIM, Hasan; OZKARAHAN, Irem. A supply chain distribution network design model: An interactive fuzzy GP-based solution approach. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, v.36, n.3-4, p. 401-418. jan.2008.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muskat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. e atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

SINHA, S. B.; SASTRY, S. V. C.. A Goal Programming model for facility location planning. **Socio-economic Planning Sciences**, v.20, n.5, p. 251-255. 1987

TSAI, Kune-muh; YOU, Shiau-yuan; LIN, Yu-hsin. A fuzzy goal programming approach with priority for channel allocation problem in steel industry. **Expert Systems With Applications**, v.34, n.3, p. 1870-1876. abr. 2008.

ULIANA, Aline de Pinho; MORAIS NETO, Gregório Coelho de. UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO POR METAS COMO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO EM TRANSPORTES. In: ANPET - CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM

TRANSPORTES, 23. 2009, Vitória. **Anais...** . Vitória: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2009.

VANSTEENWEGEN, Pieter. **Planning in tourism and public transportation: attraction selection by means of a personalised electronic tourist guide and train transfer scheduling**. 2008. 282 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universiteit Leuven, Leuven, 2008.

WEY, Wann-ming; WU, Kuei-yang. Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation. **Mathematical And Computer Modelling**, v.46, n.7-8, p. 985-1000. out. 2007.

WHITE Martins e Solidez Engenharia inauguram primeiro gasoduto móvel do Espírito Santo. **TN Petróleo**, Vitória, 12 dez. 2005. Disponível em: <<http://www.tnpetroleo.com.br/noticia/15338/white-martins-e-solidez-engenharia-inauguram-primeiro-gasoduto-movel-do-espírito-santo>>. Acesso em: 05 fev. 2009.

WHITE MARTINS: gasoduto móvel. Disponível em: <<http://www.praxair.com/sa/br/bra.nsf/AllContent/FCFC921D15656ED28525725800421B7D?OpenDocument&URLMenuBranch=5B29BC68D565E5AF8525725D007D5F1B>>. Acesso em: 11 fev. 2009.