

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Felipe Santos Araújo**

**Avaliação Logística e Econômica para o Uso de Gás  
Natural Liquefeito em duas Plantas Industriais**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Logística pelo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Industrial da PUC-Rio.

**Orientador: Silvio Hamacher**

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2007



**Felipe Santos Araújo**

**Avaliação Logística e Econômica para o Uso de Gás  
Natural Liquefeito em duas Plantas Industriais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Logística pelo Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio.  
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Silvio Hamacher**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial -PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Departamento de Engenharia Industrial -PUC-Rio

**Giovani Vitória Machado**

Empresa de Pesquisa Energética – EPE

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do  
Centro Técnico Científico (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 12 dezembro de 2007.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Felipe Santos Araújo**

Graduou-se em Engenharia Química na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2004. Trabalhou na Esso Brasileira de Petróleo nas áreas de logística, qualidade, laboratório e implementação de sistemas ERP. Atualmente trabalha em Suprimentos na Companhia Vale do Rio Doce.

#### Ficha Catalográfica

Araújo, Felipe Santos

Avaliação logística e econômica para uso de gás natural liquefeito em duas plantas industriais / Felipe Santos Araújo ; orientador: Silvio Hamacher. – 2007.

133 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Gás Natural liquefeito. 3. Matriz energética. 4. Logística. 5. Gestão de Estoque. I. Hamacher, Silvio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Dedico à minha família.

## Agradecimentos

Ao professor Silvio Hamacher, pela orientação, paciência, objetividade, competência e profissionalismo.

Aos meus pais e mestres Sérgio e Adelina e as minhas irmãs queridas. Agradeço por serem motivos de orgulho, meu porto seguro e fonte inesgotável de amor.

A Tatiana, minha linda. Além do maravilhoso carinho de todos os dias, agradeço pelo infinito incentivo e inspiração.

A todos os amigos e Confrades.

Aos membros da Comissão Examinadora pelas contribuições ao trabalho.

Aos mestres e colegas do Mestrado Profissional em Logística da PUC-Rio.

## Resumo

*Araújo, Felipe Santos; Hamacher, Silvio. Avaliação Logística e Econômica para o Uso de Gás Natural Liquefeito em duas Plantas Industriais. Rio de Janeiro, 2007. 133p. Dissertação de Mestrado Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.*

Esta dissertação apresenta dois estudos de caso de Plantas Industriais que atualmente utilizam Óleo Combustível e/ou Carvão como fontes de energia para seus processos. Dada a grande relevância destes combustíveis em seus custos de manufatura e seu caráter estratégico para a estabilidade das operações, torna-se extremamente pertinente a busca contínua por alternativas mais econômicas, com garantia de oferta no longo prazo e atendimento aos requisitos ambientais cada vez mais restritivos. Uma particularidade importante para as duas plantas é a sua localização em regiões brasileiras sem oferta de Gás Natural (GN) canalizado. Neste contexto, o Gás Natural Liquefeito (GNL) é a alternativa logística estudada neste trabalho para suprimento de GN para as plantas estudadas. Ainda não ocorrem no Brasil importações de GNL, entretanto a primeira descarga do combustível deve ocorrer em breve e pode passar a ser fonte regular de energia para diversos consumidores. Exatamente por ser tão recente enquanto alternativa de suprimento de energia para o mercado brasileiro, busca-se conhecer suas características logísticas e, considerando o valor de investimento necessário, avaliar a viabilidade econômica de sua implementação.

## Palavras-chave

Gás Natural Liquefeito, Matriz Energética, Logística, Gestão de Estoque.

## **Abstract**

*Araújo, Felipe Santos; Hamacher, Silvio. **Logistical and Economical Evaluation of the Usage of Liquefied Natural Gas in two Industrial Plants.** Rio de Janeiro, 2007. 133p M. Sc. Dissertation - Department of Industrial Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.*

This dissertation presents two case studies of Industrial Plants that currently use Fuel Oil and/or Coal as source of energy for its processes. Given the great importance of these fuels in the manufacturing costs and its strategic role to the stability of the operations, it is extremely relevant the continuous search for most economic alternatives, with long term supply security and alignment with more and more restrict environmental standards. An important particularity of these two plants is its location in Brazilian areas without availability of Natural Gas (NG) in pipelines. Therefore, the Liquefied Natural Gas (LNG) is the logistic alternative to supply the NG to the plants under analysis. Still Brazil does not import LNG, however the first unloading of this fuel shall happen very soon and may become a regular source of energy to many consumers. Exactly for being such a recent energy supply alternative to the Brazilian market, it is so important to understand its logistic and, considering the value of needed investments, evaluate its economic viability of implementation.

## **Keywords**

Liquefied Natural Gas, Energy Matrix, Logistic, Stock Management.

## Sumário

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1.	OBJETIVOS DA PESQUISA	16
1.2.	DELIMITAÇÕES DO ESCOPO DA DISSERTAÇÃO	16
1.3.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	19
2.1.	DEFINIÇÕES	19
2.2.	ENERGIA NO MUNDO	20
2.3.	GÁS NATURAL NO MUNDO	23
	2.3.1. Mercado	21
	2.3.2. Produção	29
	2.3.3. Transporte	30
2.4.	GÁS NATURAL NO BRASIL	40
2.5.	ÓLEO COMBUSTÍVEL	44
2.6.	ESTUDOS DE CASO	45
	2.6.1. LNG como estratégia para desenvolvimento do mercado de gás	46
	2.6.2. Planta de liquefação na Califórnia	46
	2.6.3. Impacto ambiental na substituição do OC pelo GN em Paulínia	47
	2.6.4. Mercado nordestino de GN	47
	2.6.5. Fatores condicionantes ao desenvolvimento de projeto de GNL para o Cone Sul	47
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	49
3.1.	DEFINIÇÃO DE ESTUDO DE CASO	50
3.2.	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	50



3.3.	COLETA DE DADOS	51
3.4.	ANÁLISE DE DADOS	53
3.5.	ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES DE REFERÊNCIA	54
3.6.	ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES PROPOSTAS	55
<b>4.</b>	<b>CONFIGURAÇÃO DE REFERÊNCIA</b>	<b>56</b>
4.1.	CONFIGURAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA PLANTA 1	56
	4.1.1. <i>Logística do Óleo Combustível</i>	57
	4.1.2. <i>Logística do carvão</i>	59
4.2.	CONFIGURAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA PLANTA 2	61
	4.2.1. <i>Logística do Óleo Combustível</i>	62
4.3.	CUSTOS DAS SOLUÇÕES ATUAIS	64
<b>5.</b>	<b>CONFIGURAÇÃO PROPOSTA</b>	<b>66</b>
5.1.	CONFIGURAÇÃO PROPOSTA PARA PLANTA 1	70
5.2.	CONFIGURAÇÃO PROPOSTA PARA PLANTA 2	74
5.3.	CONFIGURAÇÃO DE LOGÍSTICA INTEGRADA PARA AS PLANTAS 1 E 2	75
5.4.	CUSTOS DAS CONFIGURAÇÕES PROPOSTAS	79
<b>6.</b>	<b>DISCUSSÃO DE DADOS</b>	<b>82</b>
6.1.	ANÁLISE DE INVESTIMENTO	84
6.2.	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	85
	6.2.1. <i>Critério para Escolha das Variáveis</i>	86
	6.2.2. <i>Critério para Variação dos Valores</i>	87
	6.2.3. <i>Resultados das análises de sensibilidade</i>	87
	6.2.3.1 <i>Investimento na Planta de Regaseificação</i>	90

6.2.3.2	<i>Demanda de Óleo Combustível</i>	92
6.2.3.3	<i>Tamanho de Lote de GNL</i>	94
6.2.3.4	<i>Taxa de Câmbio (R\$ / USD)</i>	97
6.2.3.5	<i>Preço do GNL</i>	98
6.2.3.6	<i>Preço do OC e Carvão</i>	102
6.2.3.7	<i>Custo de Capital</i>	105
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>107</b>
7.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	109
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE I – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA PLANTA 1</b>	<b>115</b>
I.1.	SOLUÇÃO ATUAL – CUSTO COM OC	116
I.2.	SOLUÇÃO ATUAL – CUSTO COM CARVÃO	118
I.3.	SOLUÇÃO ATUAL – CUSTO TOTAL	120
I.4.	SOLUÇÃO PROPOSTA – CUSTO COM GNL	121
I.5.	SOLUÇÃO PROPOSTA – INVESTIMENTO E ANÁLISE	123
I.6.	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	124
	<b>APÊNDICE II – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA PLANTA 2</b>	<b>125</b>
II.1.	SOLUÇÃO ATUAL – CUSTO COM OC	126
II.2.	SOLUÇÃO ATUAL – CUSTO TOTAL	128
II.3.	SOLUÇÃO PROPOSTA – CUSTO COM GNL	129
II.4.	SOLUÇÃO PROPOSTA – INVESTIMENTO E ANÁLISE	130
II.5.	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	131
	<b>APÊNDICE III – SOLUÇÃO PROPOSTA COM LOGÍSTICA INTEGRADA</b>	<b>132</b>

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Previsão de Matriz Energética Mundial até 2030	22
Figura 2.2 – Importações de GNL por Continente	25
Figura 2.3 – Exportações de GNL por Continente	25
Figura 2.4 – Comparação de Custos para transporte de GN	31
Figura 2.5 – Cadeia de Suprimento do GNL	34
Figura 2.6 – Processo de Liquefação do Gás Natural	36
Figura 2.7 – Processo de Regaseificação do GNL	39
Figura 2.8 – Matriz Energética Brasileira	40
Figura 2.9 – Evolução da Importação de Gás Natural no Brasil	41
Figura 2.10 – Esquema geral de Refino de Petróleo	45
Figura 4.1 – Macrofluxo da Cadeia de Suprimento de OC para Planta 1	58
Figura 4.2 – Macrofluxo da Cadeia de Suprimento de Carvão para Planta 1	61
Figura 4.3 – Macrofluxo Cadeia de Suprimento de OC para Planta 2	63
Figura 5.1 – Prováveis Rotas de Combustíveis para Plantas 1 e 2	68
Figura 5.2 – Planta e Terminal de Liquefação Atlantic LNG	69
Figura 5.3 – Macrofluxo Cadeia de Suprimento de GNL para Planta 1	70
Figura 5.4 – Layout Planta 1	73
Figura 5.5 – Macrofluxo Cadeia de Suprimento de GNL para Planta 2	75
Figura 5.6 – Layout Planta 2	76
Figura 5.7 – Cenários de Logística de GNL integrada para Plantas 1 e 2	78
Figura 6.1.a – Abertura de custos por combustível – Planta 1	82
Figura 6.1.b – Abertura de custos por combustível – Planta 2	83
Figura 6.2.a – Abertura de custos por combustível – Planta 1	83
Figura 6.2.b – Abertura de custos por combustível – Planta 2	84
Figura 6.3 – Sumário de Análise de Sensibilidade por Payback Descontado	89
Figura 6.4 – Sumário de Análise de Sensibilidade por Taxa de Retorno em 10 anos	90
Figura 6.5.a – Análise de Sensibilidade sobre Investimento na Planta	

de Regaseificação - Planta 1	91
Figura 6.5.b – Análise de Sensibilidade sobre Investimento na Planta de Regaseificação - Planta 2	91
Figura 6.6.a – Análise de Sensibilidade sobre Demanda de Óleo Combustível - Planta 1	92
Figura 6.6.b – Análise de Sensibilidade sobre Demanda de Óleo Combustível - Planta 1	93
Figura 6.6.c – Análise de Sensibilidade sobre Demanda de Óleo Combustível - Planta 2	93
Figura 6.6.d – Análise de Sensibilidade sobre Demanda de Óleo Combustível - Planta 2	94
Figura 6.7.a – Análise de Sensibilidade sobre Tamanho de Lote de GNL - Planta 1	95
Figura 6.7.b – Análise de Sensibilidade sobre Tamanho de Lote de GNL - Planta 1	95
Figura 6.7.c – Análise de Sensibilidade sobre Tamanho de Lote de GNL - Planta 2	96
Figura 6.7.d – Análise de Sensibilidade sobre Tamanho de Lote de GNL - Planta 2	96
Figura 6.8.a – Análise de Sensibilidade sobre Câmbio - Planta 1	97
Figura 6.8.b – Análise de Sensibilidade sobre Câmbio - Planta 1	97
Figura 6.9 – Preços spot de GNL	99
Figura 6.10.a – Análise de Sensibilidade sobre Preço do GNL - Planta 1	100
Figura 6.10.b – Análise de Sensibilidade sobre Preço do GNL - Planta 1	100
Figura 6.10.c – Análise de Sensibilidade sobre Preço do GNL - Planta 2	101
Figura 6.10.d – Análise de Sensibilidade sobre Preço do GNL - Planta 2	101
Figura 6.11.a – Análise de Sensibilidade sobre Preço do OC e Carvão - Planta 1	102
Figura 6.11.b – Análise de Sensibilidade sobre Preço do OC e Carvão - Planta 1	102

Figura 6.11.c – Análise de Sensibilidade sobre Preço do OC e Carvão - Planta 1	103
Figura 6.11.d – Análise de Sensibilidade sobre Preço do OC e Carvão - Planta 1	103
Figura 6.11.e – Análise de Sensibilidade sobre Preço do OC e Carvão - Planta 2	104
Figura 6.11.f – Análise de Sensibilidade sobre Preço do OC e Carvão - Planta 2	104
Figura 6.12.a – Análise de Sensibilidade sobre Custo de Capital - Planta 1	105
Figura 6.12.b – Análise de Sensibilidade sobre Custo de Capital - Planta 2	106

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Demanda de GNL por Continente, Capacidade de Liquefação e Transporte	26
Tabela 2.2 – Demanda GNL, Capacidade Liquefação e Capacidade de Transporte	26
Tabela 2.3 – Demanda de GNL por país	27
Tabela 2.4 – Resumo de Capacidade Global de Liquefação	27
Tabela 2.5 – Países Produtores de GNL para mercado do Atlântico	27
Tabela 2.6 – Produção de GN por Unidade Federativa no Brasil	41
Tabela 2.7 – Consumo de GN no Brasil por segmento	42
Tabela 3.1 – Demanda Fonte de Dados	53
Tabela 4.1 – Custos com Fornecimento de Combustíveis para Planta 1	64
Tabela 4.2 – Custos com Fornecimento de Combustíveis para Planta 2	64
Tabela 5.1 – Capacidade Global de Liquefação	67
Tabela 5.2 – Cenários de Logística de GNL integrada para Plantas 1 e 2	78
Tabela 5.3 – Custos com Fornecimento de GNL para Planta 1	79
Tabela 5.4 – Custos com Fornecimento de GNL para Planta 2	80
Tabela 5.5 – Custos com Fornecimento de GNL para Planta 1 com integração logística	80
Tabela 5.6 – Custos com Fornecimento de GNL para Planta 2 com integração logística	80
Tabela 6.1 – Análise de Investimento	85
Tabela 6.2 – Análise de Sensibilidade – Planta 1	88
Tabela 6.3 – Análise de Sensibilidade – Planta 2	89