

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

**UMA CONTRIBUIÇÃO À LOGÍSTICA
DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO:
MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA
PARA PREVISÃO DOS PREÇOS DOS
ÓLEOS WTI E BRENT.**

Angelo João Borsani

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em
Engenharia de Produção

Florianópolis
2001

Angelo João Borsani

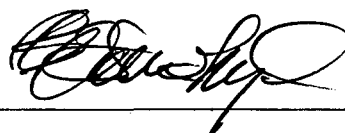
**UMA CONTRIBUIÇÃO À LOGÍSTICA DA INDÚSTRIA
DO PETRÓLEO: MODELO DE REGRESSÃO
DINÂMICA PARA PREVISÃO DOS PREÇOS DOS
ÓLEOS WTI E BRENT.**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Produção no Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina

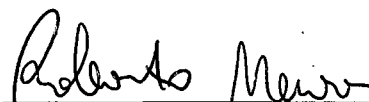
Florianópolis, 23 de novembro de 2001.


Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador do Curso

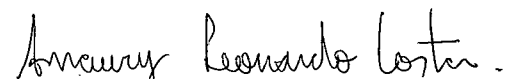
BANCA EXAMINADORA



Prof. Robert Wayne Samohyl, Ph. D.
Orientador



Prof. Roberto Meurer



Prof. Amaury Leonardo Costa

*A meus pais, Noêmia e Piero,
pelo amor, carinho, afeto e confiança.*

*A minha esposa, Márcia,
e a meus filhos, Isabela, João Pedro e Filipe,
pela extrema paciência, ampla compreensão e generoso incentivo.*

*A minha irmã, Savina,
que sempre acreditou ser possível.*

*A meus tios Giancarlo (in memoriam) e Silvana,
por todo o apoio leal e amigo.*

Agradecimentos

À Petrobras,
Nas pessoas de seu Diretor,
Rogério Almeida Manso da Costa Reis,
De seu Gerente de Planejamento Operacional,
Paulo Maurício Cavalcanti Gonçalves,
De seu Diretor de Logística e Refino na Petrobras Argentina – PAR,
Abilio Paulo Pinheiro Ramos,
De seu Chefe de *Trading* de Petróleo e Produtos na Petrobras Argentina – PAR,
Gualter Alves Coelho,
Pelo incentivo amigável, confiança e pelo crédito que em mim depositaram;

À Universidade Federal de Santa Catarina,
Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP,
Ao Laboratório de Ensino à Distância – LED,
Pela oportunidade que me proporcionaram de ingressar na comunidade científica;

Ao meu Orientador, Prof. Robert Wayne Samohyl, Ph. D.,
Pelo acompanhamento sempre cuidadoso, seguro, eficiente e competente na
elaboração desta dissertação;

Aos Professores Antônio Galvão Novaes, Ph. D., e Carlos Taboada, Ph. D.,
Pelo apoio sincero e permanente;

Ao Coordenador pela Petrobras do Curso Petrobras 2,
Antonio Gonçalves Filho;

À Monitora do Laboratório de Ensino à Distância (LED) do Curso Petrobras 2,
Marialice de Moraes;

E a todos os Professores, Coordenadores e Monitores do Curso Petrobras 2,
Pela dedicação e competência no desempenho de suas funções docentes;

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta
dissertação.

“Toda a Ciência está envolvida no estudo do relacionamento de causa e efeito. Cada descoberta científica aumenta a capacidade do homem de prever as conseqüências de suas ações, e, portanto, sua capacidade de controlar os eventos futuros”.

· Laurence J. Peter

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Quadros	xii
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Reduções	xiv
Glossário	xix
Resumo	xxiii
Abstract	xxiv

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. A indústria do petróleo – uma visão logística abrangente.....	1
1.2. A importância da logística inbound na indústria do petróleo.	4
1.3. As funções da logística inbound na indústria do petróleo.....	6
1.3.1. A função logística de seleção de elenco de processamento.....	6
1.3.2. A função logística de comercialização	7
1.4. Análise de séries temporais – revisão da literatura e o estado da arte	8
1.5. A previsão na indústria do petróleo	9
1.6. Formulação e avaliação do modelo de regressão dinâmica	11
1.7. Conclusões	16

Capítulo 2 – A Logística na Indústria do Petróleo	18
2.1. Considerações iniciais	18
2.2. Visão geral da cadeia de suprimento na indústria do petróleo	18
2.3. O segmento upstream	22
2.4. O segmento de refino (midstream)	24
2.5. O segmento downstream	27
2.6. A logística de suprimento de petróleo	31
2.7. Mecanismos de formação de preços de petróleos no mercado internacional	33
2.8. O conceito da logística inbound na indústria do petróleo	38

2.9. O problema fundamental da logística inbound na indústria do petróleo	40
2.10. O significado financeiro da previsão de preços de petróleos referenciais .	46
2.11. Aplicabilidade das previsões de preços de petróleos aos diversos segmentos da indústria	48
2.12. Conclusões	49
Capítulo 3 – Análise de Séries Temporais	51
3.1. Considerações preliminares	51
3.2. A previsão na logística	54
3.3. A questão da viabilidade da modelagem de previsão de preços: análise técnica versus análise fundamentalista	55
3.4. Revisão dos métodos científicos de previsão	60
3.4.1. Definições básicas	60
3.4.2. Visão geral dos métodos de previsão de séries temporais	63
3.4.3. Métodos de decomposição de séries temporais	65
3.4.4. Métodos simples de previsão de séries temporais	66
3.4.5. Métodos avançados de previsão de séries temporais	69
3.4.6. Outros métodos avançados de previsão de séries temporais	72
3.4.7. Modelos de função de transferência (regressão dinâmica)	73
3.4.8. Modelos multivariados	76
3.4.9. Modelos de redes neurais	76
3.4.10. Considerações sobre os métodos de previsão de séries temporais	78
3.5. O estado da arte e revisão da literatura	79
3.5.1. Modelos de regressão dinâmica	79
3.5.2. Modelos de redes neurais	82
3.5.3. Outros modelos avançados	86
3.5.4. Discussão quanto à aplicabilidade dos métodos	91
3.6. Conclusões	95
Capítulo 4 – A Previsão na Indústria do Petróleo	97
4.1. O tratamento das técnicas de previsão em algumas companhias da indústria do petróleo	97
4.1.1. Repsol-YPF	99

4.1.2. Royal Dutch / Shell Group	100
4.1.3. Koch Industries	101
4.1.4. Erg Petroli S.p.A.	101
4.1.5. Statoil Energy	101
4.1.6. Irving Petroleum Co.	102
4.1.7. BP-Amoco Corporation	103
4.1.8. Agip Petroli S.p.A.	104
4.1.9. Northville Industries	105
4.1.10. Wolverine Enterprises	105
4.1.11. Atlantic Richfield Corporation (ARCO)	106
4.1.12. Elf-Aquitaine	107
4.1.13. Chevron Corporation	108
4.1.14. PMI Comercio Internacional, S.A. de C.V.	109
4.1.15. Getty Oil	110
4.1.16. Empresas de consultoria	110
4.1.17. Empresas cujos métodos não foram explicitados	112
4.1.18. Petrobras	112
4.2. Observações quanto às previsões de preços na indústria do petróleo	114
4.3. Conclusões	114
Capítulo 5 – Formulação e Avaliação do Modelo de Regressão Dinâmica	117
5.1. Definição formal do problema	119
5.2. Sistematização da informação	120
5.2.1. Variáveis endógenas	121
5.2.2. Variáveis exógenas inerentes à indústria do petróleo	121
5.2.3. Variáveis exógenas relativas à economia global em termos gerais (variáveis macroeconômicas)	123
5.2.4. Variáveis exógenas referentes a fontes alternativas de energia	126
5.2.5. Consolidação das variáveis	128
5.3. Análise preliminar do problema	129
5.4. Seleção e ajuste de modelos de previsão	130
5.5. Modelagem univariada	131
5.5.1. Amortecimento exponencial sazonal e linear de Holt-Winters	131

5.5.2. Modelo ARIMA	133
5.6. Formulação do sistema de regressão dinâmica	134
5.7. Formulação do modelo de regressão dinâmica	135
5.7.1. Modelagem empírica	136
5.7.2. Análise crítica do modelo	152
5.8. Avaliação do modelo de regressão dinâmica	154
5.9. Conclusões	158
Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações	160
6.1. Conclusões	161
6.1.1. Seleção do modelo de previsão	161
6.1.2. Aplicabilidade do modelo	162
6.1.3. Restrições do modelo	163
6.2. Recomendações	164
6.2.1. Utilização do modelo no ambiente empresarial da Petrobras	164
6.2.2. Extensão da análise	166
Fontes Bibliográficas	168
Fontes da World Wide Web.	175
Anexos	177
Anexo I – Excertos da página Web Chevron Learning Center	178
Anexo II – Área de produção do cru WTI	183
Anexo III – Área de produção do cru Brent	184

Lista de Figuras

Figura 1.1. – Diferencial de preços WTI-Brent, 1º de agosto a 30 de setembro de 2000.	5
Figura 1.2. – Evolução dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent entre julho de 1987 e junho de 2001.	11
Figura 2.1. – Cadeia logística simplificada da indústria do petróleo.....	20
Figura 2.2. – O inter-relacionamento na cadeia logística globalizada da indústria do petróleo.	21
Figura 2.3. – Esquema simplificado do processo de refino de petróleo bruto.	25
Figura 2.4. – Evolução dos preços dos óleos referenciais, 1861-2000.	37
Figura 2.5. – Evolução dos preços do WTI e do Brent entre 3 de março de 1999 e 29 de fevereiro de 2000.	44
Figura 2.6. – Evolução do spread entre WTI e Brent no período de 3 de março de 1999 e 29 de fevereiro de 2000.	45
Figura 2.7. – Esquema de comercialização de petróleo e derivados da BP-Amoco.	49
Figura 3.1. – Caminhada aleatória unidimensional.	58
Figura 3.2. – Caminhada aleatória bidimensional (movimento browniano).	59
Figura 3.3. – Série histórica e previsão.	62
Figura 3.4. – Fluxograma dos estágios de construção de um modelo ARIMA.	71
Figura 3.5. – Representação esquemática de uma rede neural com uma camada oculta.	78
Figura 3.6. – Neurônio biológico.	83
Figura 3.7. – Esquema de rede neural com oito neurônios em três camadas.	84
Figura 3.8. – Exemplos de redes neurais com diferentes arquiteturas e funções de ativação.	85
Figura 5.1. – Diferencial (spread) entre os preços dos óleos referenciais WTI e Brent, julho de 1987 a julho de 2001.	122
Figura 5.2. – Valores de Brent, WTI e do spread WTI-Brent na mesma escala de tempo.	124
Figura 5.3. – Produção e consumo de carvão por continente, 1989/2000.	128
Figura 5.4. – Identificação dos ciclos de médio / longo prazo dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent.	130

Figura 5.5. – Valores reais de Brent e WTI ajustados pelo modelo de regressão dinâmica.	151
Figura 5.6. – Gráficos representativos do comportamento do modelo de regressão dinâmica.	152
Figura 5.7. – Alguns parâmetros relevantes do modelo de regressão dinâmica.	156
Figura 5.8. – Gráficos recursivos do modelo.	157
Figura 5.9. – Gráfico da previsão ex-ante dos valores de WTI e Brent no período de agosto de 2000 a julho de 2001.	157
Figura 5.10. – Previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent de agosto de 2001 a julho de 2003, com a utilização do Modelo de Regressão Linear Dinâmica #47.	158
Figura 6.1. – Organograma da Unidade Organizacional Marketing e Comercialização da Petrobras.	165

Lista de Quadros

Quadro 5.1. – Casos de Amortecimento Exponencial (Holt-Winters) analisados ...	131
Quadro 5.2. – Equivalência entre os parâmetros utilizados no Modelo de Regressão Dinâmica.	145

Lista de Tabelas.

Tabela 2.1. – Custos e preços de óleo e derivados no PADD II em 19/04/2000.	31
Tabela 2.2. – Alguns parâmetros estatísticos referentes aos preços do WTI e do Brent e do spread entre ambos no período de 3 de março de 1999 até 29 de fevereiro de 2000.	45
Tabela 5.1. – Resultados das Análises: Método de Holt-Winters aplicado a WTI ..	132
Tabela 5.2. – Resultados das Análises: Método de Holt-Winters aplicado a Brent.	132
Tabela 5.3. – Resultados das Análises ARIMA	133
Tabela 5.4. – Variáveis do Sistema de Regressão Dinâmica.	135
Tabela 5.5. – Parâmetros do Modelo de Regressão Linear Dinâmica, Equação para Brent.	147
Tabela 5.6. - Parâmetros do Modelo de Regressão Linear Dinâmica, Equação para WTI.	148
Tabela 5.7. – Forecast ex-ante obtido pelo Modelo de Regressão Linear Dinâmica #47, cálculo do U de Theil.	159

Lista de Reduções

Abreviaturas.

bbl – Barril, medida de capacidade utilizada na indústria do petróleo e equivalente a 158,987 litros. Por definição, um Barril contém 42 Galões Americanos.

bpd – Barril Por Dia, medida de vazão utilizada na indústria do petróleo.

cbm – cubic meter, metro cúbico.

cu.m – cubic meter, metro cúbico.

gal – Galão Americano, medida de capacidade utilizada na indústria do petróleo e equivalente a 3,78541 litros. Por definição, um Barril contém 42 Galões Americanos.

lt – long ton, ou tonelada longa, corresponde a 1016 quilogramas.

mbpd – mil Barris Por Dia, múltiplo do bpd.

mt – metric ton, ou tonelada métrica, correspondente a 1000 quilogramas.

Nymex, NYMEX – New York Mercantile Exchange, bolsa de mercado futuro de energia e metais em New York.

PlanAb – Planejamento do Abastecimento, modelo corporativo de programação linear para otimização do suprimento da Petrobras.

S.A. de C.V. – Sociedad Anónima de Cuotas Variables, figura jurídico-comercial de organização de empresas no México.

S.p.A. – Società per Azioni, figura jurídico-comercial de organização de empresas na Itália.

st – short ton, ou tonelada curta, correspondente a 987 quilogramas.

toe – Tonelada de Óleo Equivalente. Medida empregada quando se comparam formas diferentes de energia em termos de seu poder calorífico.

Siglas.

$([R+M]/2)$ – Medida da octanagem utilizada nos EUA para gasolinas, correspondendo à média aritmética do RON e do MON.

” - polegada, medida de comprimento correspondente a 25,4 mm (inch, inches).

AB-LP – Unidade organizacional da Petrobras: Abastecimento – Logística e Planejamento.

AB-MC – Unidade organizacional da Petrobras: Abastecimento – Marketing e Comercialização.

AIC – *Akaike Information Criterion*, Critério de Informação de Akaike.

AMEFE – Antiga unidade organizacional da Petrobras: Análise de Mercado Futuro.

AMF – Antiga unidade organizacional da Petrobras: Área de Mercado Futuro.

ANP – Agência Nacional do Petróleo.

API – American Petroleum Institute.

API, grau – Medida de densidade de petróleo e produtos criada pelo American Petroleum Institute. Um API de 10 corresponde à densidade relativa de 1.

ARCH – *autoregressive conditional heteroscedasticity*, heteroscedasticidade autoregressiva condicional.

ARCO – Atlantic Richfield Corporation.

BR – Petrobras Distribuidora, subsidiária da Petrobras.

CEI – Comunidade de Estados Independentes, entidade política que em parte substituiu a antiga União Soviética.

CEO – Chief Executive Officer, Diretor Executivo.

CERA – Cambridge Energy Research Association.

CFA – *Communauté Française d’Afrique*.

DD – Destilação Direta, ou Destilação Atmosférica.

DOE – Department Of Energy, Departamento de Energia do Governo dos EUA.

DOT – Department Of Transportation, Departamento de Transporte do Governo dos Estados Unidos.

E&P – Exploração & Produção, *Exploration & Production*. Área upstream na cadeia logística da indústria do petróleo.

FCC – Fluid Cathalytic Cracker, unidade de craqueamento catalítico em leito fluido.

FFT – Fast Fourier Transformations, Transformações Rápidas de Fourier.

FIML – Full Information Maximum Likelihood, Máxima Verossimilhança com Informação Completa.

FIP - Free into Pipeline, modalidade de entrega definida pelos Incoterms 2000 como Livre de Taxas e Impostos posto no interior do oleoduto.

FOB – Free on Board, modalidade de entrega definida pelos Incoterms 2000 como Livre de Taxas e Impostos a Bordo do meio de transporte.

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo, frações mais leves do petróleo utilizadas para fins de aquecimento e petroquímicos.

GNP – *Gross National Product*, Produto Interno Bruto.

IOC – Indian Oil Corporation, companhia estatal de petróleo da Índia.

IPE – International Petroleum Exchange, bolsa de mercados futuros de energia de Londres.

MAE – Mean Absolute Error, Erro Médio Absoluto.

MAPE – Mean Absolute Percentual Error, Erro Médio Porcentual Absoluto.

ME – Mean Error, Erro Médio.

MFE – Unidade organizacional da Petrobras: Mercado Futuro de Energia.

MON – Motor Octane Number, octanagem de gasolinas medida pelo método Motor.

MPE – Mean Percentual Error, Erro Médio Porcentual.

MR-1 – Medium Range 1, petroleiro com tonelage de porte bruto entre 80.000 e 120.000 toneladas.

MR-2 – *Medium Range 2*, petroleiro com tonelage de porte bruto entre 120.000 e 200.000 toneladas.

MS – Mean Of Squares, Média dos Quadrados.

MSE – Mean Square Error, Erro Médio Quadrático.

MTBE – *Methyl Tertiary Butyl Ether*, ou éter metil terc-butílico, componente de *blending* de gasolina (*octane booster*).

NIOC – *National Iranian Oil Corporation*, companhia estatal de petróleo do Irã.

NNPC – *Nigerian National Petroleum Corporation*, companhia estatal de petróleo da Nigéria.

NUMEF – Antiga unidade organizacional da Petrobras: Núcleo de Mercado Futuro.

NY – New York.

NYH – New York Harbor, porto de Nova Iorque.

Nymex, NYMEX – *New York Mercantile Exchange*, bolsa de mercado futuro de energia e metais em New York.

OECD – *Organization for Economic Co-Operation and Development*, Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômicos, entidade que reúne 30 países

desenvolvidos e em desenvolvimento, representando quase a totalidade do PIB mundial.

OPEC – *Organization of Petroleum Export Countries*, Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP).

OPEP – Cf. OPEC.

PADD – *Petroleum Authority Defense District*, divisão estratégica do território norte-americano sob o enfoque da indústria do petróleo.

PDVSA – *Petroleos De Venezuela S.A.*, companhia estatal de petróleo da Venezuela.

Pemex, PeMex – Companhia estatal de petróleo do México.

Petroecuador – Companhia estatal de petróleo do Equador.

PIB – Produto Interno Bruto.

PIRA – *Petroleum Intelligence Research Association*,

PMI – PeMex Internacional, S.A. de C.V., braço de comercialização exterior da estatal mexicana PeMex.

RAT – Resíduo Atmosférico, fundo de barril proveniente das unidades de destilação atmosférica.

RFIML – *Recursive FIML*, *FIML Recursivo*. Cf. *FIML*.

RON – *Research Octane Number*, octanagem de gasolinas medida pelo método Pesquisa.

SEORME – Antiga unidade organizacional da Petrobras: Setor de Organização e Métodos.

SERINF – Unidade organizacional da Petrobras: Serviço de Recursos da Informação.

Simex, SIMEX – *Singapore Mercantile Exchange*, bolsa de mercados futuros de energia de Cingapura.

SOMO – *State Oil Marketing Organization*, companhia estatal de petróleo do Iraque.

ULCC – *Ultra Large Crude Carrier*, petroleiro com tonelagem de porte bruto superior a 300.000 toneladas.

VLCC – *Very Large Crude Carrier*, petroleiro com tonelagem de porte bruto entre 200.000 e 300.000 toneladas.

WTI – *West Texas Intermediate*, óleo referencial (benchmarking) produzido na área de Midland, a oeste do Texas.

WTO – *World Trade Organization*, Organização Mundial do Comércio, entidade da ONU.

Símbolos.

® - Marca Registrada.

Glossário

Assessment – Avaliação, estimativa, julgamento. Em geral se aplica a preços de petróleo e produtos no mercado internacional.

Backpropagation – Algoritmo criado em 1986 por Rumelhart, Hinton e Williams para o treinamento de redes neurais.

Barrel – Barril, medida de capacidade utilizada na indústria do petróleo e equivalente a 158,987 litros. Por definição, um Barril contém 42 Galões Americanos.

Benchmarking – No escopo da presente dissertação, a palavra é usada para os petróleos referenciais, ou marcadores, como WTI e Brent.

Blending – processo industrial de mistura, mescla de produtos de petróleo.

Blending Component – componente de mistura, ou blending.

Board of Directors – Diretoria, Conselho Diretor.

Brainstorming – Tempestade cerebral, técnica que consiste em aceitar inicialmente quaisquer idéias propostas, sem submetê-las a crítica prévia.

Brent – petróleo referencial produzido no Mar do Norte, em blocos de propriedade do Reino Unido.

C-bond – título da dívida pública brasileira negociado em bolsa de valores.

Crackspread – Margem de refino. Margem entre a aquisição de cru e a venda de produtos de petróleo em refinarias cujas configurações incluem unidades de FCC.

Deadline – Prazo final.

Distributed lags – Períodos, intervalos distribuídos no tempo.

Distributor – No mercado dos EUA, distribuidor de produtos de petróleo no ramo do varejo.

Downstream – Segmento de distribuição na cadeia logística da indústria do petróleo.

Equity production – produção própria de petróleo numa empresa integrada.

Feeling – Julgamento, sentimento de mercado.

Findings – Conclusões, opiniões.

Forecast, Forecasting – Previsão, ato de prever.

Fuel oil – Óleo combustível.

Galão Americano – Medida de capacidade correspondente a 3,785 litros.

Galão Imperial - Medida de capacidade correspondente a 4,125 litros.

Gasolina Midgrade – Gasolina de especificação norte-americana com [(R+M)/2] 89 mínimo.

Gasolina Premium – Gasolina de especificação norte-americana com [(R+M)/2] 93 mínimo.

Gasolina Regular – Gasolina de especificação norte-americana com [(R+M)/2] 87 mínimo.

Headquarter – Quartel-General, sede da holding de determinada empresa.

Heating oil – Óleo para aquecimento.

ICC – International Chamber of Commerce, Câmara Internacional do Comércio.

Inbound Logistics – Segundo a definição de [LAMBERT, 2000], trata-se do segmento logístico voltado para a aquisição eficaz de insumos, meios e serviços para a produção do serviço ou produto final da empresa.

Inch – polegada, medida de comprimento correspondente a 25,4 mm.

Incoterms 2000 – Publicação da ICC (International Chamber of Commerce, Câmara Internacional do Comércio) que define legalmente as modalidades de entrega de produtos em comércio exterior, estabelecendo os direitos e deveres do comprador e do vendedor.

Jobber – No mercado dos EUA, distribuidor de produtos de petróleo no ramo do atacado.

Lag – Defasagem, período deslocado no tempo.

Marketing – Na acepção da indústria do petróleo, segmento de comercialização de derivados.

Midstream – Segmento de Refino (Refining) na cadeia logística da indústria do petróleo.

Occam's Razor – Navalha de Occam, conceito filosófico devido ao teólogo inglês Guilherme de Occam (1284-1347) segundo o qual o modelo deve ser o mais simples possível, sem perda apreciável de aderência com a realidade. Há diversos motes para caracterizar este conceito, entre os quais *Pluralitas non est ponenda sine neccesitate*, ou “a pluralidade não deve ser colocada desnecessariamente”.

Octane – Octanagem de gasolinas.

Octane Booster – Produto reforçador de octanagem, aditivo.

Outbound Logistics – Na acepção de [LAMBERT, 2000], trata-se do segmento logístico voltado para a distribuição e comercialização eficazes do serviço ou produto final da empresa, via a utilização adequada dos Canais de Distribuição.

Pipeline – Oleoduto.

Place value – Valor agregado ao produto ou serviço por se encontrar ou ser entregue ou prestado num local determinado.

Player – Empresa atuante na indústria do petróleo.

Princípio da Economia – Cf. “Occam’s Razor”.

Princípio da Parcimônia – Cf. “Occam’s Razor”.

Princípio da Pluralidade Desnecessária – Cf. “Occam’s Razor”.

Princípio da Simplicidade – Cf. “Occam’s Razor”.

Private & Confidential, P&C – Privado e Confidencial.

Procurement – Função logística de aquisição eficaz de insumos para a geração de determinado bem ou serviço.

Random walk – Caminhada aleatória.

Refining – Segmento de refino, ou Midstream, na cadeia logística da indústria do petróleo.

Spot – Operação comercial pontual, que começa e termina em si mesma, em contraposição a operações contratuais, que se estendem por um período determinado de tempo.

Spread – Diferencial entre dois preços, como, por exemplo, entre as cotações dos óleos WTI e Brent.

Suitable, suitability – Adequado, qualidade do que é adequado a determinado fim ou propósito.

Supply chain – Cadeia Logística.

T-bond – bônus do Tesouro norte-americano negociável em prazos de até 30 anos.

Time and place value – Valor agregado ao produto ou serviço por se encontrar ou ser entregue ou prestado num local determinado, no timing adequado.

Time-lag, time lag – Intervalo de tempo, período de tempo determinado.

Timing – Período no tempo em que determinado evento ocorre ou é suposto ocorrer.

Trading – Na indústria do petróleo, o equivalente a comercialização, em geral tomado no sentido de comercialização internacional.

Upstream – Segmento de Exploração & Produção (E&P) na cadeia logística da indústria do petróleo.

US Gulf – Golfo Americano, Golfo do México.

White noise – Ruído branco, erro aleatório.

Yield – Rendimento que um petróleo oferece em derivados ao ser processado.

Resumo

BORSANI, Angelo João. **Uma contribuição à Logística da Indústria do Petróleo: Modelo de Regressão Dinâmica para previsão dos preços dos óleos WTI e Brent.** Florianópolis, 2001. 208f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

No campo da Logística Inbound na indústria do petróleo, a função de maior impacto econômico é a aquisição (operações de *trading*) de matéria prima sob a forma de óleo bruto para posterior processamento e transformação em derivados. Os preços dos petróleos, no cenário internacional, estão em geral vinculados às cotações de dois óleos referenciais, West Texas Intermediate (WTI) e Brent. A previsão dos preços de WTI e Brent é importante não apenas para a elaboração do orçamento da Logística Inbound (estimativa de despesas com matéria prima), como também para nortear a decisão de compra de crus com qualidades similares e preços relacionados a WTI ou Brent. O objetivo do presente trabalho é desenvolver um modelo de regressão linear dinâmica para a previsão no curto e médio prazo do comportamento das cotações dos óleos referenciais e do diferencial de preço entre eles, correlacionando a evolução futura dos preços dos petróleos com variáveis relativas à indústria do petróleo no cenário internacional (produção, consumo, reservas provadas, capacidade de refino instalada, throughput das refinarias), ao mercado global de energias alternativas (gás natural, carvão, energia nuclear, energia hidrelétrica) e à evolução de parâmetros macroeconômicos a nível mundial (PIB dos EUA, da CEE, da OECD e do Japão, Produto Industrial Bruto dos EUA, produção e venda de veículos automotores, inflação do dólar norte-americano). O modelo de regressão linear dinâmica formulado neste trabalho apresenta a estrutura mais simples possível, sem perda apreciável de precisão. O critério utilizado para determinação da aderência do modelo foi U de Theil e a análise das projeções ex-post dos preços indicam U de Theil da ordem de 0,24.

Palavras-chave: Logística, Previsão, Preços, Petróleo.

Abstract

BORSANI, Angelo João. Uma contribuição à Logística da Indústria do Petróleo: Modelo de Regressão Dinâmica para previsão dos preços dos óleos WTI e Brent. Florianópolis, 2001. 208f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

In the field of the Inbound Logistics in the oil industry, the function of bigger economic impact is the acquisition (trading operations) of raw materials for posterior processing and transformation into by-products. Oil prices, in the international scene, are generally tied with the quotations of two benchmarking oils, West Texas Intermediate (WTI) and Brent. The price forecast of WTI and Brent is important not only to the elaboration of the Inbound Logistics budget (estimative of expenditures with raw materials), but also to support the decision of purchase of crudes with similar qualities and prices related to the WTI or to the Brent. The objective of the present work is to develop a dynamic linear regression model for the forecast, in the short and medium term, of the behavior of the benchmarking oil quotations and the price differential between them, correlating the future oil price evolution with variables related to the international oil industry (production, consumption, proven reserves, installed refining capacity, refineries throughput), to the global market of alternative energies (natural gas, coal, nuclear energy, hydroelectricity), and to the evolution of macroeconomic parameters in the world-wide level (the GDP of U.S.A., EEC, OECD and Japan, Gross Industrial Product of U.S.A., production and sale of automotive vehicles, inflation of the North American dollar). The dynamic linear regression model formulated in this work presents the simplest structure possible, without appreciable loss of accuracy. The criterion used for determination of the model fitness was Theil's U, and the analysis of ex-post prices forecasts indicates a Theil's U in the order of 0.24.

Keywords: Inbound, Logistics, Forecast, Oil, Prices.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da Logística, uma das indústrias mais complexas dentre as existentes no mundo é, sem dúvida, a indústria do petróleo. Por suas particularidades, envolvendo alto grau de verticalização, a indústria do petróleo apresenta um grande número de segmentos bem compartimentados, todos vinculados entre si ao longo de uma ampla cadeia logística voltada para a realização eficiente e eficaz de toda a gama de atividades envolvidas entre as duas extremidades do *supply chain* da indústria, desde a localização e exploração das jazidas de óleo até a colocação do produto ao consumidor final, seja ele um consumidor individual abastecendo o tanque de seu veículo numa estação de serviços, ou um consumidor industrial recebendo insumos na tancagem de sua planta manufatureira. Neste aspecto, a indústria do petróleo, em função de suas características, lida de forma abrangente e em profundidade com todas as áreas e os campos de conhecimento da Ciência Logística.

1.1. A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO – UMA VISÃO LOGÍSTICA ABRANGENTE.

O Capítulo 2 descreve de maneira resumida o esquema logístico geral da indústria do petróleo. Sua estrutura vertical envolve, no caso mais geral, uma seqüência de operações partindo da pesquisa e descoberta de jazimentos de óleo economicamente aproveitáveis, a exploração destes jazimentos e a produção, armazenamento e transporte do petróleo cru até a planta de processamento; prosseguindo com o refino do óleo bruto para a geração de derivados de petróleo, o armazenamento e o despacho destes derivados a bases intermediárias de abastecimento; e concluindo com a disponibilização dos produtos de petróleo ao consumidor final, seja individual, seja corporativo.

É tradicional fracionar-se o *supply chain* da indústria do petróleo em três grandes segmentos, ou áreas de atuação industrial: a área de exploração e produção (E&P), também chamada de *upstream*, que envolve a descoberta, exploração,

produção, armazenamento e transporte de cru até a planta de refino; a área de refino, representada pelo processamento físico do óleo bruto, com sua conseqüente transformação em derivados, e todas as estocagens intermediárias de cru e produtos relacionadas (também conhecida como *midstream*); e finalmente a área de distribuição, abastecimento ou *downstream*, compreendendo todas as operações de armazenagem, transporte e distribuição dos produtos derivados do petróleo desde a refinaria até o ponto de consumo.

Abstraindo-se os segmentos de upstream e downstream e considerando-se a área de refino, ou processamento de petróleo, isoladamente, estar-se-á em presença de uma típica indústria de transformação: uma refinaria, qualquer que seja sua configuração ou sua capacidade física de processamento, tem por finalidade básica receber o insumo principal (o óleo bruto) e, mediante uma série de processos físico-químicos (destilação atmosférica, destilação a vácuo, craqueamento catalítico, reforma catalítica e outros que serão oportunamente vistos em maior nível de detalhamento), gerar diferentes derivados, como o GLP, as gasolinas automotivas, o óleo Diesel, o querosene de aviação, os óleos combustíveis e virtualmente centenas de outros.

Aplicando-se os conceitos logísticos especificamente à indústria do refino, um dos três grandes segmentos da indústria do petróleo como um todo, podem-se identificar a área de atuação da Logística Outbound, representada pela venda e distribuição dos produtos de petróleo, e da Logística Inbound, relacionada a todas as atividades envolvidas na aquisição e transporte do óleo bruto desde suas posições de armazenamento primário até o parque de estocagem de cru da refinaria. No âmbito do objetivo fundamental da Ciência Logística, que é oferecer ao cliente o maior Nível de Serviço possível aos mais baixos custos possíveis, insere-se a meta básica do logístico inbound na indústria do petróleo, qual seja a de adquirir óleo bruto para processamento aos mais baixos custos possíveis, a fim de otimizar a margem de lucro na operação de refino (“crackspread”) e, conseqüentemente, a rentabilidade do negócio como um todo.

Como será analisado em maior profundidade no Capítulo 2, existe, no mercado internacional de petróleo, oferta de uma ampla gama de crus disponíveis para processamento. Tais crus diferem entre si por características intrínsecas e extrínsecas.

Dentre as características intrínsecas, a mais importante, na indústria, é a qualidade do óleo, ou seja, o conjunto de características físico-químicas apresentadas pelo cru, em termos de aspectos como a densidade, o teor de enxofre, a viscosidade, o ponto de fluidez, a curva de destilação, e muitos outros, que comandam o rendimento em derivados do cru ao ser processado segundo rotas de refino determinadas (destilação direta, destilação a vácuo, craqueamento catalítico, craqueamento térmico, reforma catalítica, coqueamento retardado, e diversos outros). Esta característica é de fundamental importância, dado que o valor de um petróleo é, em grande parte, determinado pelo percentual de derivados nobres que a partir dele podem ser obtidos, em detrimento de derivados de menor valor comercial. Assim, como regra geral na indústria, um cru com alto rendimento em produtos de valor de mercado mais elevado, como gasolina e óleo Diesel, por exemplo, tende a valer mais, para um refinador, que um óleo com alto rendimento em resíduos de baixo valor agregado, como óleo combustível.

No que tange às características extrínsecas, a mais relevante dentre elas é a localização física do óleo, ou seja, o terminal a partir do qual o cru é despachado para a tancagem primária da refinaria. Dependendo do modal de transporte (dutoviário, marítimo) e da distância entre o terminal embarcador e o local de processamento, haverá um custo logístico variável para se colocar o cru disponível para processamento. Tal custo também é refletido no valor do óleo, no que se constitui, em termos logísticos, num “place value” do petróleo. Sem dúvida, outras características, como as limitações do terminal de embarque, as dimensões típicas do lote e o tempo de transferência do óleo também são relevantes. Destarte, como regra geral na indústria, quanto menos conveniente (suitable) for o óleo para o refinador, em termos de tamanho de lote, distância física e tempo de disponibilidade, menor será também o seu preço de mercado em relação a crus de qualidade similar. Por este motivo, um óleo como o argentino Tierra del Fuego, por exemplo, produzido e embarcado a grande distância dos centros refinadores, com uma incidência de frete relativamente elevada no transporte, apresenta um valor de mercado bem inferior ao de óleos de similar qualidade, como o colombiano Cusiana ou o norte-americano WTI.

No atual ambiente empresarial da indústria do petróleo, quase todos os óleos comercializados no mercado internacional têm seu preço referido a dois crus

referenciais: o WTI (West Texas Intermediate), norte-americano, e o Brent, do Mar do Norte nos campos de produção pertencentes ao Reino Unido. Estes óleos apresentam cotações negociadas em bolsas de commodities (o Nymex, ou New York Mercantile Exchange, e o IPE, International Petroleum Exchange, de Londres). Tal propriedade torna muito mais ágeis e dinâmicas as operações de mercado futuro, e permite que os preços de quase todos os óleos produzidos e comercializados no mundo possam ser referidos a apenas dois denominadores comuns.

Tradicionalmente, o Brent é utilizado como referência para os preços dos óleos produzidos no Mar do Norte, na Europa, na África e no Oriente. O WTI é referencial para os crus do continente americano. No entanto, é comum na indústria a utilização de um ou outro referencial para o mesmo óleo, dependendo apenas de acordo entre comprador e vendedor. Por exemplo, óleos africanos, como o Brass River ou o Pennington, podem, a critério das partes, assumir preços vinculados ao WTI, enquanto que crus do continente americano, como o venezuelano Mesa ou o argentino Maria Inês, podem vir a ser comercializados com base em cotações do Brent.

A partir de tal constatação, torna-se de extrema importância econômica, no âmbito da indústria, decidir quanto a qual óleo referencial serão vinculados os preços de uma carga spot de óleo, ou mesmo a fórmula de preço a se utilizar num contrato de longo prazo. A decisão correta acarretará uma economia na aquisição de matéria prima da ordem de milhões de dólares, dependendo da escala da empresa.

1.2. A IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA *INBOUND* NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

A figura 1.1., a partir de um período de tempo escolhido aleatoriamente (bimestre agosto / setembro de 2000), mostra a volatilidade dos preços dos petroleos referenciais a partir do spread, ou diferencial, WTI menos Brent. Num período de dois meses, o WTI passa de uma situação em que vale US\$ 1.72/bbl mais do que o Brent (uma situação que pode ser considerada normal), para uma desvalorização de US\$ 2.57/bbl em relação ao cru do Mar do Norte, reagindo, dez dias depois, para uma valorização de US\$ 4.24/bbl em relação ao Brent. Está-se, portanto, em

presença de uma volatilidade de preços da ordem de US\$ 6.81/bbl no período considerado.

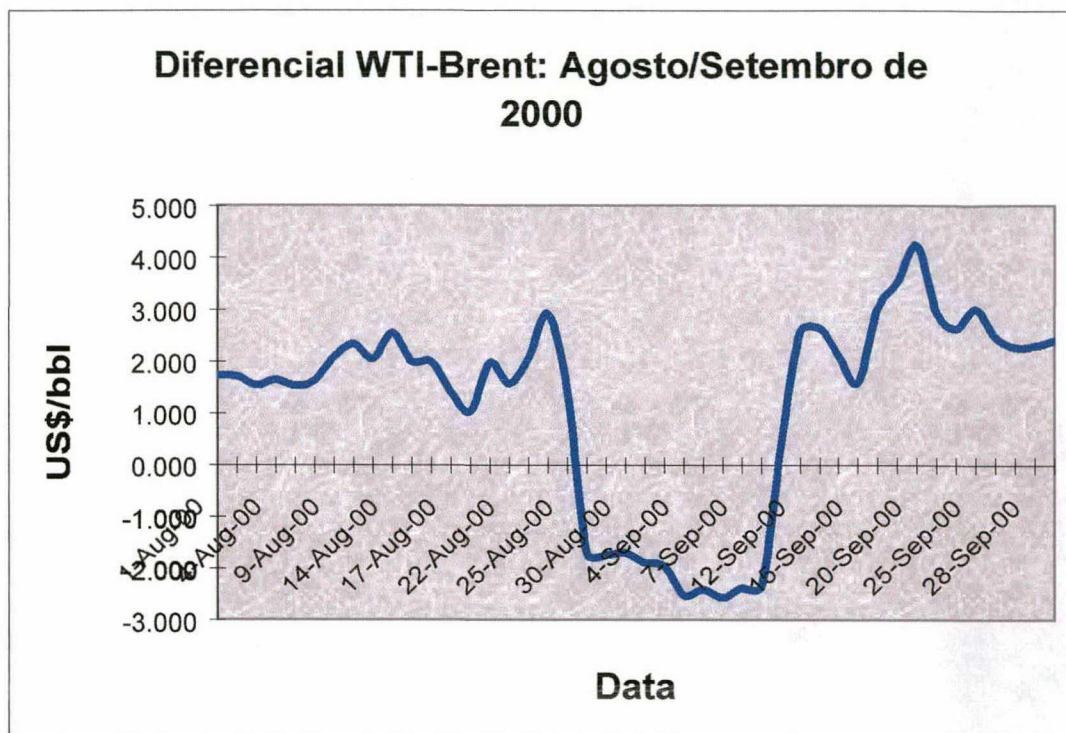


Figura 1.1. – Gráfico do diferencial WTI – Brent, 01 de agosto a 30 de setembro de 2000. Cotações diárias. Fonte: Petrobras, 2001.

Considerando-se uma situação típica, como, por exemplo, o caso da empresa Coastal Corporation, que adquire e processa 100 mil barris por dia (bpd) de crus para sua refinaria de Corpus Christi, Texas, a diferença entre a decisão adequada e uma decisão insatisfatória, quanto ao referencial de preços a utilizar nos petroleos que adquire, pode representar um montante da ordem de US\$ 20 milhões mensais num orçamento de US\$ 105 milhões mensais para a aquisição de petróleo, considerado ao preço básico de US\$ 35 por barril.

No caso específico do Sistema Petrobras, que produz hoje em dia algo em torno de 1.4 milhões de bpd e processa em suas 14 refinarias (onze no Brasil e três no exterior, sendo duas na Bolívia e uma na Argentina) um volume próximo de 1.8 milhões de barris por dia, tendo portanto que importar um saldo em torno de 400 mil bpd, a economia advinda da decisão correta quanto à escolha do óleo referencial,

pode chegar a algo como US\$ 82 milhões mensais, ou aproximadamente 20% de um orçamento de US\$ 420 milhões mensais para a aquisição de petróleo a preços médios, no período considerado, de cerca de US\$ 35/bbl.

Estes números demonstram de forma clara e insofismável a importância da decisão correta quanto à forma de vinculação do preço do óleo a ser adquirido para processamento, e o objetivo da presente dissertação é analisar os métodos hoje em voga em diferentes empresas do ramo para auxiliar tal decisão, e apresentar uma proposta de procedimento para a previsão dos preços dos petróleos referenciais WTI e Brent.

1.3. AS FUNÇÕES DA LOGÍSTICA *INBOUND* NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

Na indústria do petróleo, o logístico *inbound* tem a seu cargo duas tarefas principais, como será visto a seguir. O primeiro objetivo é selecionar o tipo, ou a qualidade, do óleo desejado para processamento num dado momento, em função da configuração da refinaria e do perfil de produtos que se deseja obter no horizonte de tempo considerado. A isto se chama, na indústria do petróleo, a seleção do elenco de processamento, ou programação de abastecimento. A segunda função logística consiste em, uma vez selecionada a qualidade de óleo desejada, definir que tipos de crus serão efetivamente adquiridos e qual a vinculação de preços (Brent ou WTI) a utilizar. Esta é a função de comercialização, ou *trading*.

1.3.1. A função logística de seleção de elenco de processamento.

Esta função logística parte dos pressupostos de que existe um mercado de derivados de petróleo a ser atendido pela indústria, e de que tal indústria conta com uma ou mais plantas de refino com configurações bem definidas. Consiste em diferentes análises, entre as quais pode-se referir as que se seguem.

Preliminarmente, o logístico, na indústria do petróleo, deverá proceder a uma análise técnico-econômica de mercado: dado um perfil de demanda por diferentes derivados no mercado de atuação da empresa, deve-se determinar, em função das particularidades de configuração da refinaria, de sua capacidade de produção, das

rotas disponíveis de geração de produtos, da capacidade de armazenamento de cru e derivados e das demais restrições da planta industrial, qual o volume e o perfil de produtos a obter-se via refino de maneira econômica, e, em consequência, qual o volume e que tipo de derivados a adquirir-se de outros produtores (ou importar) e qual o volume e que tipo de derivados excedentes ao mercado a colocar-se em outras regiões consumidoras (ou exportar).

Uma vez obtido o perfil e o volume ótimos de produção de derivados, o logístico deverá ocupar-se então da seleção de óleos cujas qualidades permitam a consecução do plano ótimo de refino. Dada a existência, no mercado internacional, de centenas de tipos de crus diferentes, com qualidades e características físico-químicas diferenciadas entre si, será efetuada uma análise técnico-econômica dos óleos disponíveis no mercado, com foco no perfil de rendimento (“yield”) de cada cru ou grupo de crus de características similares, e levando-se em consideração seu preço absoluto em US\$/bbl. Nesta fase, o logístico está preocupado em selecionar óleos cuja qualidade e preço absoluto otimizem a operação de refino. Trata-se de uma atividade altamente complexa, que na indústria é em geral exercida por áreas, divisões ou setores com pessoal especializado e com longa experiência na atividade. No caso da Petrobras, a seleção de elenco de processamento é efetuada pela área de Planejamento Operacional, hierarquicamente enquadrada no Abastecimento – Logística e Planejamento (AB-LP). Esta função logística encontra-se fora do escopo da presente dissertação e é abordada meramente para efeito ilustrativo.

1.3.2. A função logística de comercialização.

Como procedimento habitual na indústria do petróleo, os resultados e conclusões obtidas no processo correspondente à função logística de seleção do elenco de processamento são usualmente submetidas à área comercial, ou de *trading*, responsável pela aquisição e suprimento de petróleo ao sistema de refino da empresa. Na estrutura organizacional da Petrobras, esta área é representada pelo Abastecimento – Marketing e Comercialização (AB-MC).

Ao logístico da área de comercialização, apresenta-se o problema de dados os volumes, os períodos de recebimento e as qualidades requeridas para o elenco de óleos para processamento, definir o programa de aquisição de petróleos para refino.

O fator básico que comanda a decisão de compra de óleos é uma consideração de ordem econômica, envolvendo os preços dos crus em oferta num determinado instante. Tendo-se em vista que, em princípio, qualquer óleo pode ter seu preço referenciado indiferentemente a Brent ou WTI (em que pese uma certa tendência tradicional de precificação), dependendo apenas de acordo prévio entre as partes em negociação, conclui-se que a previsão do comportamento das cotações destes marcadores, ou petróleos referenciais, assume relevante importância na determinação da economicidade da operação.

Assim sendo, o logístico *inbound* deverá, objetivamente, solucionar o problema de definir qual o óleo referencial que selecionará como padrão para a determinação do preço do cru que deverá adquirir. Sua missão consiste em otimizar o procedimento de compra de petróleo, minimizando os custos de aquisição de matéria prima para a função *midstream* da indústria do petróleo. Para tanto, o profissional deverá recorrer a algumas ferramentas, mais ou menos sofisticadas de acordo com a cultura e a estrutura da organização em que se insere, para tentar determinar a tendência de evolução dos preços no futuro, tanto do Brent como do WTI, num prazo variável de acordo com o horizonte da negociação: desde alguns dias à frente, no caso de uma operação spot realizada em base prompt, até um ano ou eventualmente mais, no caso de um contrato de aquisição de cru a longo prazo. Como visto em 1.2., a decisão adequada quanto ao referencial de preço a selecionar pode representar uma economia substancial nos custos de aquisição de matéria prima.

1.4. ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS – REVISÃO DA LITERATURA E O ESTADO DA ARTE.

O Capítulo 3, Análise de Séries Temporais, representa uma revisão geral da literatura no que diz respeito aos métodos científicos de previsão, suas características e adequação ao problema apresentado na presente dissertação. Neste capítulo, procedeu-se à análise dos métodos clássicos, tradicionais e avançados de previsão.

O estudo criterioso do problema da previsão de preços de petróleos, em seus aspectos práticos e teóricos, inicia-se com uma breve revisão histórica das técnicas de previsão e das séries temporais. É também abordado o contexto do complexo problema da previsão na Logística, cuja importância é devidamente destacada.

Ainda neste capítulo, discute-se a questão da viabilidade da modelagem de previsão de preços, no escopo dos pontos de vista desenvolvidos pela contraposição da análise técnica e da análise fundamentalista. Esta discussão fornece o embasamento teórico e científico de validação para o presente trabalho.

São revistos ainda os conceitos básicos e as diferentes características e aplicações dos métodos de previsão. Entre as técnicas tradicionais, são avaliadas a decomposição de séries temporais, as médias móveis, o amortecimento exponencial simples, o amortecimento exponencial linear e o amortecimento exponencial sazonal e linear de Holt-Winters.

No que tange aos métodos avançados clássicos, revisam-se os modelos auto-regressivos e de médias móveis (AR, MA e ARMA), os modelos auto-regressivos integrados de médias móveis (ARIMA), filtros de Kalman e AEP, modelos ARARMA de [PARZEN, 1991] e modelos ARMA multivariáveis (MARMA).

Entre as técnicas avançadas “de fronteira”, são analisados os modelos de regressão com erros ARIMA, a análise de intervenção, os modelos regressivos multivariados, os modelos de estado espacial e os modelos não-lineares, em particular o processo de modelagem de redes neurais, cujo estudo detalhado é efetuado no capítulo seguinte, justificando-se o método utilizado no presente trabalho para a previsão dos preços dos óleos referenciais Brent e WTI.

O estado da arte, visto ainda no Capítulo 3, é caracterizado pelas últimas pesquisas na área de previsão, em particular no que tange a previsão de preços. Para efeitos didáticos, o estabelecimento do estado da arte foi efetuado em três áreas em separado: modelos de regressão dinâmica (modelos de função de transferência), modelos de redes neurais e modelos avançados “de fronteira”, como os de regressão com erros ARIMA, análise de intervenção, modelos de estado espacial e modelos não-lineares de modo geral, entre os quais pode-se citar os modelos parcimoniosos de Tong, os modelos exponenciais auto-regressivos de Ozaki e os modelos ARCH.

De forma resumida, o problema que se apresenta é a previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent, cujo gráfico é apresentado na Figura 1.2.

1.5. A PREVISÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

No Capítulo 4 – Previsões na Indústria do Petróleo - , são tecidas considerações de natureza técnica, conceitual e teórica a respeito do problema específico da previsão de preços no âmbito da indústria do petróleo. Abordam-se os aspectos gerais do problema do ponto de vista logístico na indústria.

Como resultado de um trabalho de pesquisa desenvolvido desde 1995, dentro das atribuições formais do autor na Petrobras, apresenta-se uma análise detalhada de como diferentes corporações da indústria do petróleo abordam o problema da previsão dos preços dos petróleos em suas atividades cotidianas. É apresentada uma sistematização das técnicas empregadas por empresas como Repsol-YPF, Royal Dutch / Shell, Koch Industries, Erg Petroli S.p.A., Statoil Energy, Irving Petroleum Co. BP-Amoco Corporation, Northville Industries, Wolverine Enterprises, Atlantic-Richfiel Corporation (ARCO), Agip Petroli S.p.A., Chevron Corporation, PMI Comercio Internacional, S.A. de C.V., Getty Oil, TotalFinaElf e outras.

Também são considerados os processos normalmente utilizados por entidades acadêmicas vinculadas à indústria do petróleo e empresas independentes de consultoria e expertise, como PIRA (Petroleum Intelligence Research Association), CERA (Cambridge Energy Research Association), Solomon Brothers, Merrill Lynch, Bonner & Moore, Andersen Consulting, Oil & Gas Journal, Bloomberg International, OBG (Oil Buyer's Guide), Petroflash, Clarkson Research Studies e outras. No caso da Petrobras, é feita uma análise em profundidade da evolução das técnicas de previsão para preços de petróleos e derivados e do estágio atual do assunto.

O modelo de previsão desenvolvido na presente dissertação está, no presente momento, em plena utilização no órgão responsável pela previsão de preços no âmbito do Abastecimento – Marketing e Comercialização, a Unidade de Negócios MFE – Mercados Futuros de Energia. O modelo aqui desenvolvido não pretende suplantiar ou substituir os métodos atualmente utilizados pela Petrobras na previsão de preços de petróleos e derivados, e sim funcionar como ferramenta auxiliar, como um critério adicional de julgamento, combinado com os processos subjetivos e objetivos atualmente em uso.

No Capítulo 4 também é efetuada a análise crítica dos métodos de previsão aplicáveis ao caso em pauta, tanto do ponto de vista científico, avaliando-se as características e os prós e os contras de cada processo e sua adequação à modelagem

de problemas de previsão de preços de petróleo, como do ponto de vista técnico-empresarial, tomando-se como referencial a experiência e o *modus operandi* de um grupo seletivo de companhias da indústria. Conclui-se que a modelagem mais adequada para a solução do problema em tela, tanto do ponto de vista empresarial como do ponto de vista acadêmico, envolve o método de regressão linear dinâmica. O modelo de regressão linear dinâmica formulado é apresentado no Capítulo 5.

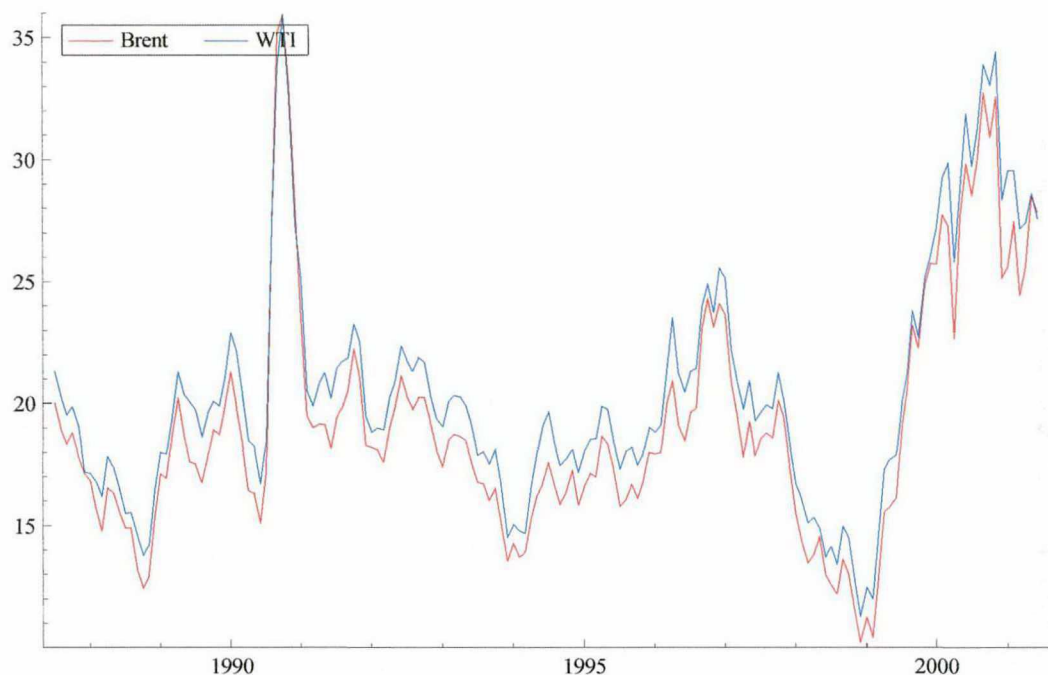


Figura 1.2. – Evolução dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent entre julho de 1987 e junho de 2001. Cotações médias mensais. Gráfico montado com o programa GiveWin®. Fonte: Petrobras, 2001.

1.6. FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA.

Na área de previsão, há dois enfoques bem distintos entre si, o enfoque fundamentalista (ou explanatório) e o enfoque técnico, ou de séries históricas.

O enfoque fundamentalista (característico da análise explanatória) parte da premissa de que os valores futuros de uma determinada variável dependem de um

ambiente de outras variáveis que afetam o comportamento daquela sob estudo. Assim, se chamarmos de P o preço de um petróleo em particular, por exemplo, o WTI, o enfoque fundamentalista levaria à afirmação de que um determinado valor futuro de P depende de uma série de valores atuais de um elenco de parâmetros passíveis de afetar P , como, por exemplo, parâmetros característicos da indústria internacional do petróleo como um todo, variáveis macroeconômicas, variáveis relativas às fontes alternativas de energia, e assim por diante. Poder-se-ia, portanto escrever, num enfoque fundamentalista:

$P = f$ (*parâmetros da indústria internacional do petróleo; parâmetros macroeconômicos mundiais; parâmetros relativos às fontes alternativas de energia, como gás natural, carvão, hidroeletricidade, energia nuclear; erro*). (Equação 1.1)

O erro indicado acima corresponde à precisão da previsão, ou seja, como nenhuma previsão é perfeita, a diferença do valor previsto para o valor real, num determinado modelo, ou seja, o erro, corresponde à parcela não modelada.

Por outro lado, o enfoque técnico (vinculado às séries históricas de dados) defende a teoria de que não é necessário compreender o fenômeno nem conhecer seu ambiente para gerar previsões adequadas; basta conhecer o comportamento da variável no tempo. O fenômeno em estudo, de per si, pode ser tratado como uma caixa preta. Neste caso, seria lícito redigir:

$$P_{t+1} = f(P_t; P_{t-1}; P_{t-2}; P_{t-3}; \dots; erro) \quad (\text{Equação 1.2})$$

Sendo P_{t+1} o valor futuro que se pretende prever e $P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, \dots$ os valores anteriores no tempo da mesma variável preço.

Os defensores do enfoque técnico afirmam que não é necessário conhecer-se o mecanismo de funcionamento de um dado fenômeno para poder prever seu comportamento no futuro. Como exemplo, oferecem a questão da previsão do aparecimento das manchas solares. Desde o Século XVIII, quando foram descobertas, as manchas solares atraíram a atenção dos homens de ciência. Muito embora, na época, pouco ou nada se soubesse quanto à origem, causa e mecânica de formação das manchas solares, diversos cientistas debruçaram-se sobre o tema, buscando descobrir um padrão de comportamento no surgimento do fenômeno, de tal modo que fosse possível prever-se com razoável grau de precisão o seu aparecimento. Schuster (1906), e outros após ele, lograram determinar um padrão de

comportamento cíclico no tempo capaz de permitir previsões confiáveis e seguras, apesar de o fenômeno não ser ainda compreendido em suas causas.

Ver-se-á, no desenvolvimento da presente dissertação, que o método utilizado para a previsão de preço dos óleos referenciais Brent e WTI está baseado no processo da regressão dinâmica, que combina os dois enfoques, técnico e fundamentalista, na medida em que se baseia no estudo não apenas das séries históricas das variáveis endógenas, senão também na análise do comportamento de outras variáveis, ditas exógenas, que são supostas afetar o comportamento dos parâmetros explicados [MAKRIDAKIS, 1998]. Em outras palavras, as equações 1.1 e 1.2 são combinadas, de tal sorte que P_{t+1} será função não apenas de seus valores anteriores, mas também dos valores de séries históricas de outras variáveis que supostamente interferem no comportamento de P .

O detalhamento do processo de construção do modelo de regressão dinâmica para previsão de preços dos óleos referenciais Brent e WTI é o objeto do Capítulo 5.

Os modelos de função de transferência, regressão dinâmica ou períodos distribuídos (*distributed lags*) são chamados modelos multivariados, por considerarem a existência de outras séries temporais que pode influenciar, ou explicar, o comportamento da série específica sob análise. Tais modelos foram discutidos detalhadamente por Maddala (1977), [FOMBY, 1998], [HILL, 1984] e [JOHNSON, 2001] em 1984, Judge, [GRIFFITH, 1995], [HILL, 2000], Lütkepohl & [LEE, 1999] em 1985, e [PANKRATZ, 1991], entre outros pesquisadores. Em sua forma mais simples, tal modelo pode ser apresentado como segue. Suponha-se a existência de uma variável dependente Y e uma variável independente, ou explanatória, X , sendo ambas medidas ao longo do tempo. Alguns autores denominam a variável dependente de endógena, e a variável independente, ou explanatória, de exógena. O modo mais simples de descrever o relacionamento entre ambas as variáveis seria através de uma relação linear:

$$Y_t = a + \nu(B)X_t + N_t \quad (\text{Equação 1.3})$$

Na Equação 1.3, Y_t é o valor da variável dependente Y no tempo t , expresso como função de uma constante a , de uma função de transferência $\nu(B)$, da variável independente no tempo t (X_t), e de N_t , que pode representar um processo ARIMA ou ruído branco. Assim, o valor da variável dependente no tempo t é expresso como

uma função linear de X calculada nos tempos $t, t-1, t-2$, etc. Então, a variável dependente é uma função linear de X , e X é deslocado por 1, 2, etc. períodos de tempo. Os pesos podem ser considerados como parâmetros de inclinação. A Equação 1.3 pode ser considerada como um caso particular da equação geral de regressão linear. Se os pesos aplicados aos períodos de tempo deslocados são estatisticamente significativos, pode-se concluir que a variável Y é prevista (ou explicada) através de seu respectivo deslocamento no tempo.

O modelo pode incluir não apenas a variável explicativa X_t , mas também os valores anteriores da variável explicativa, como $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}$. Assim, pode-se redigir o modelo como:

$$Y_t = a + v_0 X_t + v_1 X_{t-1} + v_2 X_{t-2} + \dots + v_k X_{t-k} + N_t \quad (\text{Equação 1.4})$$

onde N_t é um processo ARIMA. Tais modelos surgem da observação prática de que eventualmente o efeito de uma variável explanatória X_t não aparece na variável explicada Y_t instantaneamente, mas se distribui ao longo de vários períodos de tempo. Alguns exemplos explicam melhor: o efeito das chuvas sobre o volume dos cursos de água não é imediato; leva algum tempo até que a chuva se incorpore ao fluxo de água e o aumente. O efeito de uma campanha publicitária não acontece imediatamente na venda do produto e dura algum tempo até depois de terminada a campanha. O efeito de um novo alimento sobre o desenvolvimento do rebanho será necessariamente distribuído no tempo.

A Equação 1.4 pode ser escrita como:

$$Y_t = a + \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_{t-b} + N_t \quad (\text{Equação 1.5})$$

Esta equação pode ser escrita de diversas formas diferentes. Nesta forma, $\nu(B)$, sendo $\nu(B) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)}$, é chamada *função de transferência*, uma vez que descreve como uma mudança em X_t é transferida para Y_t . O modelo de função de transferência, ou regressão dinâmica, é o modelo utilizado no presente trabalho para previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent.

No caso objeto do presente estudo, uma modelagem de regressão dinâmica foi considerada, entre os métodos lineares, como a mais adequada para explicar a

progressão dos preços de petróleo, em termos de sua relação custo / benefício, ou seja, da precisão obtida versus a complexidade do modelo.

O modelo de regressão dinâmica, estendido para a análise da influência de diversas outras variáveis, pode ser expresso pela equação:

$$Y_t = a + \sum_{i=1}^m \frac{B^{b_i} w_i(B)}{\delta_i(B)} X_{i,t} + N_t \quad (\text{Equação 1.6})$$

onde:

$$w_i(B) = w_{i,0} - w_{i,1}B - \dots - w_{i,s_i} B^{s_i} \quad (\text{Equação 1.7})$$

$$\delta_i(B) = 1 - \delta_{i,1}B - \dots - \delta_{i,r_i} B^{r_i} \quad (\text{Equação 1.8})$$

e N_t é um processo ARIMA.

Na modelagem do problema e nos testes subsequentes de aderência dos diversos modelos formulados, foram utilizados os programas Statistica®, para a análise pelos métodos clássicos e determinação de estatísticas mais simples quanto à questão em tela, e OxWin®, GiveWin®, PC-Give® e PC-Fiml® para a formulação e estimação do sistema e do modelo de regressão dinâmica, utilizando os métodos de estimação FIML (Full Information Maximum Likelihood) e RFIML (Recursive FIML), além dos testes adequados do modelo (Durbin-Watson, correlogramas, variogramas, Box-Ljung) e de aderência pelo AIC (Critério de Informação de Akaike) e pelo U de Theil. O processo de modelagem encontra-se descrito no Capítulo 5.

Inicialmente, após uma análise qualitativa do problema, foram selecionadas 25 variáveis exógenas, havendo três variáveis endógenas: o preço do WTI, o preço do Brent e o valor do spread WTI menos Brent. Naturalmente, a modelagem é feita para a previsão dos preços dos óleos WTI e Brent; a previsão do spread é decorrente. No Capítulo 5, cada uma das variáveis será analisada de forma mais detalhada.

As variáveis exógenas foram divididas em três grupos, de acordo com sua natureza, a saber:

Variáveis inerentes à indústria do petróleo: Produção mundial de petróleo, Consumo mundial de petróleo, Reservas mundiais provadas de óleo, Capacidade mundial de refino instalada, Throughput das refinarias mundiais.

Variáveis relativas à economia global em termos gerais (variáveis macroeconômicas): Inflação, Produto Interno Bruto dos EUA, Produto Industrial Bruto dos EUA, Produto Interno Bruto da CEE, Produto Interno Bruto do Japão, Produto Interno Bruto da OECD, Vendas de Veículos, Produção de Veículos.

Variáveis referentes a fontes alternativas de energia:

Gás Natural: Produção Mundial de Gás Natural, em milhões de toe (toneladas de óleo equivalente) anuais, do Consumo Mundial de Gás Natural, em milhões de toe anuais, o Preço do Gás Natural nos EUA, em dólares norte-americanos por toe, e o preço do Gás Natural na Europa e no Japão, nas mesmas unidades.

Carvão: Produção Mundial de Carvão, o Consumo Mundial de Carvão e o Preço do Carvão nos EUA, Europa e Japão.

Energia Nuclear: Consumo Mundial, em milhões de toe (toneladas de óleo equivalente) anuais.

Energia Hidrelétrica: Consumo Mundial, em milhões de toe (toneladas de óleo equivalente) anuais.

As variáveis acima listadas serão analisadas em maior profundidade no Capítulo 5, seções 5.2.1 a 5.2.4.

Alguns dos parâmetros acima relacionados, como o Produto Interno Bruto dos EUA e o Produto Industrial Bruto dos EUA, ou a Produção de Veículos e a Venda de Veículos, guardam entre si relações de multicolinearidade, como será visto no Capítulo 5.

Os processos de formulação e estimação do sistema e do modelo de regressão dinâmica são detalhados no Capítulo 5, sendo apresentado o modelo encontrado e tecidas considerações quanto às suas características, aplicabilidade e limitações.

1.7. CONCLUSÕES.

Uma vez estabelecido o modelo de regressão dinâmica considerado mais adequado para a resolução do problema em tela, qual seja a previsão dos preços dos óleos “benchmark” WTI e Brent (o que é desenvolvido ao longo do Capítulo 5), trata o Capítulo 6 das conclusões obtidas da formulação do sistema e do modelo de função de transferência, e das recomendações julgadas convenientes formular quanto à

utilização, na prática empresarial, da ferramenta de previsão construída, em particular no que tange ao caso específico da Petrobras.

Para o estabelecimento da ferramenta de previsão apresentada no presente trabalho, foi devidamente analisada a literatura correspondente na área de forecasting, e estudado o estado da arte nas técnicas e modelagens de previsão. Este enfoque corresponde ao enfoque acadêmico, ou científico, da presente dissertação.

Por outro lado, também foi pesquisado o que se pratica hoje em dia em várias empresas da indústria do petróleo em termos de previsão de preços de petróleos. Tal pesquisa realizou-se da maneira mais ampla e abrangente possível, envolvendo empresas de portes diferentes, com campos de atuação diversos, variadas estruturas, interesses e níveis de participação na cadeia logística da indústria.

Logrou-se, portanto, uma combinação dos métodos de previsão mais recomendados pela literatura técnico-científica disponível, dada a natureza do problema a resolver, com os processos comumente utilizados na prática empresarial de companhias representativas do universo de corporações da indústria do petróleo. Com isto, concluiu-se que a modelagem de previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent poderia ser realizada por um método linear, no caso o método de regressão dinâmica, ou função de transferência.

Devem ser também claramente definidos o escopo, a aplicabilidade e as limitações do modelo formulado.

A finalidade é obter previsões no curto e médio prazo das cotações dos óleos “benchmarking” WTI e Brent, e, recorrentemente, o valor do spread entre estes crus.

Os limites de aplicabilidade vão desde um horizonte curto (um mês à frente) até um limite de dois anos. Embora as previsões do modelo possam ser extrapoladas para um horizonte além de dois anos, variáveis de intervenção na indústria do petróleo e no cenário econômico mundial podem reduzir sensivelmente a confiabilidade da previsão para um horizonte mais longo.

Finalmente, há que se considerar que, de acordo com a prática na indústria do petróleo, as previsões fornecidas pela ferramenta de regressão dinâmica são sempre cotejadas com a experiência do planejador e do logístico inbound, que tecem um cenário subjetivo do panorama de preços de petróleo, e, portanto, a previsão quantitativa, objetiva, será utilizada na prática dentro de um contexto mais amplo, no qual fatores quantitativos se fazem presentes.

CAPÍTULO 2

A LOGÍSTICA NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

Um dos exemplos mais completos e abrangentes de complexidade logística no mundo empresarial é fornecido pela estrutura da indústria do petróleo [ECONOMIDES, 2000], [KLEINER, 2000]. Para se ter uma noção de tal complexidade, basta considerar-se o trajeto realizado por uma molécula de óleo desde o poço produtor até o usuário final do derivado, além de todas as operações necessárias para viabilizar a disponibilidade física do petróleo e das atividades acessórias e complementares presentes na cadeia logística. Para os fins colimados pela presente dissertação, e dada a vastidão e profundidade do assunto, maior interesse estará focalizado nos processos logísticos de aquisição da matéria prima, ou seja, na Logística *Inbound* da indústria do petróleo, segundo o conceito de [LAMBERT, 1998]. Iniciar-se-á este capítulo, entretanto, com uma visão geral da questão, para melhor entendimento do problema que se apresenta ao logístico quando da decisão quanto à compra de petróleo. A Figura 2.1. auxilia a compreensão do processo em sua totalidade, enquanto a Figura 2.2. mostra o inter-relacionamento entre os diversos elementos integrantes da cadeia logística globalizada da indústria.

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.

Foge ao escopo do presente trabalho uma descrição razoavelmente completa do *supply chain* na indústria internacional do petróleo e derivados. Este capítulo tem por objetivo apresentar, em linhas gerais, os aspectos principais e mais relevantes da cadeia logística da indústria do petróleo, com enfoque particular no midstream, de modo a auxiliar na compreensão global do problema que se pretende equacionar e resolver, qual seja a previsão das cotações dos óleos referenciais WTI e Brent.

2.2. VISÃO GERAL DA CADEIA DE SUPRIMENTO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

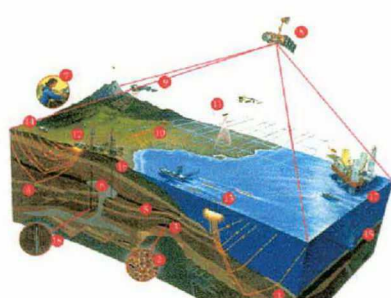
O objetivo fundamental da indústria do petróleo é a oferta de produtos derivados do petróleo ao mercado consumidor. Para assegurar o cumprimento de tal objetivo, faz-se necessário o estabelecimento de uma longa e complexa cadeia logística.

Tradicionalmente, o *supply chain* da indústria do petróleo [ECONOMIDES, 2000] é dividido em três grandes segmentos: a Exploração & Produção (E&P), também conhecido como segmento *upstream*; a Distribuição de Produtos, mais comumente referenciada como segmento *downstream*; e, atuando como elo intermediário entre as duas grandes áreas citadas, situa-se o Refino. A própria nomenclatura em inglês já ilustra a imagem de uma cadeia logística, de um fluxo físico de matérias primas e produtos, que, como uma corrente, origina-se na E&P, percorre a etapa do Refino e deságua no *downstream*, o atendimento propriamente dito ao mercado.

A abrangência da participação de uma empresa de petróleo é definida em termos de seu nível de atuação nas funções e atividades ao longo do *supply chain*. São ditas companhias integradas aquelas que se envolvem na cadeia logística da indústria desde o E&P até a distribuição, ou, como se diz no jargão técnico, “do poço ao posto”. Em função das necessidades de economia de escala numa indústria que envolve investimentos tão elevados, e seguindo a recente tendência de fusões e aquisições entre companhias do setor, na esteira dos fenômenos de globalização, surgem hoje em dia numerosos exemplos de companhias integradas: Royal Dutch Shell, Exxon-Mobil Corporation, Elf-Aquitaine, BP-Amoco, Repsol-YPF, Agip Petroli, Chevron Co., Atlantic Richfield Co., e muitas outras.

Cada um dos três grandes segmentos, ou elos, da cadeia logística na indústria do petróleo, apresenta características bem definidas, estruturas particulares e funções específicas destacadas das demais áreas.

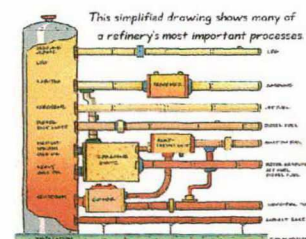
A área de E&P tem como escopo a disponibilização de petróleo em condições de ser processado em refinarias, e abrange atividades que vão desde a localização e avaliação de jazidas de óleo até o transporte da matéria prima e o armazenamento final para expedição às refinarias, passando pelas etapas de perfuração, exploração e produção de petróleo. Esta área é intensiva em capital, dado que os investimentos para a obtenção de óleo são extremamente vultosos, e configura uma indústria extrativista.



**Exploração e Produção
(E&P)**



**Logística de
Transporte de
Matéria-Prima**



Refino (Processamento)



**Logística de Transporte de
Produtos (Distribuição)**

*Figura 2.1. Cadeia logística simplificada da indústria do petróleo.
Fonte: Chevron Learning Center, 2000.*

O segmento do Refino opera como um setor industrial de transformação. Basicamente o Refino consiste no conjunto de operações através das quais a matéria prima, os diversos tipos de petróleos processados, são transformados em produtos com utilização específica, como gasolinas, óleo Diesel, GLP, querosenes, óleos combustíveis, óleos lubrificantes, e mais uma vasta gama de derivados.

Por seu turno, a Distribuição, ou segmento *downstream*, ocupa-se das tarefas logísticas necessárias para transportar fisicamente os produtos desde a refinaria até os pontos de consumo em que o cliente final irá dele suprir-se.

Dependendo de onde esteja armazenado o petróleo e da localização da refinaria na qual será processado, uma extensa e complexa malha de transportes pode

ser estabelecida, utilizando muitos modais diversos. No caso mais geral, o óleo será conduzido à refinaria por via marítima, lacustre, fluvial ou dutoviária.

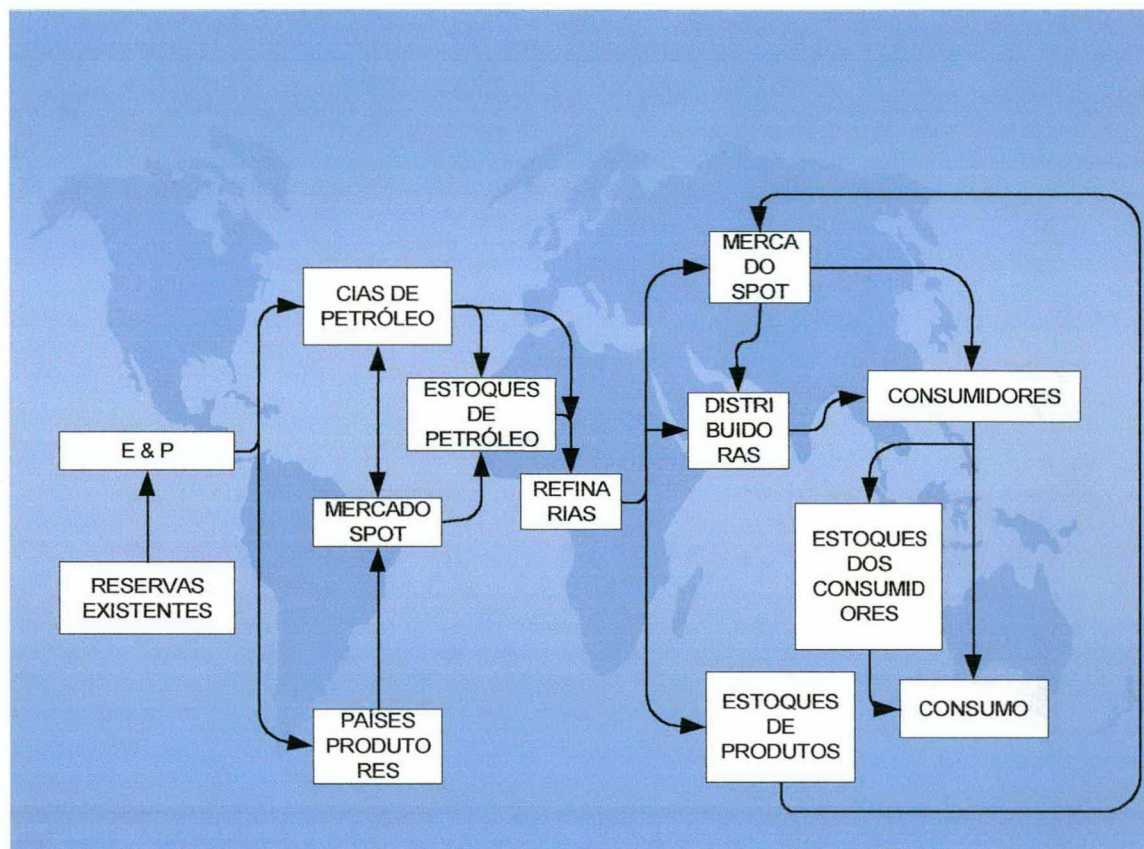


Figura 2.2. – O inter-relacionamento na cadeia logística globalizada da indústria do petróleo.

Fonte: [COLITTI, 1995]

A distribuição de produtos ao consumidor final utiliza normalmente todos os modais acima citados e ainda pode vir a ser realizada por via ferroviária ou rodoviária. Este segmento corresponde ao centro nervoso da indústria do petróleo [VAN DER LINDE, 1999], uma vez que, em toda a estrutura logística, representa o elo mais em contato com o consumidor final.

Ver-se-á a seguir de modo um pouco mais detalhado as funções e características de cada um dos grandes segmentos da indústria.

2.3. O SEGMENTO *UPSTREAM*.

A área de E&P compreende a totalidade das atividades necessárias à extração do petróleo e à sua disponibilização para o processo de refino. Admite [BECK, 1999] as subdivisões relativas à prospecção (ou exploração), perfuração e produção de óleos, que representam etapas sucessivas.

A prospecção envolve elevados investimentos e é realizada através de técnicas geológicas e geofísicas avançadas, através das quais se torna possível mapear determinadas áreas e indicar o grau de probabilidade de encontrar-se uma formação de petróleo com envergadura comercial. Devido ao fato de constituir-se num ramo extremamente específico, intensivo em alta tecnologia, a função de prospecção conta, para o seu desempenho na indústria, com inúmeras empresas especializadas e dedicadas com exclusividade a tais atividades, a maioria delas com alcance internacional, como por exemplo PetroDynamics, Ødegaard, Collarini Engineering, GeoTech, Bell Geospace e ExploSERVICE, entre muitas outras.

Uma vez efetuada a prospecção geológica, geofísica e petrológica da área de interesse, são determinados, numa criteriosa e exaustiva análise, os locais de maior probabilidade de ocorrência de óleo, ou locais que, no linguajar específico, apresentam maior “possança” [YERGIN, 1999]. A partir deste momento, inicia-se a fase de perfuração propriamente dita, através da abertura de poços exploratórios, ou pioneiros, que irão fornecer informação adicional e delimitar as fronteiras das áreas efetivamente produtivas.

A etapa de perfuração envolve também considerável investimento na indústria do petróleo, além do mais se considerar que, do total de poços exploratórios perfurados, apenas 18%, numa média em escala mundial, realmente atingem uma produção comercial de óleo ou gás [HANNESSON, 1998]. A tecnologia empregada é de última geração e existem também empresas especializadas nestas atividades, como a Schlumberger International.

Cumpridas as etapas já mencionadas, e em se confirmando a presença de óleo através dos poços exploratórios, atinge-se a fase de produção de petróleo e / ou gás, na qual são perfurados os poços de produção e estabelecida toda a infra-estrutura necessária a disponibilização do óleo para uso: equipamento de revestimento de poço, unidades de bombeio do óleo, estruturas para efetiva produção de cru, linhas

de dutos, utilidades, parque de armazenagem do petróleo e outros sistemas igualmente importantes para a atividade. No caso de exploração *offshore*, como no Mar do Norte, no Golfo Americano, na plataforma continental de Angola ou na Bacia de Campos, para citar apenas alguns poucos exemplos, esta fase inclui ainda a instalação e o posicionamento das plataformas de produção e todo o seu equipamento associado.

Como produto final de toda a atividade de E&P, ter-se-á o petróleo bruto armazenado, em condições logísticas de ser expedido para uma refinaria, onde será objeto de processamento.

No entanto, o segmento de E&P disponibiliza a matéria-prima, o óleo, que vem a ser um material de baixo valor agregado. Segundo [ECONOMIDES, 2000], o petróleo, como em geral a maioria das *commodities* e das matérias-primas, apresenta um valor intrínseco relativamente baixo quando cotejado com os investimentos globais demandados pela indústria. Com efeito, o óleo cru praticamente não tem valor por si mesmo, e sim pelos derivados que pode gerar quando submetido aos processos usuais de refino.

Devido a esta condição, as companhias de petróleo, mesmo aquelas voltadas especificamente para a produção de crus, sempre agregam à sua cadeia logística pelo menos o segmento de refino. Exemplos disto são os países exportadores de óleo, como Arábia Saudita, Irã, Nigéria, Venezuela, entre vários outros. Suas companhias nacionais, respectivamente Saudi Aramco, IOC, NNPC e PDVSA, preocupam-se em explorar e produzir óleo, mas agregam um parque de refino que, no caso mais geral, atende apenas à demanda interna do país. O que ocorre, neste caso, é uma produção de óleo bruto muito superior à capacidade de refino instalada; com isto, o excedente não processável de crus é normalmente exportado. Porém, tais companhias conseguem atender pelo menos a parte da demanda doméstica com produtos gerados no próprio país.

Destarte, observa-se que a cadeia logística de uma empresa de petróleo muito raramente (exceto em casos extremamente específicos de companhias especializadas em E&P, como a já citada Schlumberger International) termina no segmento de Exploração e Produção. Para agregar valor à atividade econômica, no caso mais geral o segmento de Refino é também acoplado ao *supply chain*.

Na próxima seção será fornecida uma visão geral e resumida do segundo elo da cadeia logística da indústria do petróleo, o segmento de Refino.

2.4. O SEGMENTO DE REFINO (MIDSTREAM).

Elo central da cadeia de abastecimento da indústria do petróleo, o segmento de refino constitui o núcleo de transformação por excelência na estrutura logística das companhias integrantes do setor. Em essência, o processo de refino consiste no conjunto integrado de processos, tratamentos e reações físico-químicas pelos quais o óleo cru é transformado quimicamente em derivados com especificações bem caracterizadas e adequados a finalidades específicas [KLEINER, 2000]. A figura 2.2 ilustra de forma esquemática, e extremamente simplificada, o refino de petróleo.

Através de processos que serão vistos em maior detalhe na seção 2.6., o petróleo bruto é transferido das proximidades das áreas de produção até o parque de armazenamento de cru da planta de refino. O óleo é então submetido a tratamentos preliminares, como decantação (para sedimentação de resíduos sólidos e separação da água emulsionada com o petróleo), dessalgação (redução do teor de sal, substância nociva aos equipamentos de refino), diluição com outros tipos de óleo para ajustar características físico-químicas como viscosidade e fluidez, e outros tratamentos menos genéricos, que eventualmente são necessários para adequação da qualidade do cru ao tipo específico de equipamento de refino.

O processamento propriamente dito do petróleo é realizado em unidades de refinação específicas para cada finalidade, e em diferentes seqüências de processos, de acordo com o objetivo que se almeja; em geral, ao conjunto de unidades de refino e de processos utilizados em cada planta industrial se denomina *configuração* da refinaria [KLEINER, 2000].

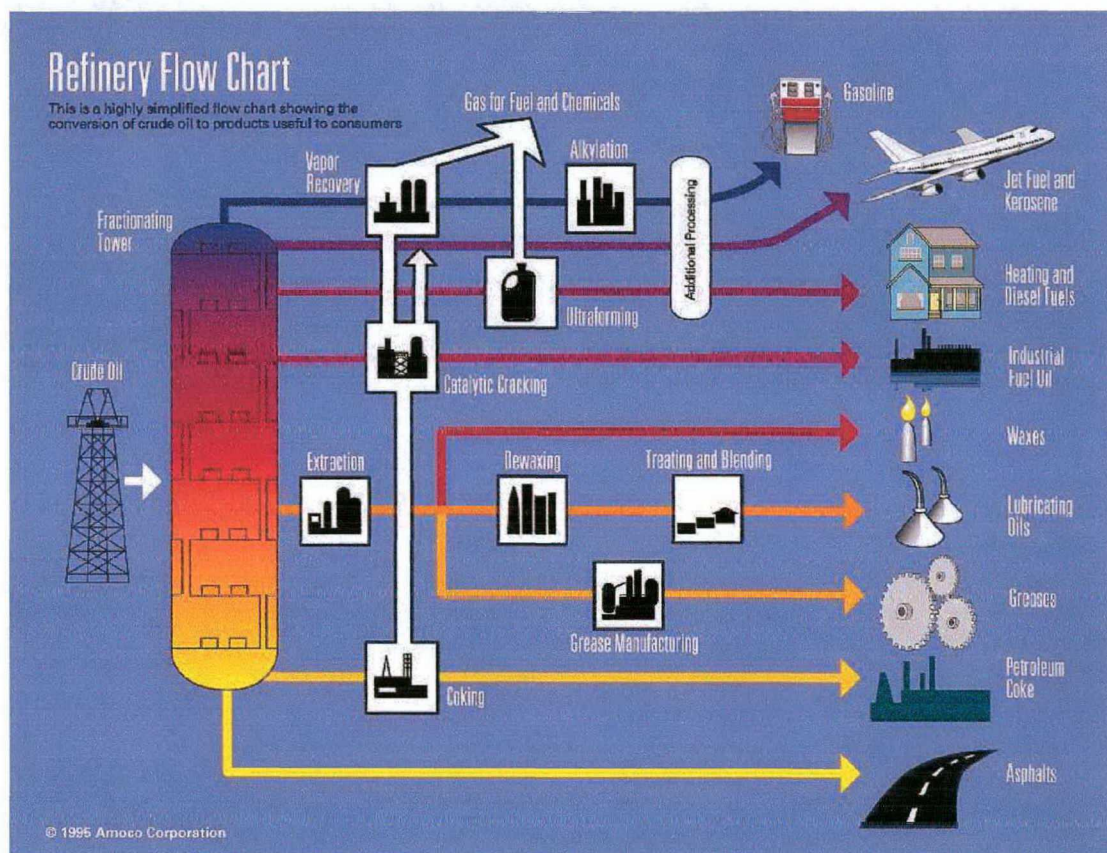


Figura 2.3 – Esquema simplificado do processo de refino de petróleo bruto.

Fonte: BP-Amoco Corporation, 1995.

Numa seqüência típica e extremamente simplificada, em geral, o petróleo previamente tratado é primeiramente submetido a uma destilação à pressão atmosférica, numa unidade conhecida como torre de destilação atmosférica, onde, por efeito do aquecimento da matéria-prima, obtém-se então a separação do óleo em diferentes frações, entre leves (GLP, gás de refinaria, gasolina, nafta), médias (óleo Diesel, querosenes, gasóleo leve) e pesadas (gasóleo pesado, resíduo da destilação atmosférica ou RAT). As frações pesadas e algumas médias são usualmente submetidas a uma segunda destilação, a vácuo, na torre de destilação a vácuo, gerando então mais frações de média e alta densidade. Uma combinação de diferentes frações, ou correntes, é então submetida ao processo de craqueamento catalítico em leito fluidizado na unidade de FCC (*fluid catalytic cracker*), que, por meio da quebra de moléculas de alta densidade presentes na *carga*, ou material

processado na unidade, gera produtos leves, de maior valor agregado, como GLP, gasolina e óleo Diesel.

O resíduo da unidade de FCC, após diluído e enquadrado nas especificações de qualidade requeridas, transforma-se em óleos combustíveis, asfalto e outros derivados pesados. As frações mais leves, obtidas a partir das etapas anteriores (destilação atmosférica e a vácuo), são submetidas a tratamentos em outras unidades (como por exemplo, as unidades de hidrodessulfurização, alquilação, reforma catalítica, coqueamento retardado, tratamento Merox, tratamento Bender, e muitas outras) com a finalidade de se adequarem ao conjunto de requisitos qualitativos a que o produto deve, por força de legislação, atender. Com isto ficam especificados derivados de petróleo passíveis de entrega ao consumidor final, com valor comercial para o consumidor final.

Dependendo do elenco de petróleos processados e da configuração da refinaria, esta pode ser projetada para priorizar a produção de alguns derivados especiais, como óleos lubrificantes, solventes, materiais betuminosos ou produtos ditos especiais, como parafinas, coque de petróleo e outros. No caso mais geral, porém, os produtos buscados pelos refinadores são os derivados combustíveis, como GLP, gasolina, nafta, óleo Diesel, querosenes e óleos combustíveis, cujo volume de demanda, por parte do mercado, é muito superior ao dos produtos especiais.

Como produto final de todo o segmento de refino, ter-se-á a disponibilidade de um vasto elenco de derivados de petróleo, devidamente enquadrados nos requisitos de qualidade definidos pelas especificações, armazenados em tanques segregados na área de expedição da refinaria, e em condições de transporte até o consumidor final.

Tendo-se em vista que o elo logístico correspondente ao refino agrega considerável valor ao produto (considerando-se que o custo dos insumos no processo, como matéria-prima, catalisadores, equipamentos, mão-de-obra, retorno sobre os investimentos, e outros, representa um montante sensivelmente inferior à receita representada pela comercialização dos derivados obtidos), a indústria do petróleo é pródiga em exemplos de empresas que operam no segmento de refino: Irving Petroleum, Lyondell, Kerr-McGee, Husky Oil, Sun Oil Refining & Marketing, Northville Industries, Paramount Petroleum, Marathon Oil, Lone Star Oil Co., Fletcher Oil, Ferrell Petroleum, Epsilon Products Co., Derby Refining, para citar

apenas algumas poucas organizações norte-americanas num universo de centenas de companhias atuando em todo o mundo.

2.5. O SEGMENTO *DOWNSTREAM*.

A realização das operações concernentes ao segmento de refino torna disponíveis, na área de armazenamento de produtos acabados da refinaria, um amplo elenco de derivados, prontos para o transporte até locais onde permaneçam ao alcance do consumidor final. Deste transporte, ou seja, dos processos pelos quais os derivados de petróleo são transportados desde o local da produção, a refinaria, até o consumidor final, ocupa-se o segmento da distribuição, ou *downstream*, na indústria do petróleo.

Trata-se de um complexo conjunto de operações, de uma cadeia logística extensa e densa, nas quais intervém um grande número de agentes logísticos e emprega-se a multimodalidade nos transportes. De um modo geral, a ação de fazer o produto em base ex-refinaria chegar ao cliente final exige o emprego de uma malha logística extremamente complexa, por uma série de motivos: o cliente deseja ter o acesso mais rápido e simples possível ao produto; as quantidades de derivados devem ser progressivamente fracionadas ao longo da cadeia de abastecimento, o próprio transporte é regido em todo o mundo por legislações especiais que focam o deslocamento e manuseio de produtos perigosos e inflamáveis.

Em função de tais requisitos, os derivados de petróleo, a partir da refinaria produtora, fluem progressivamente através de um canal de distribuição que envolve bases primárias e secundárias de armazenamento, até os postos de serviço. Esta, entretanto, se é uma regra que se aplica ao *downstream*, por exemplo, da gasolina, não vem a ser uma regra geral, uma vez que a cadeia de suprimento estabelecida depende do produto considerado.

Considere-se, por exemplo, a comercialização de derivados de uso industrial, como a nafta petroquímica ou óleos combustíveis. Neste caso, o volume comercializado por lote é expressivo, e o produto é transportado da refinaria ao cliente através de dutos (*pipelines*) ou por via marítima, ou, ainda, por via ferroviária.

Porém, no caso de produtos destinados a clientes pessoas físicas, como GLP (nos países em desenvolvimento), gasolina, óleo Diesel, querosene iluminante (ainda

nos países em desenvolvimento) e outros, a logística de entrega se torna mais complexa. De modo geral, o produto é transferido da refinaria para grandes bases de distribuição, parques de tancagem que recebem o derivado por via dutoviária ou marítima. Daí, segue para bases menores, ou secundárias, pelos modais já citados e ainda pelo ferroviário. A característica da base secundária de distribuição é operar com uma gama relativamente ampla de produtos e dispor de flexibilidade logística para efetuar com rapidez e confiabilidade o carregamento de caminhões-tanque.

Da base secundária, os produtos de petróleo são transferidos para o posto de serviço (no caso de gasolina e óleo Diesel automotivo) por via rodoviária, e estarão, conseqüentemente, disponíveis ao cliente final.

Em se tratando de outros produtos que normalmente não são vendidos como granéis líquidos, como GLP, óleos lubrificantes e querosene iluminante, ocorre um estágio intermediário, no qual o produto é devidamente embalado em botijões, latas ou embalagens plásticas, e então enviado ao posto de serviço ou ao centro de distribuição ao consumidor.

Para os produtos especiais, a logística é um tanto diversa. A matéria-prima básica, como parafinas, vaselinas, graxas, solventes e outras, é normalmente remetida a uma unidade industrial de processamento, que prepara e transforma o derivado de petróleo num produto de uso comercial, embalando-o e distribuindo-o para lojas especializadas.

De um modo geral, foi apresentado um esquema extremamente resumido da operação logística de distribuição dos produtos de petróleo, apenas para o entendimento geral do escopo do presente trabalho. Cumpre observar ainda que, se por um lado o segmento *upstream* envolve elevados investimentos e gera um produto de relativamente baixo valor agregado, o petróleo bruto, o refino, por seu turno, transforma o óleo em derivados de muito mais alto valor. Mas estes derivados dispõem de um valor na refinaria, e outro, bem mais alto, quando à disposição do consumidor. O segmento *downstream*, portanto, agrega considerável parcela de valor ao produto, que vem a ser o *time and place value*, segundo [LAMBERT, 1998].

Devido ao relativamente elevado valor de mercado agregado aos produtos ao longo da cadeia logística entre a saída do processo de refino e a disponibilização do derivado ao consumidor final, é comum a existência de empresas que atuam exclusivamente na área *downstream* da indústria do petróleo, sem participar do

segmento de refino. No Brasil, esta situação é particularmente bem caracterizada; diversas distribuidoras de combustíveis atuantes no mercado nacional, como Shell, Esso, Texaco/Atlantic e a própria BR (Petrobras Distribuidora, controlada pela *holding* Petrobras) operam no canal logístico situado a partir da distribuição primária e a jusante desta, rumo ao consumidor final. Por outro lado, algumas empresas distribuidoras de menor porte, como São Paulo, Sabbá, Total e outras, operam como intermediários no canal *downstream*, segundo a conceituação de [LAMBERT, 1998], detendo a propriedade de tancagens de pequeno porte, recebendo combustíveis das distribuidoras primárias e transferindo-os para os postos de serviço em suas áreas ou regiões de influência. Na América do Norte, os distribuidores primários são conhecidos como *jobbers*, e os distribuidores secundários, como *distributors*.

Entretanto, dado que o segmento de refino, elo intermediário na cadeia logística da indústria do petróleo, representa um meio e não um fim em si são também comuns os exemplos de companhias que atuam em ambas as etapas, refino e *downstream*, em série. Buscam tais companhias agregar não apenas a margem de lucro no processamento do petróleo, mas ainda as margens de comercialização do produto ao consumidor final. Se por um lado este tipo de atividade é mais lucrativo, globalmente considerado, por outro exige investimentos muito superiores e uma estrutura logística bem mais sofisticada, o que explica porque nem todas as empresas refinadoras atuam também no *downstream*. Tais companhias são denominadas empresas de *Refining & Marketing*.

Para que se possa ter uma noção geral dos valores da matéria prima e dos produtos ao longo da cadeia logística da indústria do petróleo, apresentamos uma comparação (instantânea) dos preços efetivos em 19 de abril de 2000 no PADD II (PADD vem a ser o *Petroleum Authority Defense District*, distritos em que, para fins de planejamento estratégico, é dividido o território dos Estados Unidos. O PADD II corresponde à área geográfica do Golfo Americano, ou *US Gulf*, que inclui, entre outros estados, o Texas, Oklahoma e Alabama).

Entretanto, dado que o segmento de refino, elo intermediário na cadeia logística da indústria do petróleo, representa um meio e não um fim em si, são também comuns os exemplos de companhias que atuam em ambas as etapas, refino e *downstream*, em série. Buscam tais companhias agregar não apenas a margem de lucro no processamento do petróleo, mas ainda as margens de comercialização do

produto ao consumidor final. Se por um lado este último tipo de atividade, globalmente considerado, apresenta maior rentabilidade em relação ao capital alocado, por outro lado exige volumes de investimento muito superiores e uma estrutura logística bem mais sofisticada, o que explica porque nem todas as empresas refinadoras atuam também no *downstream*. As companhias operadoras em ambos os segmentos são denominadas empresas de *Refining & Marketing*.

Torna-se conveniente, neste ponto, fornecer uma noção geral das margens brutas apropriadas em cada segmento da cadeia de suprimento da indústria do petróleo, a fim de, entre outros motivos, demonstrar a preferência da indústria pelo estabelecimento de estruturas do tipo *Refining & Marketing* em detrimento de uma estrutura simplesmente *Refining*. A Tabela 2.1. fornece dados de preços (instantâneos) referentes ao comportamento do mercado no dia 19 de abril de 2000, cuja fonte é o serviço on-line *Reuters*, e dado de custo obtido do API, *American Petroleum Institute*. Os dados são referentes ao PADD II. Cumpre informar ainda que o território dos EUA, para fins de política estratégica de petróleo, é oficialmente dividido em cinco PADD, ou *Petroleum Administration Defense District*, sendo o PADD II correspondente à área do Golfo do México, ou Golfo Americano (*US Gulf*), compreendendo geograficamente, entre outros territórios, a totalidade dos estados do Texas, Oklahoma, Louisiana e Mississippi.

Embora a comparação seja efetuada apenas com gasolina regular, permanece inteiramente válida, uma vez que a maior parte das refinarias do PADD II têm capacidade de conversão de 55 a 60%, em volume, da carga de óleo cru em gasolina regular.

Evidencia-se, em consequência, a elevada apropriação de margem de comercialização no segmento *downstream*. Por este motivo, em geral, as companhias que detêm capacidade de refino também investem em distribuição, a menos que sofram de restrições para investimento ou elejam outras diretrizes estratégicas para o negócio.

A seção seguinte fornecerá uma breve e resumida descrição da logística de abastecimento de matéria prima no *supply chain* da indústria do petróleo, o que completa a visão geral simplificada sobre a estrutura e os processos da indústria.

Posição na Cadeia Logística	Valor, US\$.	Margem Bruta, US\$
Custo de produção do óleo WTI	13,47	-
Preço do óleo WTI em base FOB Cushing, Okla.	25,92	12,45
Preço da gasolina regular unleaded 87 ($(R+M)/2$) em base ex-refinaria no PADD II.	31,51	5,59
Preço médio da gasolina regular unleaded 87 ($(R+M)/2$) em postos de serviço do PADD II.	58,38	26,87

Tabela 2.1. – Custo e preços de óleo e derivados no PADD II em 19/04/2000.

Fonte: REUTERS.

2.6. A LOGÍSTICA DE SUPRIMENTO DE PETRÓLEO.

De acordo com [ECONOMIDES, 2000], [KLEINER, 2000], [BECK, 1999] et al, são produzidos atualmente cerca de 76 milhões de barris diários de petróleos de todas as naturezas, desde os óleos do tipo condensado, levíssimos e com alto rendimento em frações de baixo ponto de ebulição, até os crus pesados, ultraviscosos, altamente parafínicos, com elevado teor de enxofre e metais, que só escoam se devidamente aquecidos a temperaturas relativamente elevadas, permanecendo quase que sólidos às condições ambientes, e gerando rendimento principalmente em resíduos.

Construiu-se todo um sistema logístico para escoar tal volume de petróleo dos campos de produção para as unidades industriais de refino. Infelizmente, como observa [YERGIN, 1998], o óleo tem a particularidade de acumular-se em jazidas comercialmente exploráveis quase sempre em regiões distantes das áreas geográficas em que se concentra o consumo dos derivados de petróleo. Tomem-se como exemplo as jazidas petrolíferas do Oriente Médio, da Ásia Central (ex-URSS, hoje em dia CEI), da Venezuela, México e África Ocidental. Situam-se todas em locais onde o consumo absoluto e o consumo per capita de energia, medida em barris equivalentes de petróleo, são baixos. Por outro lado, regiões de intenso consumo energético, como o leste dos EUA, a Europa Ocidental, o Japão e parte da Ásia industrializada, estão situadas a distâncias relativamente elevadas das fontes de matéria-prima. Há

exceções; historicamente, os campos do Golfo Americano (a partir de Spindletop, descoberto e explorado a partir da década de 20) e, muito mais recentemente, o Mar do Norte, situam-se mais próximos às áreas intensivas em consumo energético.

Tais vicissitudes vieram a moldar, ao longo do tempo, a estrutura logística destinada a mover o petróleo de sua natural afluência para os pontos em que seria refinado, transformando-se em produtos. As primeiras refinarias, e muitas das que desde então foram construídas, privilegiaram a proximidade com a região de consumo, e isto por um motivo natural: o transporte de petróleo, material relativamente homogêneo, que goza de economia de escala, dado o volume deslocado, e por ser direcionado de um campo produtor para uma refinaria, seria sempre mais simples, logisticamente falando, do que o transporte de uma vasta gama de diferentes produtos heterogêneos a um leque considerável de consumidores, como ocorre com os derivados. Isto não descarta as exceções; as refinarias de Yanbu, na Arábia Saudita, Bandar Abbas, no Irã, e Punta Cardon, na Venezuela, entre algumas outras, refinam crus domésticos e geram produtos para exportação, uma vez que não há consumo local para tais excedentes, e situam-se muito mais próximas das jazidas oleíferas do que dos centros consumidores de energia.

Em função destas características, estabeleceu-se ao longo do tempo o padrão de transferência de matéria-prima da indústria do petróleo, que perdura até a atualidade. Nos casos (relativamente raros) em que os campos produtores se situam próximos à refinaria, o modal de transporte utilizado é o dutoviário, mediante *pipelines* de grande diâmetro, normalmente 24'', 30'', ou até mais. Nos demais casos, o óleo é transportado por via marítima, em navios que vão desde ULCC's a VLCC's até embarcações de classe MR-2 e MR-1, e, em casos especiais, até mesmo em barcaças com capacidades da ordem de 20 a 50 mil barris de carga.

O tempo de transferência do petróleo à unidade de processamento é função do modal de transporte utilizado e da distância entre o terminal embarcador e o terminal receptor. Para utilizar exemplos extremos, a transferência de óleo, por duto, entre um terminal de crus situado entre o início da malha de oleodutos Colonial Pipeline e refinarias na área do PADD II pode consumir entre algumas horas e algo como dois ou três dias. Por outro lado, o bombeamento de petróleo, pelo mesmo duto, até uma refinaria situada na Nova Inglaterra, consome usualmente onze a doze dias.

04

No caso do transporte marítimo, pode-se trabalhar com tempos de viagem do óleo entre um dia e meio (de Coatzacoalcos, no México, para Corpus Christi, no Texas) e algo como trinta e dois dias (do Oriente Médio para o Golfo Americano). Eventualmente, o óleo deverá ser ainda submetido a tratamentos preliminares antes de ser refinado, ou apenas armazenado à espera de melhores condições operacionais de processamento. Destarte, o período de tempo que transcorre entre o envio do petróleo pelo vendedor e seu efetivo processamento na refinaria pode variar entre um dia e cerca de 60 dias. Como será visto na seção 2.7., a consideração deste escalonamento de tempo é importante para o logístico responsável pela aquisição de matéria-prima para uma refinaria.

A próxima seção remete a aspectos econômico-financeiros da comercialização dos óleos crus, como a valorização do petróleo no mercado internacional e aos mecanismos de formação de preços dos óleos.

2.7. MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE PREÇOS DE PETRÓLEOS NO MERCADO INTERNACIONAL.

Três fatores principais determinam os fundamentos do preço de um determinado petróleo no mercado internacional: a qualidade, a distância de sua jazida aos principais centros refinadores do mundo, e o volume em que é produzido [BECK, 1999], [VAN DER LINDE, 1999], [YERGIN, 1999] et al. Para melhor entendimento da questão, analisar-se-á de forma um pouco mais detalhada cada um destes parâmetros.

A qualidade de um óleo diz respeito a uma vasta série de características físico-químicas da mistura de hidrocarbonetos que respondem ao processo de refino. Evitando-se um aprofundamento da questão, que foge ao escopo do presente trabalho, pode-se afirmar que, em linhas gerais, o valor da qualidade de um petróleo está fortemente vinculado à sua capacidade intrínseca de quando processado, fornecer um elevado volume de produtos de alto valor agregado, ditos produtos “nobres”. Para um refinador norte-americano, isto, em síntese, significa o potencial do petróleo para gerar frações da natureza das gasolinas. No caso de refinadores europeus, sul-americanos ou asiáticos, há um compromisso entre a produção de gasolina e a de óleo Diesel. Cumpre destacar, neste ponto, que a matriz energética

derivada do petróleo, nos EUA, está solidamente baseada no consumo de gasolinas automotivas; por este motivo, cerca de 48% da gasolina atualmente consumida mundialmente é nos Estados Unidos. Nas demais regiões do mundo, ocorre um equilíbrio entre o consumo, para fins automotivos, da gasolina e do óleo Diesel.

Em resumo, um petróleo, no mercado internacional, é valorizado proporcionalmente ao volume de produtos de maior valor agregado que oferece por barril. Assim, óleos como os Minas, Cinta e Widuri (Indonésia), Saharan Blend (Argélia), Soviet Blend Ural (CEI), ou Árabe Leve (Arábia Saudita), entre muitos outros, são extremamente valorizados no mercado norte-americano, por gerarem um elevado volume de frações conversíveis em gasolina. Por seu turno, petróleos como os da Nigéria (Brass River, Bonny Light, Pennington, Forcados, Escravos) e alguns do Oriente Médio (Marib Light, Qatar Marine, Qatar Land, Kirkuk, Iraniano Leve, Oman, Dubai) adquirem valor particularmente elevado para refinadores sul-americanos, europeus e asiáticos, devido ao “equilíbrio” que apresentam entre o rendimento em gasolina e em destilados médios, aí incluídos óleo Diesel, querosenes e frações intermediárias de destilação reconversíveis por FCC.

O contraponto é fornecido por óleos pesados, de alto teor de enxofre e metais, cujo rendimento é basicamente constituído por fundo de barril, frações não conversíveis e óleos combustíveis residuais, como os petróleos venezuelanos (Mesa 18, Merey, Lagotrecó, Lagocinco, Tia Juana), todos os mexicanos exceto o Olmeca, alguns poucos crus africanos e um número reduzido de óleos do Oriente Médio (Iraniano Pesado, Murban, Árabe Pesado, Fateh, por exemplo). Estes óleos geram grande quantidade de produtos de baixo valor agregado e resíduos, e não interessam, em geral, aos refinadores, a menos que disponham de capacidade de conversão de fundo de barril, unidades de projeto e instalação dispendiosas que tentam extrair um percentual, ainda que mínimo, de produtos valorizados a partir de tais matérias-primas. Portanto, o valor destes óleos tende a se ajustar ao mercado; seu preço, em geral, é substancialmente mais baixo do que um óleo dito de “primeira linha”.

A distância geográfica ao centro tradicional, ou viável, de refino, constitui outro fator que pesa consideravelmente na estruturação do preço internacional de um óleo. Um exemplo típico é o que ocorre com os petróleos argentinos que configuram excedentes exportáveis em relação à capacidade de processamento instalada no país. Os óleos produzidos na Argentina apresentam uma vasta gama de qualidades, desde

os crus considerados de “primeira linha”, como o Escalante, até os óleos geradores de fundo de barril, como o Cañadon Seco, o Medanito e o Campo Durán. Seu preço é sempre consequência, e não causa. São eles valorizados pelo preço que o refinador norte-americano julga conveniente adquiri-los, postos no *US Gulf*, menos o diferencial de frete La Plata / Texas City, por exemplo. Tais petróleos, em base FOB La Plata, têm seu valor definido (sempre em relação ao WTI), com descontos que refletem os custos de frete, seguro, operações e ainda a margem de lucro requerida pelo logístico comprador de óleo a cada situação de mercado.

Por seu turno, óleos como o Brent, do Mar do Norte, o WTI, dos EUA, e os do Oriente Médio e da Indonésia, já sofrem muito menos o efeito distância, uma vez que estão disponíveis muito próximos da região geográfica em que serão processados.

O terceiro fator estrutural de preço, o volume de óleo produzido, está intrinsecamente vinculado às forças de mercado de oferta e demanda. Se um óleo, embora de “primeira linha”, é oferecido ao mercado em grandes quantidades, seu preço tende, conseqüentemente, a baixar. Petróleos oferecidos em volumes reduzidos tendem a valorizar-se, sempre em compromisso com os fatores qualidade e distância. Não é por outra razão que a arma preferida da OPEC, quanto a elevar preços, seja a redução de cotas de produção (e exportação) dos países membros.

Foram até aqui vistos os fatores fundamentais, também conhecidos como fundamentos de mercado, que determinam o valor dos óleos. Estes fatores tendem a situar os diferentes petróleos numa hierarquia de valor, que, em geral, a menos de abruptas intervenções no mercado internacional, tendem a manter-se em níveis relativamente estáveis. É possível dizer-se, por exemplo, que, usualmente, o óleo WTI “vale” mais do que o Brent, e que este último “vale” mais do que o Oman ou o Dubai, com base no anteriormente exposto. Mas tais afirmações são meramente relativas. A situação real depende de inúmeras outras circunstâncias que alteram sensivelmente o “equilíbrio” entre as forças de mercado.

Inúmeras variáveis interferem nos preços dos petróleos, e muitos outros indicadores econômicos são também afetados por estes preços. Situações de oferta e demanda são comumente influenciadas por questões como níveis de estoques de petróleo e derivados, demanda por produtos, condições climáticas, fatores políticos, incertezas econômicas e da natureza, patamares de fretes de navios-tanque, circunstâncias relacionadas muitos outros elementos. Como é de conhecimento geral,

não apenas os preços dos petróleos variam, mas também os *spreads*, ou diferenciais de preços entre os próprios óleos.

Portanto, como se pode depreender do comportamento do mercado internacional de petróleo, não apenas os preços absolutos dos óleos variam, em função de inúmeras variáveis estruturais e conjunturais, mas também o *spread* entre os preços dos crus, *spread* este motivado fundamentalmente pelos três fatores acima descritos.

Um outro elemento importante a ser considerado é que, ao longo do tempo, procurou-se fixar referências para o preço de um determinado óleo em função de outros petróleos com características similares, ou cujo destino de processamento fosse o mesmo. Inicialmente isto foi feito apenas por uma questão de comodidade na comercialização; mais tarde, por motivos de viabilidade de negociação em bolsas de *commodities*. Considere-se que existem centenas de tipos de petróleo hoje em dia comercializados. No início da indústria do petróleo, poucos crus eram oferecidos ao mercado consumidor, e os preços destes óleos eram então definidos individualmente, em compromisso com as circunstâncias de mercado, sendo tais preços normalmente estáveis por períodos relativamente longos de tempo. A Figura 2.4 reflete a evolução dos preços dos petróleos referenciais desde 1861, ano em que se iniciou a comercialização do óleo da Pennsylvania, até os dias atuais.

Com o passar do tempo, verificou-se que não era necessário estabelecer-se preços de mercado individuais para cada óleo. Os petróleos poderiam ser agrupados em categorias, principalmente no que dizia respeito à qualidade e ao seu mercado natural. Na verdade, este último fator foi decisivo no estabelecimento deste critério; os compradores de crus, ao invés de consultar uma imensa lista de óleos com seus respectivos preços em base FOB terminal embarcador, preferiam, como é razoável, obter a cotação de alguns óleos e as dos demais a estes referidos por diferenciais, ou *spreads*, de preços. Durante várias décadas, um cesto de petróleos norte-americanos foi definido como a referência. Mais tarde, com a exploração das imensas jazidas do Oriente Médio, o Árabe Leve, produzido em grande quantidade, passou a ser o indicador básico. Porém, com o advento da comercialização de energia nas bolsas de *commodities*, o que ocorreu em meados dos anos 80, dois óleos passaram a ser o referencial de preços para os demais: o WTI, negociado no NYMEX (New York

Mercantile Exchange), e o Brent, produzido no Mar do Norte, cujos papéis passaram a ser comercializados no IPE (International Petroleum Exchange), de Londres.

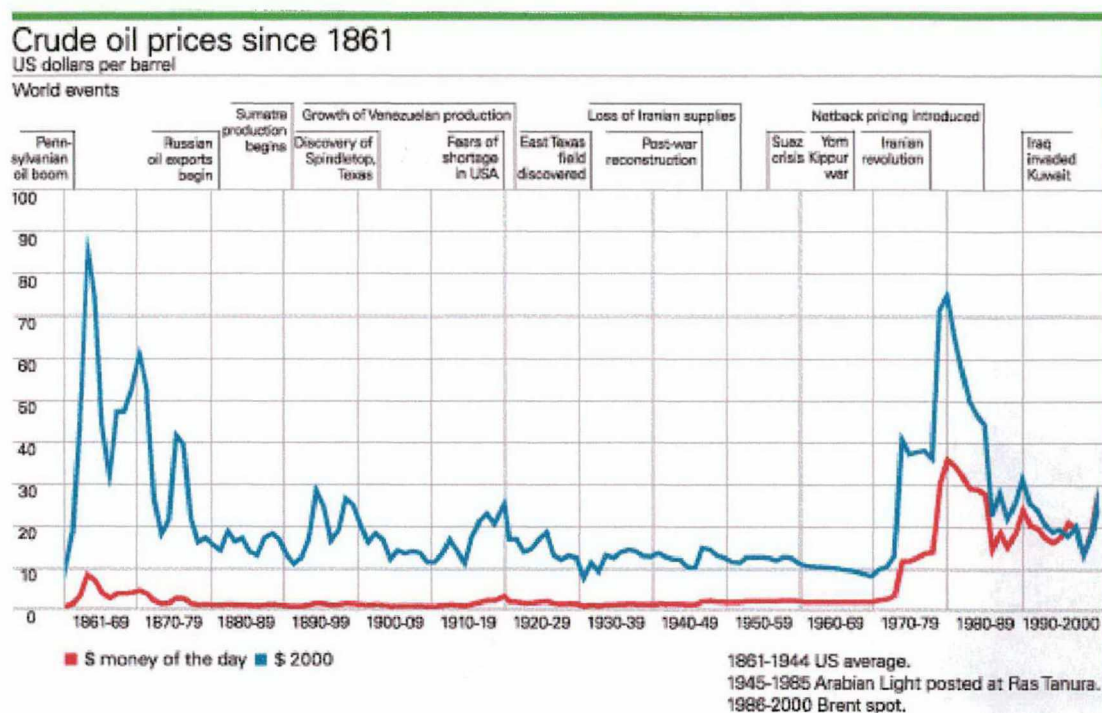


Figura 2.4 – Evolução dos preços do petróleo, 1861-2000. De 1861 a 1944, média dos preços de venda nos EUA; de 1945 a junho de 1987, Árabe Leve, preço posto em Ras Tannurah; de julho de 1987 a dezembro de 2000, Brent spot. Cotações médias anuais. Fonte: BP-Amoco Corporation, 2001.

A partir deste momento, quase todos os óleos mundialmente produzidos, por uma série de motivos de ordem econômica (facilidade de comercialização, conversão em preço de óleos similares, *hedge* nos mercados futuros, e outros), passaram a ter seus preços vinculados a estes dois óleos referenciais. Subsistem algumas exceções, como o Dubai, o Oman e o Tapis, este último, por sua vez, referencial de preço para alguns crus do Sudeste Asiático, na bolsa de Cingapura (SIMEX). Mas a opinião de vários autores [BECK, 1999], [VAN DER LINDEN, 1999], [HANNESSON, 1998] et al, é a de que, com o fenômeno da globalização, os óleos referenciais do futuro tendem a ser o WTI e o Brent, pouco a pouco perdendo importância os demais referenciais isolados.

Hoje em dia, portanto, a maioria dos petróleos comercializados no mundo tem seu preço referenciado ao WTI ou ao Brent. Criou-se uma divisão geográfica, dependendo do mercado natural de cada óleo. Assim, por exemplo, os petróleos venezuelanos, mexicanos e argentinos, cujo mercado natural é o Golfo Americano, têm seu preço, a cada momento, definido como $WTI \pm \delta$, onde δ representa o diferencial em relação ao preço do óleo-referência, em geral expresso em dólares por barril.

Por outro lado, crus cujo mercado natural é a Europa definem seus preços em termos de Brent $\pm \epsilon$. Tal é o caso dos óleos da África Ocidental (nigerianos, angolanos, gaboneses, marfinenses, e outros), além, naturalmente, dos óleos produzidos no Mar do Norte, como Oseberg, Sleipnir, Magnus, Flotta, Forties, e diversos mais.

Subsistem ainda óleos com formação de preço independente, como Oman, Dubai e Tapis (da Indonésia) e seus satélites, mas a tendência que se tem verificado nos últimos tempos é a absorção dos preços de Oman e Dubai ao Brent (negociados que são no IPE de Londres) e a de muitos óleos do sudeste asiático, como os vietnamitas Ba-Ho, ao mercado de WTI.

Portanto, segundo os especialistas já citados, em breve os preços dos petróleos mundiais estarão vinculados aos referenciais mais negociados em bolsas de commodities e nos mercados futuros de energia, o WTI e o Brent.

2.8. O CONCEITO DA LOGÍSTICA *INBOUND* NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

Observa-se [ECONOMIDES, 2000], [STEVENS, 1998], [GATELY, 1997] et al, que cada segmento da cadeia logística da indústria do petróleo envolve insumos e produtos finais. Assim sendo, para o segmento de Exploração e Produção (E&P), os insumos são, entre outros, a tecnologia geológica e geofísica, a posse de concessões para a extração de petróleo, a tecnologia associada, os equipamentos de prospecção e produção, a mão-de-obra, o capital, e muitos mais. O produto é o petróleo, armazenado em condições de ser enviado a unidades de refino.

Para o elo representado pelo Refino, a visão logística evidentemente não é a mesma. A matéria-prima, para o Refino, é o petróleo. Outros insumos são representados pelos catalisadores, produtos químicos, mão-de-obra, etc. O produto

final serão os derivados de petróleo obtidos a partir do processamento do óleo cru. Demonstra-se [ECONOMIDES, 2000] que, em média, 84% dos custos de insumos da área de refino são representados pela aquisição de petróleo.

Analogamente, no que diz respeito à Distribuição, tem-se como insumos os produtos de petróleo devidamente especificados, armazenados na área de expedição da refinaria. O resultado final da operação consiste no derivado entregue ao consumidor final, seja no posto de serviço, no aeroporto, no cais ou no parque de armazenamento da indústria cliente.

Tomando-se a indústria do petróleo como um todo integrado ao longo da cadeia logística, observa-se que, numa visão macro do negócio, pode este ser caracterizado como operando com um insumo, ou matéria-prima (o óleo bruto), transformando este insumo via um processo (o refino) e obtendo um produto final (a gama de derivados de petróleo) a ser entregue ao cliente. Sob tal enfoque, é possível identificar-se o elo central do *supply chain* como o núcleo da indústria de transformação; e, nesta ótica, as funções referentes à aquisição de matéria-prima, ou seja, as operações de compra de petróleo, podem ser assimiladas à estrutura logística identificada por [LAMBERT, 1997] como Logística *Inbound*, ou ainda, à função logística de *procurement*, segundo [BOWERSOX, 1996]. Destarte, pode-se assimilar o ato de adquirir petróleo para processamento numa refinaria à função de *procurement*, situada na estrutura formal da *Inbound Logistics*, ou Logística *Inbound*. Devido a isto, foi considerado conveniente englobar a atividade de trading de petróleo, nas organizações, às ações de responsabilidade, na visão de [LAMBERT, 1997], da Logística *Inbound*, para os fins a que se propõe o presente trabalho.

Portanto, para o logístico encarregado da aquisição de matéria-prima, é de fundamental importância conhecer o contexto em que se desenvolve a atividade de trading na indústria do petróleo. Para tanto, faz-se mister o estudo criterioso dos movimentos relativos e absolutos dos preços dos petróleos ao longo do tempo, e tal estudo, em virtude das variáveis envolvidas, como os preços em si, os *spreads*, o *time-lag*, ou diferenciação no tempo dos preços considerados, e outras, constitui o cerne do balanço econômico-financeiro da unidade industrial de refino e, por extensão, de toda a cadeia logística na indústria do petróleo. A partir do domínio técnico de tais variáveis, é possível minimizar-se o custo de aquisição de matéria-prima, o que constitui o objetivo básico da Logística *Inbound*. Mediante esta redução

de custo, pode-se transferir uma margem maior de comercialização ao longo de toda a cadeia logística, ou mesmo reduzir preços ao consumidor mantendo-se uma margem mais baixa. Com isto, ficam atendidos os dois objetivos fundamentais da Logística, qual sejam, oferecer ao cliente o maior Nível de Serviço aos menores custos possíveis.

Uma visão mais detalhada do problema da Logística *Inbound* na indústria do petróleo será abordada na próxima seção.

2.9. O PROBLEMA FUNDAMENTAL DA LOGÍSTICA *INBOUND* NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

O *trading* internacional de petróleo é comumente entendido como a operação física de aquisição de óleo cru para posterior submissão ao processo de refino. Constitui, portanto, uma operação logística de *procurement*, inserida na estrutura da Logística *Inbound*, como visto na seção 2.7.

Para que tal operação seja eficiente e eficazmente conduzida, é necessário o conhecimento prévio das características do suprimento de petróleo, conforme esboçado em 2.5. A fim de otimizar a aquisição de petróleo, o logístico *inbound* deverá tomar decisões simultaneamente quanto a uma vasta gama de fatores, e tais decisões influenciam-se mutuamente.

Preliminarmente, cumpre notar que um ciclo permeia a cadeia de suprimento na indústria: ocorre um fluxo físico de materiais, desde a matéria-prima extraída das jazidas até o seu transporte, processamento, transformação em diferentes derivados e entrega de tais derivados ao consumidor final. Neste fluxo, moléculas estão sendo consideradas. Por outro lado, ocorre o fluxo inverso, o fluxo de informação, bem caracterizado por [LAMBERT, 1997] em sua análise sobre os canais de distribuição. Deve ser bem compreendido que o produto está sendo entregue ao cliente porque este o demanda. Consequentemente é fundamental conhecer e, principalmente, prever o que o cliente desejará no futuro, uma vez que as operações logísticas necessárias a disponibilização do produto ao consumidor ocorrem, no tempo, muito antes do que a existência física do derivado no ponto final de venda, ao término da cadeia.

As informações quanto ao que o cliente deseja e quanto à tendência das suas preferências no futuro (ou seja, as informações quanto ao “mercado”), fluem em sentido inverso ao fluxo físico de moléculas, gerando um ciclo ao final do processo. Em contraposição ao fluxo físico de moléculas, o fluxo de informações é um fluxo imaterial, formado por bits. A visão de mercado é transferida sucessivamente do cliente aos postos de serviço, às distribuidoras, às refinarias e às áreas de E&P.

Quando processada no âmbito da Logística *Inbound*, a informação gera, para o logístico, o panorama representativo dos derivados de petróleo que devem ser produzidos num dado horizonte de tempo, em termos qualitativos e quantitativos. Isto conduz a um primeiro conjunto de decisões: quais as “famílias” de petróleos que devem ser considerados para aquisição a fim de gerar o perfil de rendimento adequado? E em que *timing* tais óleos devem ser comprados?

Tais decisões são complexas, tendo-se em vista que, conforme visto na seção 2.5., além da vasta gama de crus disponíveis no mercado internacional, cada um deles com seu conjunto de características de resposta aos diversos processos de refino, é necessário definir o *timing* correto de aquisição e recepção do óleo, que pode, no caso geral, variar de dois a três dias a prazos superiores a dois meses.

Uma vez encontradas respostas satisfatórias para tais questões logísticas, resta ainda a seleção do cru apropriado. Esta decisão é baseada em custos de matéria-prima (função direta do preço no mercado internacional do óleo), levando-se em conta que, numa determinada “família” de petróleos, ou seja, grupos de óleos com qualidades semelhantes e comparáveis e respostas similares aos diferentes processos de refinação comumente empregados, os crus, individualmente considerados, podem obedecer a diferentes vinculações de preços no mercado internacional. Sem dúvida, critérios de “*timing*” e custos de fretes retornam à análise neste estágio do processo decisório.

Considere-se, à guisa de exemplo extremamente simplificado, a situação típica de uma refinaria situada em Corpus Christi, na costa do Golfo Americano (PADD II), cujo logístico *Inbound*, em função de informações de mercado recebidas, conclui que, num horizonte a partir de três meses à frente, será necessário refinar óleo para a obtenção de um perfil de rendimento contemplando a produção de cerca de 5% de GLP, 20% de gasolina unleaded regular, 20% de gasolina reformulada regular, 10% de gasolina reformulada premium, 3% de querosene de aviação, 21% de óleo Diesel,

10% de óleo combustível de baixo teor de enxofre, e 11% de produtos não especificados, sendo todos os percentuais em volume.

Entre as opções de aquisição de óleos que forneçam aproximadamente o perfil de rendimento acima, listam-se o Brent e o LLS (Louisiana Light Sweet). No exemplo em tela (que considera preços e demais valores de mercado do dia 27 de abril de 2000, às 10:32 h de Houston), o Brent custa US\$ 22,76/bbl em base FOB Sullom Voe (Mar do Norte), com um acréscimo de frete marítimo para transporte em navio de classe VLCC de US\$ 1,50/bbl na rota entre Sullom Voe e Corpus Christi. Por seu turno, o preço do LLS é de US\$ 24,62/bbl em base FOB St. James; o preço do LLS posto em Corpus Christi deve ser acrescido do frete dutoviário de US\$ 0,50/bbl cobrado pela malha de oleodutos Colonial Pipeline. Portanto, a preços da data indicada, pode-se afirmar que, em base Corpus Christi, Brent = LLS - 0,86 US\$/bbl. Esta seria a equação representativa do *netback* em Corpus Christi, na data considerada, entre Brent e LLS, a menos das diferenças no perfil de rendimento de ambos os crus quando submetidos a craqueamento catalítico, ou seja, processados em unidades de FCC.

No entanto, o tempo de transferência do LLS de St. James a Corpus Christi, pelo Colonial Pipeline, é de dois dias. O prazo envolvido no carregamento do Brent em Sullom Voe e sua transferência por via marítima, em VLCC, para a refinaria do exemplo, chega a 19 dias. Como padrão da indústria do petróleo, a fixação do preço de um óleo é realizada num prazo variável em torno da data do carregamento. Assim sendo, para abastecer uma campanha de processamento que será iniciada dentro de três meses, pode-se embarcar o LLS, e formar seu preço, num prazo mínimo de 88 dias. No caso do Brent, prazo de embarque e de formação de preço seriam de, no mínimo, 71 dias.

Por outro lado, o LLS tem seu preço definido em termos de vinculação com o WTI. Ou seja, $LLS = WTI \pm \delta$, enquanto Brent é, por si, um óleo referencial. Acresce ainda que, em condições normais, o LLS pode, operacionalmente, ser adquirido até dois ou três dias antes de sua transferência física via pipeline. Quanto ao Brent, uma carga prompt, ou seja, para embarque em curtíssimo prazo, em geral é passível de ser comercializada de oito a dez dias antes do embarque físico no terminal de Sullom Voe. O logístico *Inbound*, se assim o desejar, pode fechar hoje a compra dos óleos indicados, ou postergar a aquisição para os prazos-limite

(*deadlines*) sugeridos acima. Como resultado, para atender ao requisito logístico de atendimento ao mercado, pode-se efetuar a compra de Brent, com preço com base em si mesmo formando-se num horizonte de 27 a 71 dias à frente, ou, alternativamente, pode-se adquirir LLS, com preço formado em base WTI formando-se num período compreendido de 2 a 88 dias no futuro.

Consideradas as condições anteriores, torna-se evidente que, no caso do exemplo em pauta, a decisão eficaz depende da previsão de como vão se comportar, nos próximos três meses, os preços do WTI, do Brent, e, por consequência, o *spread* entre ambos. De posse de tal previsão, é possível ao logístico selecionar o óleo que deverá apresentar o menor preço e decidir-se por sua aquisição.

Na prática da indústria do petróleo, embora os problemas sejam muito mais complexos que o exemplo apresentado, a previsão dos preços dos crus, como se pode facilmente compreender, reveste-se de suma importância para a tomada de decisões logísticas.

A Figura 2.5., meramente ilustrativa, mostra a evolução dos preços do WTI e do Brent no período de um ano, entre as cotações de 03 de março de 1999 e 29 de fevereiro de 2000. A Figura 2.6. representa a evolução do *spread* WTI menos Brent no mesmo período. A Tabela 2.2. condensa alguns parâmetros estatísticos referentes aos preços dos óleos e ao *spread* entre eles.

Observe-se, por exemplo, a variação do *spread* WTI/Brent durante o mês de novembro de 1999. Num prazo inferior a uma quinzena, o *spread* varia entre $-1,11$ US\$/bbl (10 de novembro) e $+1,83$ US\$/bbl (22 de novembro), com uma amplitude de quase US\$ 3/bbl, o que representa um valor considerável.

Fica, assim, conceitualmente caracterizada a importância da decisão correta quanto à compra de óleo para o logístico *Inbound*. Uma negociação pode ser excelente ou péssima; o negócio como um todo pode ganhar ou perder vultosos montantes dependendo do acerto da decisão tomada. O problema básico da Logística *Inbound* consiste, portanto, na previsão do comportamento dos preços absolutos e relativos dos óleos referenciais, a fim de que seja exercida a opção de aquisição pelo óleo com vinculação de preço mais conveniente no horizonte de compra considerado. Da previsão dos preços relativos (*spreads* de preços) depende o sucesso da decisão aquisitiva propriamente dita; da previsão dos preços absolutos depende uma eficaz previsão orçamentária de desembolso por parte do logístico, o que se consubstancia

na confiabilidade do balanço da empresa e no acurado monitoramento das disponibilidades de capital para compra de matéria-prima.

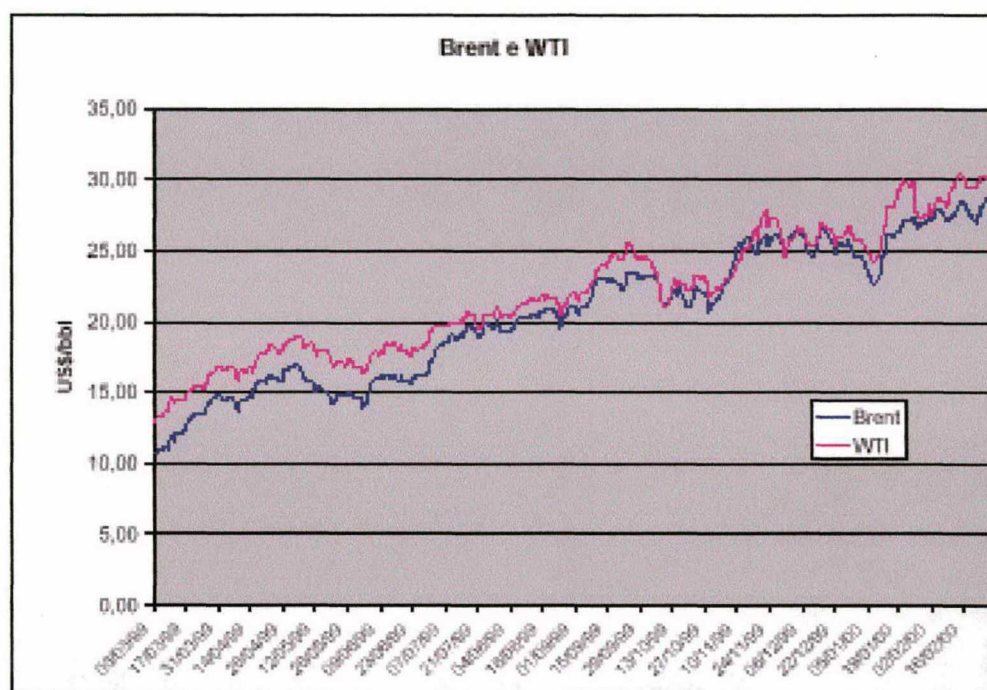


Figura 2.5. – Evolução dos preços do WTI e do Brent entre 03 de março de 1999 e 29 de fevereiro de 2000. Cotações diárias. Unidade: US\$/bbl.

Fonte: REUTERS, 2000.

Da Tabela 2.2. depreende-se que a diferença entre uma decisão adequada e uma decisão incorreta de compra de petróleo, durante o período considerado, poderia ser quantificada em mais de US\$ 4/bbl, o que representa um montante financeiro considerável, como será visto na seção 2.9.

No que tange ao horizonte de tempo em que a previsão de preços é necessária, o prazo, em operações *spot*, pode variar de dois dias a três meses à frente, como no caso do exemplo abordado, ou mesmo abranger períodos mais amplos, de até seis ou sete meses, tendo-se em vista que as operações de trading podem ser fechadas com grande antecedência. Por outro lado, pode ainda o logístico *Inbound* considerar a celebração de contratos de aquisição de crus; neste caso, será conveniente estender o período de previsão para um ou dois anos. Estes são os prazos usuais com os quais opera a indústria do petróleo.

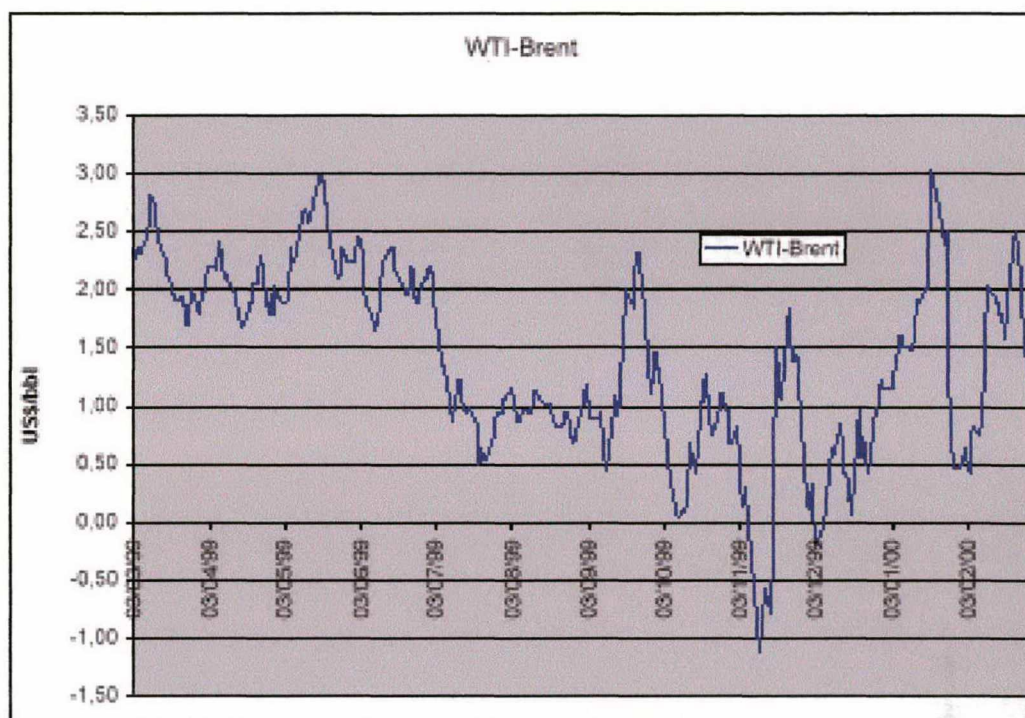


Figura 2.6. – Evolução do spread entre WTI e Brent no período de 03 de março de 1999 e 29 de fevereiro de 2000. Cotações diárias. Unidade: US\$/bbl.

Fonte: REUTERS, 2000.

Parâmetro	Brent	WTI	Spread WTI-Brent
Média	20,56	21,96	1,40
Mínimo	10,64	12,90	-1,11
Máximo	29,32	30,43	3,02
Desvio Padrão	4,807155	4,424027	0,812781
Variância	23,10874	19,57202	0,660613
Curtose	-1,1537	-0,9748	-0,27038
Nº de Observações	260	260	260

Tabela 2.2. – Alguns parâmetros estatísticos referentes aos preços do WTI e do Brent e do spread entre ambos no período de 03 de março de 1999 a 29 de fevereiro de 2000. Cotações diárias. Unidade: US\$/bbl. Fonte: REUTERS, 2000.

2.10. O SIGNIFICADO FINANCEIRO DA PREVISÃO DE PREÇOS DE PETRÓLEOS REFERENCIAIS.

Conforme visto em 2.8., as decisões sobre aquisição de óleos têm grande impacto financeiro sobre a rentabilidade das operações de Logística *Inbound*, a margem de refino, a lucratividade da cadeia de suprimento e os lucros, o desempenho e a própria saúde econômica da corporação de petróleo um modo geral. Abundam na indústria exemplos de companhias que encerraram suas atividades apenas na década de 90 (Transmarketing, Euro-Caribbean, Philip Brothers, Metallgesellschaft, Scallop International, entre outras) devido a previsões deficientes do comportamento dos preços no mercado internacional.

Tal comportamento não é exclusivo da indústria do petróleo, uma vez que pode ocorrer também em outros segmentos de negócios. Mas o impacto sobre a indústria do petróleo é de grande relevância, considerando-se que, segundo [ECONOMIDES, 2000], em média, 84% dos custos de insumos da área de refino são representados pela aquisição de petróleo.

Tais custos podem ser rastreados ao longo da cadeia logística. De acordo com [BECK, 1999], o custo do petróleo, numa média para a indústria norte-americana, aproxima-se de 45% do preço de venda do produto final, considerado como sendo gasolina regular. Este resultado não está muito distante do apresentado na Tabela 2.1. No caso mais geral, outros ramos de negócio introduzem maior valor agregado ao expertise, à tecnologia, aos processos de transformação, de tal sorte que o peso da matéria-prima no custo final do produto reduz-se a proporções bem inferiores. Não é este o caso da indústria do petróleo, na qual o preço da matéria-prima, o óleo, tem impacto direto e severo sobre a estrutura de custos e preços dos produtos derivados.

Este conjunto de circunstâncias e peculiaridades mostra o quanto a cadeia logística da indústria do petróleo é vulnerável ao preço da matéria-prima. Por este motivo, a Logística *Inbound* nesta indústria é mais importante e vital do que na maioria dos demais segmentos industriais.

Obtém-se, a partir de [VAN DER LINDE, 1999], uma avaliação simples do impacto do preço do petróleo sobre toda a estrutura logística da indústria. Seja uma refinaria típica com capacidade de processamento de 110 mbpd situada na costa do

US Gulf. A preços médios de 1998, tal refinaria teria um custo médio de aquisição de óleo (considerado numa média entre óleos vinculados a Brent e a WTI) da ordem de US\$ 66 milhões mensais. Sua receita bruta em venda de derivados, considerando-se sempre o perfil médio de compromisso produção/consumo no PADD II, seria de aproximadamente US\$ 147 milhões. A diferença entre a decisão correta e a decisão deficiente na aquisição de petróleo pode atingir cerca de US\$ 13 milhões mensais, o que corresponde a 20% do valor de compra dos crus ou 9% do faturamento bruto (antes dos impostos) total da refinaria. Estes números são suficientes para demonstrar a importância de um correto *assessment* de preços para o petróleo na atividade do logístico *Inbound*. Em outras palavras, um conjunto de decisões eficazes poderia conduzir a refinaria típica a um dispêndio, em aquisição de matéria-prima, da ordem de US\$ 59,5 milhões mensais, enquanto que uma sucessão de decisões inadequadas levaria a companhia a um desembolso de US\$ 72,5 milhões por mês para a compra de idêntico elenco de óleos. A medida da eficácia interna da companhia, segundo [MØLLER, 1995], é transparente para o consumidor. Como textualmente declara [BODINGTON, 1995] referindo-se à indústria do petróleo: “O fato de sermos uma empresa com várias divisões, várias funções, várias fábricas, atuando em várias regiões, produzindo muitos produtos, não é um problema do cliente”. Por conseguinte, a receita bruta da empresa de petróleo (antes dos impostos, e descontados os custos de refino e downstream) poderia alterar-se de algo como US\$ 87,5 milhões para valores em torno de US\$ 74,5 milhões, reduzindo a margem global bruta unitária em comercialização de produtos de US\$ 26,52/bbl para US\$ 22,58/bbl processado. Tais números, acredita-se, são suficientes para estabelecer a importância da Logística *Inbound* eficiente e eficaz na indústria do petróleo, sendo que a eficiência e a eficácia estão fundamentadas em uma correta e adequada previsão dos preços dos petróleos referenciais.

É importante destacar, porém, que a previsão do comportamento dos preços dos óleos não é igualmente importante para todos os segmentos da indústria. Isto será visto em maior profundidade na seção 2.10.

2.11. APLICABILIDADE DAS PREVISÕES DE PREÇOS DE PETRÓLEOS AOS DIVERSOS SEGMENTOS DA INDÚSTRIA.

Para uma empresa voltada especificamente para a produção e exportação de petróleo (NNPC, Petroecuador, SOMO, NIOC, Saudi Aramco), ou seja, operando basicamente no segmento *upstream*, a previsão dos preços dos crus no mercado internacional não é de grande valia. Isto porque a produção de óleos crus é compulsória. Tendo-se em vista os vultosos investimentos realizados em E&P, o petróleo, independentemente do preço que apresente ou que venha a apresentar no futuro no mercado internacional, deverá ser forçosamente comercializado por parte do produtor, já que as capacidades de estocagem são limitadas e o fluxo de caixa de tais companhias envolve a produção em níveis próximos aos limites máximos operacionais e o recebimento dos valores devidos pelos compradores no mais curto espaço de tempo possível.

Por outro lado, a previsão de preços de óleo é de extrema importância para empresas que apresentem estrutura tal que a Logística *Inbound* seja feita via a aquisição de crus. Neste caso estão incluídas as companhias integradas de petróleo, as majors, os empreendimentos de Refining & Marketing e as firmas refinadoras.

Companhias integradas de petróleo e majors, embora disponham de produção própria de óleo (a chamada *equity production*), também comercializam tais crus, vendendo parte da produção e adquirindo outros óleos, dependendo da conveniência logística ou da relação de preços, ou de ambos os fatores. A Figura 2.3. ilustra este processo, para o caso específico de uma companhia integrada, a BP-Amoco.

Para refinadores e companhias de Refining & Marketing, cujo desempenho está diretamente vinculado ao dispêndio na aquisição de matéria-prima, a vantagem da previsão de preços é imediata.

Neste ponto, é conveniente observar que, em sendo a previsão de preços de petróleos referenciais uma importante função da Logística *Inbound* nas companhias integradas, refinadoras e refinadoras / comercializadoras na indústria, é de se supor que as empresas atuantes no segmento dêem especial atenção ao problema e disponham de seus próprios métodos de efetuar a previsão. Com efeito, de um modo geral, isto é verdadeiro para grande número de companhias. No Capítulo 3, ver-se-á

como o problema é tratado em algumas corporações representativas do universo da indústria.

1999 BP Amoco Global Supply/Demand:

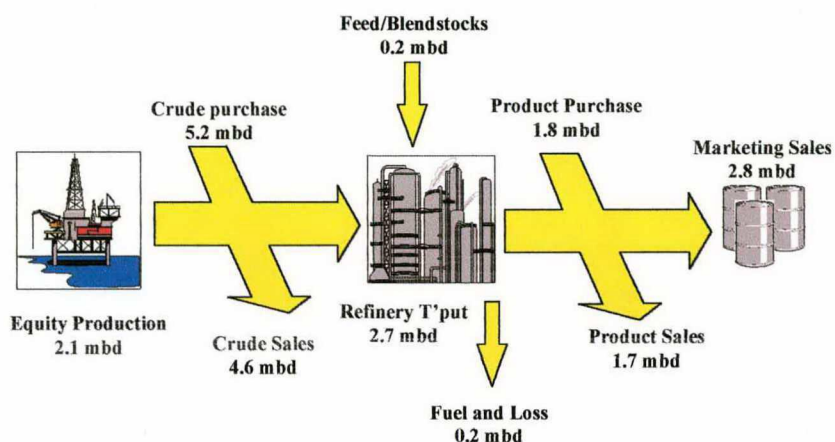


Figura 2.7. – Esquema de comercialização de petróleo e derivados da BP-Amoco. Fonte: BP-Amoco Corporation, 1999.

2.12. CONCLUSÕES.

Neste capítulo procurou-se fornecer uma visão geral e abrangente, acessível ao leitor não familiarizado com o assunto, da indústria do petróleo tal como esta se encontra estruturada em seu estágio atual. Procedeu-se ainda a uma análise, em linhas gerais e de forma bastante resumida, da estruturação logística da moderna indústria do petróleo, globalmente considerada, em seus aspectos internacionais, abordando-se as características e funções dos diferentes segmentos do supply chain. Estudou-se também a questão da Logística *Inbound* na indústria, destacando-se a importância particular de que se reveste esta área logística, no tema em pauta, em relação a outras indústrias, em função da elevada participação do custo da matéria-prima na formação do preço final do produto e da intensa variabilidade do fator preço dos insumos ao longo do tempo.

Os mecanismos de formação de preços dos petróleos nos mercados internacionais e a vinculação do preço da maioria dos óleos disponíveis no mercado aos crus referenciais WTI e Brent constituíram outros aspectos abordados no Capítulo 2, além da importância conceitual e do impacto econômico da decisão adequada quanto à previsão de preços sobre a estrutura da organização empresarial.

Destacou-se ainda a aplicabilidade da previsão de preços na Logística *Inbound* da indústria do petróleo como função do tipo de atuação da empresa ao longo da cadeia logística da indústria. Assim, foi definido que tal previsão não é importante para companhias que operem baseadas no segmento de E&P, limitadas à exploração e produção compulsórias de óleo; por outro lado, torna-se de fundamental importância para as organizações que atuam no segmento de refino, refino + distribuição e *marketing* de derivados, além das companhias integradas e das majors.

No próximo capítulo, serão abordados os fundamentos das séries temporais, os processos de previsão de preços atualmente mais aceitos, o que se pratica normalmente na indústria do petróleo e o modelo sugerido para a previsão de Brent e WTI no âmbito da Logística *Inbound* na indústria do petróleo.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS.

A Humanidade sempre se interessou pelo conhecimento do futuro, e, desde a mais alta antiguidade, foram desenvolvidos diferentes métodos visando a previsão de eventos futuros. Não obstante, as primeiras tentativas com base científica surgiram apenas no decorrer do século XVII. O presente capítulo constitui um resumo dos métodos científicos de previsão de uso mais generalizado.

3.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.

Em sua origem, a exploração do futuro encontrava-se adstrita ao campo da filosofia, da teologia, da metafísica. As primeiras tentativas científicas no sentido de se visualizar cenários futuros ocorreram somente no século XVII, e tiveram origem nos estudos dos jogos de azar, ou teoria da probabilidade, aos quais se dedicaram Pascal e Fermat (1654), Huygens (1656) e Jacques Bernoulli; este, numa obra póstuma (1713), menciona a lei dos grandes números. Em 1662, em Londres, Graunt aplicou o cálculo ao estudo estatístico da mortalidade humana, e Halley, aos seguros de vida, em 1693. No século XVIII, Daniel Bernoulli tratou das probabilidades contínuas. Seguiram-se-lhe Lagrange, Laplace e Gauss, com uma teoria dos erros, de que resultou o método dos mínimos quadrados, pela análise dos erros de observação. Segundo Stigler & Bernstein, o conceito de distribuição normal e desvio padrão foi desenvolvido por Abraham de Moivre em 1730.

O processo científico de estabelecimento de previsões, baseado nos avanços das ciências matemáticas desde então, experimentou considerável aperfeiçoamento nas décadas subsequentes. Nos últimos quarenta anos, porém [LAMBERT, 1998], as técnicas de previsão atingiram um grau superior de sofisticação e acerto, devido a uma série de fatores, dos quais quatro são fundamentais, e encontram-se intimamente interligados.

O primeiro destes fatores diz respeito aos avanços globais experimentados em todos os campos das artes, ciências e técnicas na segunda metade do século XX, com

ênfase particular no último quartel do século. Stephen Hawking apud [MARSHALL, 1998] afirmou que, se no início do século XX, a humanidade empregava 30 anos para dobrar a soma de seus conhecimentos, no final do mesmo século passou a utilizar apenas 5 anos para obter o mesmo efeito.

Como contribuição para tais progressos, a década de 40 viu nascer a teoria geral dos sistemas, que pregava uma visão mais abrangente e holística dos fenômenos naturais, em contraposição à visão mecanicista e de sistemas isolados e controlados que até então vigia, fruto do cartesianismo dos séculos XVI e XVII. É nesta época que se firma a mecânica quântica, rompendo com os dogmas da física clássica e ampliando os horizontes da mecânica relativística. São também lançadas as sementes de importantes substratos do pensamento, como a teoria do caos.

Em paralelo com este fator, veio de ocorrer, devido ao novo ambiente competitivo em que atuava a indústria, a necessidade, por parte das grandes e médias corporações, de previsões mais acuradas, com maior índice de acertos. O processo de previsão não mais poderia ser totalmente empírico, uma vez que a ciência e a técnica poderiam e deveriam contribuir decisivamente neste aspecto. Assim, à antiga figura do “previsor”, o profissional com larga experiência de mercado cujos vaticínios raramente eram contestados, as empresas sentiram a necessidade de adicionar valor através dos métodos científicos de previsão, respondendo positivamente à antiga questão da ciência — é possível predizer o futuro a partir dos fatos passados? — e agregando novas técnicas aos métodos e processos de predição do futuro. Com isto, o “previsor” tradicional passou a coexistir em grande parte das organizações com os profissionais que analisam e estudam resultados produzidos por meios científicos de previsão.

Cumprir ainda citar como fator o progresso experimentado, no último quartel do século XX, pela informática, o cálculo numérico e as ciências da computação. Muitos métodos científicos, que exigiam cálculos iterativos e repetitivos em extensa quantidade, ou a avaliação de funções de difícil manuseio numérico, e que portanto apresentavam restrições de utilização, passaram a ser largamente utilizados. Outros processos, que exigiam considerável esforço computacional, tiveram então sua oportunidade de desenvolvimento, uma vez que o volume de cálculos necessários já não se tornava um obstáculo prático insuperável. Com isto, diversos dos processos enumerados ao longo deste capítulo tornaram-se não apenas viáveis como também de

relativamente simples aplicação e desenvolvimento nos meios acadêmicos e empresariais.

Convém destacar também o aperfeiçoamento alcançado, em tal período, pelas técnicas e métodos de previsão em si. Já na primeira metade do século XX, métodos robustos de previsão eram de uso corrente, como por exemplo as médias móveis. Em 1976, Box & Jenkins [BOX, 1994] apresentaram a técnica ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Averages), que, utilizada e ampliada por [ANDERSON, 1976], [KENDALL, 1984], [PANKRATZ, 1983] et al, adquiriu rapidamente popularidade. Outros pesquisadores seguiram a mesma linha científica, como [VANDAELE, 1983], [MCDOWALL, 1980], [MCCLEARY, 1980] et al. Os métodos de suavização ou amortecimento exponencial foram abordados por [GARDNER, 1985], [MAKRIDAKIS, 1983], [MONTGOMERY, 1990] et al, e em particular por Holt e Winters. A decomposição sazonal clássica foi descrita por [MAKRIDAKIS, 1983], [WHEELWRIGHT, 1983] e [MCGEE, 1983]. Por outro lado, os distributed lags, ou influências deslocadas no tempo, foram objeto do estudo de [FOMBY, 1984], [HILL, 1984], [JOHNSON, 1984] e seus predecessores Judge, Griffith, Lütkepohl, [LEE, 1999] e Maddala. A análise de espectro simples, sugerida por Jenkins & Watts (1968), foi desenvolvida por Bloomfield (1976), [SHUMWAY, 2000] em 1988 e Wei (1989), entre outros, que também abordaram as técnicas da análise de espectro cruzada. Por seu turno, Cooley & Tukey (1965) começaram a estudar o algoritmo das transformações rápidas de Fourier (FFT, Fast Fourier Transformations), estudo este continuado por Monro & Branch (1976). Foram ainda desenvolvidos os modelos de regressão com erros ARIMA, de análise de intervenção, os modelos regressivos multivariados, os de estado espacial, e os modelos não-lineares de um modo geral.

Na década de 90, chega-se enfim aos métodos que poderiam ser conceituados como “na fronteira da área”, o estado da arte nas técnicas de previsão, a exemplo da aplicação das redes neurais e do processo de regressão dinâmica, entre outros.

O primeiro modelo de redes neurais foi apresentado por McCulloch & Pitts em 1943. Hebb (1949) e Rosenblatt (1958) desenvolveram a teoria e a prática do processo, mas, em 1969, Minsky e Papert expuseram as limitações do modelo de Rosenblatt numa obra denominada *Perceptrons*. Em 1986, Rumelhart, Hinton e Williams aperfeiçoaram o processo, com a criação do algoritmo de *backpropagation* para proceder ao processo de aprendizado por parte da rede neural. A partir de então,

o método passou a ser empregado na resolução de uma grande variedade de problemas, inclusive previsões.

Por sua vez, o método da regressão dinâmica foi formulado, em sua forma mais conhecida, por [PANKRATZ, 1991]. Também conhecido como modelo de função de transferência, ou modelo de períodos distribuídos (*distributed lags*), este método procura explicar a série temporal de determinado evento através da variação de outras grandezas correlacionadas, o que permite maior precisão na estimativa do comportamento futuro do evento, desde que as séries vinculadas sejam representativas na explicação das variações da série temporal que se deseja extrapolar para o futuro.

Na seção 3.7, o modelo de regressão dinâmica será visto em maior profundidade.

3.2. A PREVISÃO NA LOGÍSTICA.

A grande maioria dos modernos autores, como [BOWERSOX, 1998], [LAMBERT, 1998], [BALLOU, 1993] et al, concorda quanto à grande importância da previsão no âmbito dos processos logísticos. Uma das principais funções da Logística é o planejamento, e este depende de modo fundamental da existência e da acuidade de previsões.

É certo ainda que, em geral, os autores adotam um enfoque preferencial nas previsões de vendas, de demanda de produtos, ou ainda de mercado, potencial ou efetivo. Isto é natural, uma vez que o mais comum na indústria é a agregação privilegiada de valor ao produto no processo de manufatura; destarte, os exemplos mais usuais são os de organizações industriais que adquirem matéria-prima a custos relativamente baixos, agregam valor ao produto via processos de transformação e colocam à disposição do consumidor produtos de preço relativamente elevado (em relação ao custo de matéria-prima), em função do processo de agregação de valor.

Embora este seja o caso mais usual da indústria, não se aplica aos aspectos particulares da indústria do petróleo, onde não só o valor absoluto de custo da matéria-prima, como também as flutuações no tempo deste custo, são de basilar importância na formação do preço final do produto. Um exemplo adequado constitui a variação de preços dos produtos finais (*gasolina, heating oil, querosene de aviação,*

etc.) quando ocorre alguma variação significativa no preço dos petróleos, como durante os dois choques do petróleo, a Guerra do Golfo e a desvalorização dos óleos observada no final de 1998. Nos países de livre mercado de energia, como os EUA, o impacto da volatilidade dos preços dos crus sobre os preços dos derivados é quase imediata.

[ALLEN, 1999] apresentou um resumo comentado dos artigos mais relevantes sobre previsões e econometria publicados entre 1985 e 1998. Embora, como seja de se esperar, a maioria aborde problemas de previsão de mercados e vendas, muitos destes estudam questões de preços de matérias-primas e *commodities* em geral: Conway (1990) analisa preços de carne bovina no mercado varejista norte-americano; Tegene (1994) e [KUCHLER, 1994] estudam os preços de produtos hortifrutigranjeiros nos EUA; [VERE, 1995] e [GRIFFITH, 1995] efetuam previsões para os preços das ovelhas no mercado australiano; Brown (1995), Song (1995) e McGillivray (1995) estabelecem modelos auto-regressivos para prever os preços imobiliários de residências no Reino Unido. Estes são apenas alguns poucos exemplos de modelos previsores de preços com técnicas avançadas.

[LAMBERT, 1998], in *Strategic Logistic Management*, apresenta uma tabela mostrando os diferentes processos de previsão utilizados pelos logísticos e características a estes associadas, de interesse para o uso do processo no âmbito da organização empresarial, como o tempo de implantação, o volume de utilização de recursos computacionais, a sofisticação quantitativa, a precisão alcançada e o custo.

A seção 3.3. discutirá a validade científica da utilização de modelos de previsão para estimativas futuras de preços.

3.3. A QUESTÃO DA VIABILIDADE DA MODELAGEM DE PREVISÃO DE PREÇOS: ANÁLISE TÉCNICA VERSUS ANÁLISE FUNDAMENTALISTA.

Embora a discussão sobre a aplicabilidade da análise técnica e da análise fundamentalista esteja mais adstrita à área de preços de papéis (ações, *C-bonds*, *T-bonds*, contratos futuros sem cobertura física) do que à área correspondente aos preços das *commodities* (entre as quais, de per si, se incluem o WTI e o Brent, cada um destes óleos uma *commodity*), os conceitos podem legitimamente ser extrapolados para abranger esta categoria de previsões. Tendo em vista que o

presente trabalho fundamenta-se em previsão de preços, torna-se conveniente incluir a breve discussão que se segue, a fim de se estabelecer bases mais sólidas quanto ao tema em pauta.

A hipótese de trabalho admitida pela análise fundamentalista é a existência de um valor natural, ou intrínseco, para o preço de cada papel, seja uma ação, seja um contrato futuro, seja um título ou mesmo um *C-bond*, de acordo com Castro e Oliveira apud [MUELLER, 1996]. Segundo os defensores deste enfoque, tais valores naturais ou intrínsecos dos papéis deveriam ser, teoricamente, iguais aos seus preços de mercado. A não observância de tal fato, na prática, se deve a subestimativas ou superestimativas do preço do papel, que sofre influências de toda ordem, inclusive de caráter psicológico, provocando oscilações rápidas de maior ou menor amplitude, quanto mais ineficiente e desinformado for o mercado. No entanto, dado que os preços dos papéis tendem a oscilar em torno de seu valor intrínseco, o mercado, a longo prazo, e apesar de suas imperfeições, finda por avaliar corretamente o valor de um papel. [MUELLER, 1996].

Por seu turno, a análise técnica, contraditando o enfoque fundamentalista, assume como premissa básica que os preços dos papéis apresentam tendência de movimento condicionada a uma dependência significativa dos preços observados no passado, segundo Castro apud [MUELLER, 1996]. Baseada na hipótese de que “a história sempre se repete”, essa abordagem procura explicar as oscilações dos preços dos títulos pela própria evolução de tais preços no mercado, realizando previsões sobre o comportamento futuro da precificação dos papéis, segundo Levy e Sá apud [MUELLER, 1996].

A análise técnica assume que “os papéis são avaliados de acordo com os caprichos do mercado e não de acordo com qualquer valor resultante da rentabilidade potencial e de risco da empresa”, de acordo com Vanhorne apud [MUELLER, 1996]. Sua preocupação está centrada na busca de características consideradas recorrentes no tempo, sobre as quais define probabilidades de ocorrência no futuro, associando níveis de incerteza à realização da previsão.

Modernamente, no que concerne aos preços dos títulos e papéis, a visão da maioria dos autores tende a se concentrar na análise técnica. Este é também o comportamento usual no mercado, entre investidores e demais *players* no mercado de títulos. Talvez o principal motivo seja a percepção de que a teoria fundamentalista

aplicar-se-ia com precisão apenas a um mundo ideal, imutável, no qual absolutamente todos os *players* dispusessem simultaneamente do mesmo arsenal de informações quanto ao mercado e compartilhassem das mesmas crenças e sentimentos quanto ao comportamento futuro dos preços. Embora o fenômeno da globalização, com seus corolários como a recente tecnologia da informação, tenha envidado esforços no sentido de “democratizar”, disseminar ao máximo possível a informação concordam os autores com a idéia de que nos encontramos ainda muito distantes do mundo ideal no qual a hipótese fundamentalista seria considerada adequada.

Por outro lado, embora a visão fundamentalista ainda apresente alguns defensores na área correspondente à análise de preços de títulos e papéis (principalmente no mercado de ações), no que tange ao estudo do comportamento de preços de bens e serviços, incluindo-se *commodities*, a teoria técnica é abraçada pela quase totalidade dos autores e das empresas atuantes no segmento. Um dos motivos para isto é que se torna extremamente difícil, senão impraticável, associar-se a um determinado produto um valor dito “natural”, ou “intrínseco”. Na verdade, as evidências parecem indicar que o valor de um bem econômico é mutável no tempo, com maior ou menor volatilidade, em função do clássico mecanismo de oferta e demanda e de idiosincrasias, ou padrões mensuráveis e quantificáveis, no comportamento de suas séries históricas de preços.

Cumprido ressaltar, portanto que a maioria dos autores e das empresas tende, hoje em dia, a considerar os preços das *commodities* sob o ângulo técnico, em detrimento do enfoque fundamentalista. Cabe ainda destacar que os defensores da teoria técnica refutam a *hipótese do mercado eficiente*, corolário da teoria fundamentalista. Assevera esta hipótese (sempre com foco no mercado de papéis) que a posse de um conjunto de informações públicas disponíveis num determinado instante t no tempo não altera o retorno esperado de investimento no mercado. Em linguagem mais formal, $E(r_t | I_{t-1}) = E(r_t)$, onde $E(r_t | I_{t-1})$ corresponde ao valor esperado do retorno do título no tempo t , condicionado às informações I conhecidas no tempo $t-1$. Baseado nesta hipótese, o movimento do preço de um papel seria completamente imprevisível a partir de informações tais como o preço e o volume negociados no passado do dado título ou de qualquer outro papel. A propriedade de ajustamento instantâneo das informações públicas aos preços dos títulos em um

mercado perfeitamente eficiente implica na independência entre as variações dos preços sucessivos na seqüência das negociações. Um mercado que apresente tal tipo de comportamento é, por definição, um mercado de caminhada aleatória, ou *random walk*. De acordo com o modelo de caminhada aleatória, uma série de mudanças de preços não dispõe de “memória”, e, por conseguinte, a história passada da série não pode ser utilizada para prever o futuro de uma maneira significativa.

Um processo de caminhada aleatória consiste numa seqüência de passos discretos de comprimento fixo. As perturbações térmicas aleatórias num líquido são responsáveis por um fenômeno *random walk* chamado movimento browniano, e as colisões entre moléculas num gás constituem um processo de caminhada aleatória responsável pelo fenômeno de difusão.

[MAKRIDAKIS, 1998] observa que uma caminhada aleatória constitui um modelo de série temporal no qual cada observação é igual à observação anterior somada a algum erro aleatório. Portanto, o diferencial entre as observações vem a ser “ruído branco”, e um modelo de caminhada aleatória pode, conseqüentemente, ser classificado como um modelo ARIMA (0,1,0).

As Figuras 3.1. e 3.2. a seguir mostram exemplos de caminhada aleatória unidimensional e bidimensional.

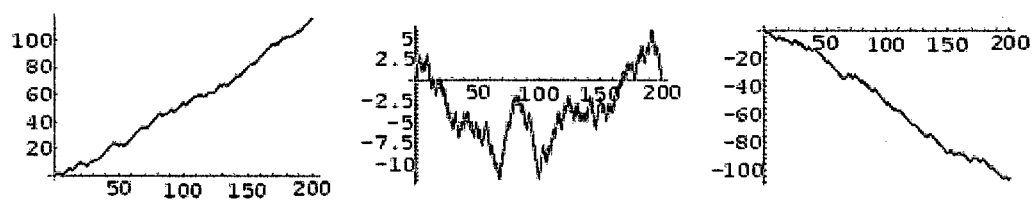


Figura 3.1. Caminhada aleatória unidimensional.

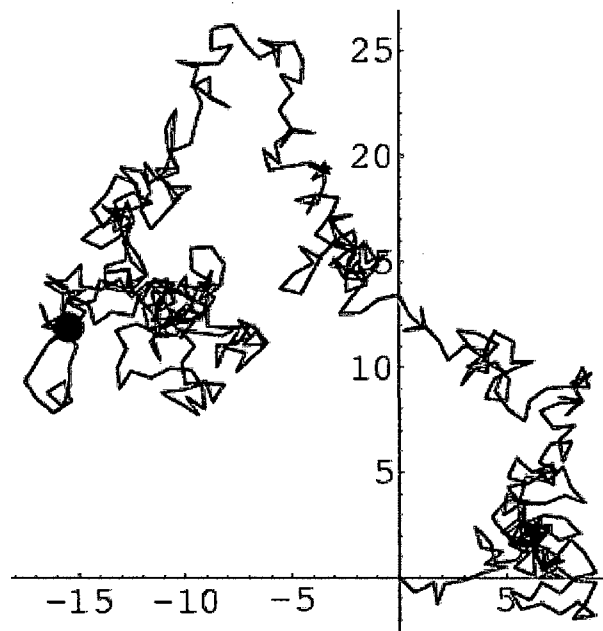


Figura 3.2. – Caminhada aleatória bidimensional (movimento browniano).

A hipótese do mercado eficiente, embora ainda conte com um pequeno número de seguidores, em particular no mercado de papéis e não mais no de *commodities*, consiste apenas numa teoria, e como tal vem sendo refutada com evidências apropriadas. Observa Lo apud [MUELLER, 1996] que estudos empíricos sobre o mercado demonstraram que o movimento das cotações de títulos em bolsa (e, com mais razão ainda, o das cotações de *commodities*) não segue o modelo de caminhada aleatória.

“Ocorre que, em vários testes realizados no mercado em todo o mundo, verificou-se ... que os preços das próximas negociações são fortemente dependentes dos preços das negociações anteriores, sendo possível, então, prever tendências de preços a partir da observação dos movimentos passados” [MUELLER, 1996].

No passado, a discussão em tela, devido à polêmica ainda existente até duas décadas atrás, seria mais crucial do que nos dias hodiernos, em que praticamente existe um consenso quanto à aplicabilidade da visão técnica no comportamento dos preços de *commodities* e a conseqüente viabilidade de sua modelagem por processos científicos de previsão. No entanto, dado que ainda subsistem vozes discordantes (embora isoladas) na comunidade científica, preferiu-se incluir neste capítulo as evidências que suportam a viabilidade e aplicabilidade do modelo que se pretende apresentar na presente dissertação.

A seção 3.4. versará sobre uma breve revisão dos métodos científicos de previsão.

3.4. REVISÃO DOS MÉTODOS CIENTÍFICOS DE PREVISÃO.

Para efeitos de uniformização de linguagem, convém inicialmente apresentar-se a conceituação científica dos fenômenos com os quais o presente trabalho vem lidando. Após as definições de conceitos básicos, passar-se-á a uma descrição resumida dos principais métodos e processos atualmente implementados nas técnicas de previsão. Não se pretende abordar de forma exaustiva e abrangente o assunto; ao contrário, a intenção consiste apenas em fornecer uma idéia geral

3.4.1. Definições básicas.

De acordo com [DIKS, 2000], [SHUMWAY, 2000], [POLLOCK, 1999] et al, são adequadas as seguintes definições:

Previsão é uma manifestação relativa a sucessos desconhecidos em um futuro determinado. A previsão não constitui um fim em si, mas um meio de fornecer informações e subsídios para uma conseqüente tomada de decisão, visando atingir determinados objetivos.

Série temporal vem a ser a classe de fenômenos cujo processo observacional e conseqüente quantificação numérica gera uma seqüência de dados distribuídos no tempo. A natureza de uma série temporal e a estrutura do seu mecanismo gerador estão relacionadas com o intervalo de ocorrência das observações no tempo. Caso o levantamento das observações da série possa ser realizado a qualquer tempo, a série é dita contínua. Entretanto, na maioria das séries, as observações são tomadas em intervalos de tempo discretos e equidistantes. Uma série temporal discreta pode ser representada por $X_T = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_T\}$, sendo que cada observação discreta x_t está associada a um instante de tempo distinto, existindo uma relação de dependência serial entre tais observações [MILLS, 1999].

O objetivo primordial da análise de séries temporais é a possibilidade de realização de inferências sobre as propriedades ou características básicas do mecanismo gerador do processo estocástico das observações da série. Destarte,

através da abstração de regularidades contidas nos fenômenos observáveis de uma série temporal, ocorre a viabilidade de se construir um modelo matemático como uma representação simplificada da realidade [CLEMENTS, 1998].

Após a formulação do modelo matemático, obtido pela seleção entre as alternativas de classes de modelos identificadas como apropriadas para tal representação e subsequente estimação de seus parâmetros, é possível utilizá-lo para testar alguma hipótese ou teoria a respeito do mecanismo gerador do processo estocástico e realizar a *previsão* de valores futuros da série temporal.

A *Preditibilidade* de um determinado evento num tempo τ no futuro é definida por:

$$\frac{R(x(t), x(t + \tau))}{H(x(t))} \quad (3.1)$$

e a *Preditibilidade linear* por:

$$\frac{L(x(t), x(t + \tau))}{H(x(t))} \quad (3.2)$$

onde R e L são a *redundância* e a *redundância linear*, respectivamente, t é o momento presente e H representa a *entropia* do sistema. Temos, por outro lado, que a *redundância* e a *redundância linear* são respectivamente definidas pelas expressões:

$$R(X_1, \dots, X_n) \equiv \sum_{i=1}^n H(x_i) - H(X_1, \dots, X_n), \quad (3.3)$$

sendo $H(x_i)$ a entropia e $H(X_1, \dots, X_n)$ a entropia conjugada, e:

$$L(X_1, \dots, X_n) \equiv -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \ln \sigma_i \quad (3.4)$$

onde σ_i são os autovalores da matriz de correlação.

A *entropia*, conceitualmente, quantifica o grau de “desordem” de um dado sistema. A *entropia* de Shannon de uma variável X é definida como:

$$H(X) \equiv -\sum_x p(x) \ln[p(x)], \quad (3.5)$$

onde $p(x)$ é a probabilidade de que X se encontre no estado x , e $p \ln p$ é definido como zero se $p = 0$. A entropia conjugada das variáveis X_1, \dots, X_n é então definida como:

$$H(X_1, \dots, X_n) \equiv -\sum_{x_1} \dots \sum_{x_n} p(x_1, \dots, x_n) \ln[p(x_1, \dots, x_n)] \quad (3.6)$$

Há outras definições de entropia, como a de Kolmogorov e a de Kolmogorov-Sinai, mas apresentam menor importância para os fins do presente trabalho. [KRYLOV, 1999], [BAGDASAROV, 1998].

Tendo-se em consideração um conjunto de observações de uma série temporal coletadas até o instante t e de um modelo que represente tais fenômenos, a previsão do valor da série no tempo $t+h$ pode ser obtida. A Figura 3.3. fornece um exemplo simples.

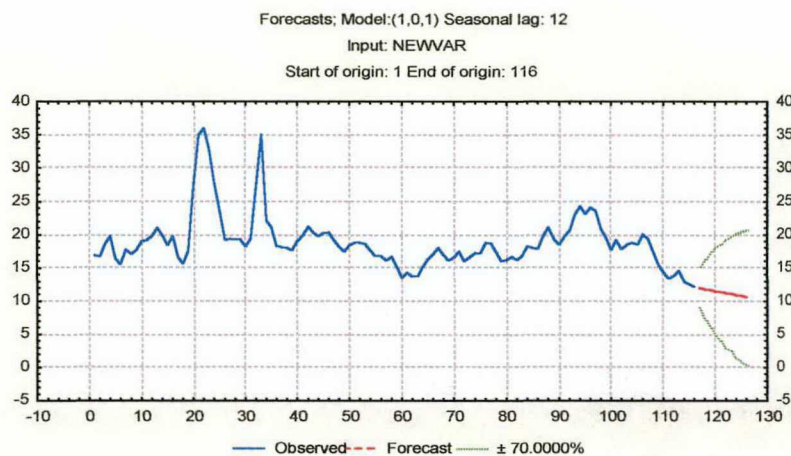


Figura 3.3. – Série histórica e previsão. A curva em azul representa o ocorrido; a linha tracejada em vermelho corresponde à previsão, e as linhas pontilhadas verdes estabelecem os limites de previsão com 70% de confiabilidade. Fonte: Petrobras, 2000.

Dependendo do valor assumido pelo horizonte de previsão, classificam-se as previsões dos valores futuros de uma série temporal como de curto, médio ou longo prazo. Desse modo, diante da possibilidade de existência de diferentes horizontes de previsão, especificam-se técnicas distintas para prognosticar os valores futuros de uma série temporal [DIKS, 2000]. Tais técnicas podem ser de múltiplos passos ou de simples passo.

A previsão de múltiplos passos, adotada para longos horizontes de previsão, procura identificar as tendências gerais e os pontos de inflexão mais relevantes na série temporal. Na previsão de múltiplos passos, o conjunto de valores correntes é empregado na realização da previsão para determinado instante; esta previsão é então

introduzida entre as observações passadas, compondo, desta forma, um novo conjunto de dados, sobre o qual será obtida a previsão do tempo subsequente.

Por seu turno, na técnica de previsão de simples passo não há incorporação de previsões aos dados utilizados para encontrar a próxima previsão, sendo esta, em consequência, independente dos valores anteriormente previstos. A previsão é realizada apenas para o período de tempo imediatamente posterior ao atual, a partir das observações da série temporal.

Segundo alguns autores, entre os quais [YAFFEE, 2000] e [MILLS, 1999], a garantia da otimalidade das previsões de uma série temporal somente é alcançada adotando-se como horizonte de previsão o instante de tempo imediatamente subsequente à origem t .

Naturalmente, a investigação do poder preditivo do modelo especificado como o mais adequado para explicar o mecanismo gerador das observações de uma série temporal é um processo empírico de verificação, visto que são feitas comparações entre as previsões e as observações, a fim de confirmar a habilidade do modelo matemático em descrever a estrutura definida pelos dados da série temporal analisada. É importante salientar que o caráter previsional de um determinado modelo não pode ser sustentado quando forem identificadas mudanças estruturais nas observações obtidas a partir da origem, em relação àquelas utilizadas para a elaboração do modelo [ROSENBLATT, 2000], [CLEMENTS, 1999], [FRANSES, 1999] et al.

3.4.2. Visão geral dos métodos de previsão de séries temporais.

Apresenta-se a seguir uma revisão dos principais métodos de previsão de séries temporais. [YAFFEE, 2000], [MILLS, 1999], [MAKRIDAKIS, 1998] et al definem um método de previsão como sendo o conjunto de procedimentos e técnicas utilizados no desenvolvimento de uma determinada previsão.

Os métodos de previsão de séries temporais, classificados como métodos quantitativos, baseiam suas previsões na extrapolação de características de observações passadas e no inter-relacionamento entre essas observações, fornecendo previsões acuradas se o futuro apresentar comportamento similar ao passado [MAKRIDAKIS, 1998].

De acordo com [YAFFEE, 2000], a maioria dos métodos de previsão de séries temporais se baseia na suposição de que as observações passadas contêm todas as informações sobre o padrão de comportamento da série temporal e esse padrão é recorrente no tempo. O propósito dos métodos de previsão consiste em distinguir o padrão de qualquer ruído que possa estar contido nas observações e então usar esse padrão para prever os valores futuros da série temporal. Assim, pela identificação desse componente, a previsão para períodos de tempo subsequentes ao observado pode ser desenvolvida.

Apesar de quase a totalidade dos métodos de previsão de séries temporais estar fundamentada apenas na análise das observações da série de interesse para a especificação de algum modelo que descreva essas observações, alguns procedimentos de previsão tentam explicar o comportamento de uma série temporal pela evolução dos fenômenos observacionais de outras séries. Desta forma, dependendo do número de séries temporais envolvidas na modelagem, [DIKS, 2000], [MAKRIDAKIS, 1998], [AKAIKE, 1998] et al classificam os métodos de previsão em univariados, funções de transferência e processos multivariados.

Os métodos univariados, que compreendem a maior parte dos métodos de previsão de séries temporais, consideram somente uma única série para a realização dos prognósticos. As previsões decorrentes da aplicação de métodos univariados podem estar relacionadas apenas com as informações contidas na série histórica de interesse (métodos baseados na estatística clássica) ou também, além de incorporarem essas informações, consideram outras supostamente relevantes e que não estão contidas na série analisada (métodos baseados na estatística bayesiana).

Aquelas metodologias nas quais a série de interesse é explicada não só pelo seu passado histórico, como também por outras séries temporais não-correlatas entre si, são conhecidas como funções de transferência ou técnicas de regressão dinâmica. Esta classe de métodos de previsão envolve, portanto, mais de uma série temporal, com a ressalva de que a relação de causalidade entre estas séries é perfeitamente conhecida.

Os métodos ditos multivariados abrangem os procedimentos de previsão que associam mais de uma série temporal na efetivação de prognósticos sem, no entanto, qualquer imposição com relação à causalidade entre essas séries.

Diante disso, como pode ser observado, há uma variedade enorme de métodos de previsão de séries temporais, cada qual com suas capacidades e limitações [YAFFEE, 2000], [MAKRIDAKIS, 1998]. Qualquer que seja a classificação desses métodos, é possível utilizar um número muito grande de métodos diferentes para descrever o comportamento de uma série particular. A seleção do método de previsão adequado depende de vários fatores, tais como o comportamento do fenômeno observável ou o conhecimento apriorístico que se tenha sobre a sua natureza e do objetivo da análise.

[DIKS, 2000] e [YAFFEE, 2000], entre outros, relacionam os métodos de previsão baseados exclusivamente em uma única série histórica de dados em métodos de decomposição, métodos simples de previsão e métodos avançados de previsão de séries temporais.

3.4.3. Métodos de decomposição de séries temporais.

Os métodos de decomposição assumem como premissa básica que uma série temporal é constituída por um conjunto de componentes não-observáveis [DIKS, 2000]. Dessa forma, pela identificação das componentes individuais presentes no padrão básico da série histórica de dados (tendência, ciclo, sazonalidade e aleatoriedade), a extrapolação para o futuro pode ser realizada [YAFFEE, 2000], [MAKRIDAKIS, 1998].

[YAFFEE, 2000] expressa o relacionamento entre as componentes não-observáveis da série temporal através da equação (3.7).

$$x_t = f(S_t, T_t, C_t, E_t), \quad (3.7)$$

onde, sempre tendo em vista o período t , S_t corresponde à componente sazonal, T_t representa a componente de tendência, C_t constitui a componente de ciclo e E_t vem a ser a componente aleatória.

Segundo [SHUMWAY, 2000], a componente sazonal representa as flutuações da série de acordo com algum fator de sazonalidade. O ciclo apresenta um comportamento similar à componente sazonal, embora tenha normalmente comprimento maior que aquela. Justamente pelo fato de não apresentar duração uniforme, a identificação da componente ciclo é mais problemática. A tendência representa o aumento ou declínio gradual nos valores das observações de uma série

temporal. Com a remoção das componentes de sazonalidade, ciclo e tendência, a componente aleatória fica determinada [YAFFEE, 2000], [MAKRIDAKIS, 1998].

[YAFFEE, 2000] assevera que vários procedimentos para a decomposição de séries temporais foram desenvolvidos, cada qual tentando isolar as componentes não-observáveis da série o mais acuradamente possível. O objetivo desses procedimentos consiste em remover cada uma das componentes, permitindo que o comportamento da série temporal seja melhor compreendido e, conseqüentemente, prognosticar valores futuros mais apropriados.

3.4.4. – Métodos simples de previsão de séries temporais.

Os métodos simples de previsão de séries temporais efetuam a previsão do valor futuro da série temporal pelo amortecimento das observações passadas da série de interesse [YAFFEE, 2000]. Assumindo que os valores extremos da série representam flutuações aleatórias [SHUMWAY, 2000], o propósito desses métodos consiste em identificar o padrão básico presente nos dados históricos e, então, usar esse padrão para prever valores futuros.

[SHUMWAY, 2000] e outros autores associam a grande popularidade desses métodos à simplicidade, à eficiência computacional e à razoável previsão obtida. Entre os métodos simples de previsão destacam-se o da Média Móvel, o Amortecimento Exponencial Simples, o Amortecimento Exponencial Linear e o Amortecimento Exponencial Sazonal e Linear de Winter, os quais são apresentados sucintamente na seqüência.

O método das *Médias Móveis (MA)* considera como previsão para o período futuro a média das observações passadas recentes.

A média móvel para o período de tempo t é definida por:

$$x_t = \frac{x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-n}}{n} \quad (3.8)$$

onde n representa o número de observações incluídas na média .

O termo média móvel é utilizado porque à medida que a próxima observação se torna disponível, a média das observações é recalculada, incluindo essa observação no conjunto de observações e desprezando a observação mais antiga.

[YAFFEE, 2000] coloca que quanto maior o número de observações incluídas na média móvel, maior o efeito de amortecimento na previsão. Assim, caso a série temporal apresente muita aleatoriedade ou pequenas mudanças nos padrões dessa série, um número maior de valores podem ser utilizados no cálculo da média móvel, obtendo-se uma previsão mais alisada.

Entretanto, se houver pouca flutuação aleatória nos dados ou mudança significativa no padrão da série, um número menor de observações deve ser incluído no conjunto de valores empregado na determinação da média para que se possa reagir a essas alterações mais rapidamente.

Por outro lado, a princípio, o método conhecido como *Amortecimento Exponencial Simples* se assemelha ao da Média Móvel por extrair das observações da série temporal o comportamento aleatório pelo amortecimento dos dados históricos. Entretanto, a inovação introduzida pelo Amortecimento Exponencial Simples advém do fato de este método atribuir pesos diferentes a cada observação da série. Enquanto que na Média Móvel as observações usadas para encontrar a previsão do valor futuro contribuem em igual proporção para o cálculo dessa previsão, no Amortecimento Exponencial Simples as informações mais recentes são evidenciadas pela aplicação de um fator que determina essa importância [YAFFEE, 2000].

Segundo [YAFFEE, 2000], o argumento para o tratamento diferenciado das observações da série temporal é fundamentado na suposição de que as últimas observações contém mais informações sobre o futuro e, portanto, são mais relevantes para a previsão.

[YAFFEE, 2000] especifica o método Amortecimento Exponencial Simples através da equação (3.9).

$$F_{t+1} = \alpha x_t + (1 - \alpha)F_t \quad (3.9)$$

onde F_{t+1} representa a previsão no tempo $t+1$ e α é o peso atribuído à observação x_t , sendo $0 < \alpha < 1$.

De acordo com [SHUMWAY, 2000] e [GRANGER1977], o valor assumido por α determina o ajuste aplicado aos dados. Quanto menor o valor da constante, mais estáveis serão as previsões, visto que a utilização de baixo valor de α implica na atribuição de peso maior às observações passadas e, conseqüentemente, qualquer flutuação aleatória no presente contribui com menor importância para a obtenção da

previsão. Contudo, não há metodologia que oriente quanto à seleção de um valor apropriado para α , sendo normalmente encontrado por tentativa e erro [YAFFEE, 2000]. Um procedimento mais objetivo seria a seleção do valor de que forneça a “melhor previsão das observações contidas na série temporal” [SHUMWAY, 2000].

Porém, quando o método do Amortecimento Exponencial Simples é aplicado na previsão de séries temporais que apresentam tendência entre as observações passadas, os valores prognosticados superestimam (ou subestimam) os valores reais [SHUMWAY, 2000]. Desta forma, a acuidade das previsões fica prejudicada.

Para evitar esse erro sistemático, o método do *Amortecimento Exponencial Linear* foi desenvolvido procurando reconhecer a presença de tendência na série de dados [YAFFEE, 2000]. O valor da previsão obtido através deste método é alcançado pela aplicação da equação (3.10) [YAFFEE, 2000].

$$F_{t+m} = S_t + mT_t \quad (3.10)$$

onde S_t corresponde à previsão no tempo t , conforme a equação (3.11); T_t representa a componente de tendência, obtida pela equação (3.12), e m constitui o horizonte de previsão.

$$S_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.11)$$

com α representando o peso atribuído à observação x_t , sendo $0 < \alpha < 1$.

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3.12)$$

sendo β o coeficiente de amortecimento, análogo a α .

O método do Amortecimento Exponencial Sazonal e Linear de Holt-Winters, por sua vez, produz resultados similares ao Amortecimento Exponencial Linear, sendo, no entanto, capaz de manipular séries temporais que além de apresentarem tendência nos dados, apresentam também sazonalidade [YAFFEE, 2000]. As equações (3.13), (3.14), (3.15) e (3.16) definem o referido método de previsão.

$$S_t = \alpha \frac{x_t}{I_{t-1}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.13)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3.14)$$

$$I_t = \gamma \frac{x_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-1} \quad (3.15)$$

$$F_{t+m} = (S_t + mT_t)I_{t-t+m} \quad (3.16)$$

sendo I_t correspondente ao amortecimento do fator de sazonalidade x_t/S_t ; l o intervalo de sazonalidade e γ o peso atribuído ao fator de sazonalidade.

3.4.5. – Métodos avançados de previsão de séries temporais.

No universo dos métodos de previsão de séries temporais mais complexos, encontram-se os modelos auto-regressivo e Médias Móveis (AR, MA e ARMA), modelos auto-regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA), Filtros de Kalman e AEP, modelos ARARMA de [PARZEN, 1999], modelos ARMA Multivariáveis (MARMA), entre outros [YAFFEE, 2000]. Os métodos assim classificados obtêm a previsão de algum valor futuro da série temporal pela combinação dos valores reais passados e/ou dos erros ocorridos, e são denominados modelos avançados de previsão. Os modelos AR, MA, ARMA e ARIMA são descritos a seguir.

Box & Jenkins [BOX, 1994], [YAFFEE, 2000] e outros autores descrevem três procedimentos capazes de representar as observações de uma série temporal estacionária: modelo auto-regressivo (AR), modelo de Médias Móveis (MA) e o modelo auto-regressivo e de Médias Móveis (ARMA).

A especificação de um modelo auto-regressivo (AR) é dada pela equação (3.17) [YAFFEE, 2000].

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + e_t \quad (3.17)$$

onde x_t corresponde à observação da série temporal no tempo t ; ϕ_p constitui o parâmetro do modelo AR de ordem p e e_t representa o erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo.

Caso as observações da série temporal possam ser representadas pela equação (3.17), a ordem do modelo puder ser determinada e os parâmetros estimados, é possível prever o valor futuro da série em análise [YAFFEE, 2000].

Um modelo de Médias Móveis (MA) fica definido conforme a equação (3.18) [YAFFEE, 2000].

$$x_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (3.18)$$

onde e_t representa o erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo e θ_q corresponde ao parâmetro do modelo MA de ordem q .

A equação (3.18) é similar à equação (3.17), exceto pelo fato de que o valor previsto para a observação depende dos valores dos erros observados em cada período passado, ao invés das observações propriamente ditas [YAFFEE, 2000].

[MAKRIDAKIS, 1998], [YAFFEE, 2000], [FRANSES, 1999] et al especificam o modelo misto Auto-regressivo e de Médias Móveis (ARMA) através da equação (3.19), como sendo a combinação dos modelos AR e MA.

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (3.19)$$

Analisando a equação (3.19) é possível verificar que os modelos ARMA relacionam os valores futuros com as observações passadas, assim como também com os erros passados apurados entre os valores reais e os previstos.

O destaque atribuído ao modelo de George Box e Gwilyn Jenkins [BOX, 1994], que também pode ser incluído nesta classificação, é devido principalmente a sua fundamentação teórica, sendo a princípio capaz de manipular séries temporais de qualquer natureza. O método de Box e Jenkins consiste na busca de um modelo ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) que represente o processo estocástico gerador da série temporal, a partir de um modelo ARMA aplicável na descrição de séries temporais estacionárias, estendendo esse conceito para séries temporais não-estacionárias [MAKRIDAKIS, 1998].

Genericamente, um processo ARIMA(p, d, q) pode ser representado pelas equações (3.20) e (3.21).

$$w_t = \phi_1 w_{t-1} + \dots + \phi_p w_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q}, \quad (3.20)$$

$$\text{sendo } w_t = x_t - x_{t-d} \quad (3.21)$$

onde ϕ_p e θ_q representam os parâmetros dos processos auto-regressivo e de média móvel de ordem p e q (ARMA(p, q)), e_t corresponde ao erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo e d equivale ao grau de homogeneidade não-estacionária.

De acordo com [BOX, 1994], a estratégia para construção de um modelo ARIMA envolve uma abordagem iterativa que pode ser sumarizada conforme ilustra o fluxograma da Figura 3.4.

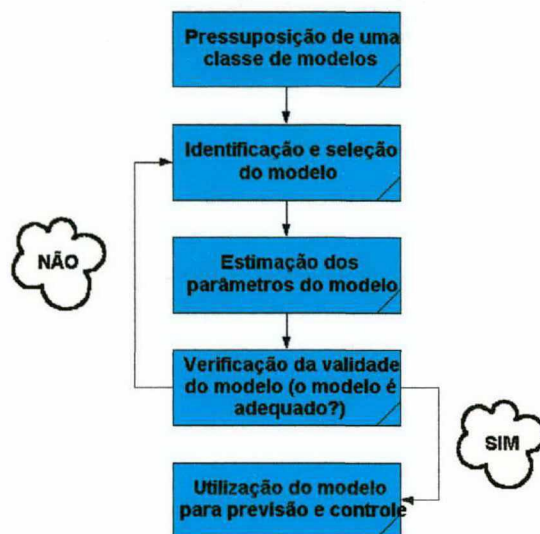


Figura 3.4. – Fluxograma dos estágios de construção de um modelo ARIMA.

Fonte: [BOX, 1994].

O objetivo da identificação é determinar os valores de p , d e q do modelo $ARIMA(p,d,q)$ [MAKRIDAKIS, 1998]. Inicialmente, a série temporal é diferenciada para se obter uma série estacionária. Com isso, o processo fica reduzido a um modelo $ARMA(p,q)$. Em seguida, a ordem do processo ARMA é identificada pela análise dos coeficientes de autocorrelação e autocorrelação parcial. Ainda nesta etapa são efetuadas estimativas preliminares dos parâmetros do modelo identificado.

Após a identificação do modelo que seja uma representação adequada do mecanismo gerador da série, a estimação dos parâmetros desse modelo é efetuada. [CLEMENTS, 1998] afirma que os parâmetros do processo AR são estimados através de métodos de regressão; caso o processo MA esteja envolvido, a estimação dos parâmetros deste modelo é obtida pela aplicação de algum algoritmo de otimização não-linear.

Uma vez estimado o modelo, a verificação de sua habilidade em representar os fenômenos observáveis da série temporal é confirmada pela análise dos erros do modelo proposto. Caso a inadequação fique evidenciada, o ciclo de identificação, estimação e verificação é novamente aplicado, até que a representação apropriada seja encontrada. A análise dos erros será vista oportunamente em maiores detalhes.

Após a validação do modelo, a previsão dos valores futuros da série temporal modelada pode, enfim, ser obtida.

3.4.6. Outros métodos avançados de previsão de séries temporais.

Pode-se citar, entre os mais relevantes, os modelos de regressão com erros ARIMA, a análise de intervenção, os modelos regressivos multivariados, os modelos de estado espacial e os modelos não-lineares em geral, além dos modelos de redes neurais, que serão vistos oportunamente.

Os modelos de regressão com erros ARIMA são derivados dos modelos de regressão da forma

$$Y_t = b_0 + b_1 X_{1,t} + \dots + b_k X_{k,t} + N_t \quad (3.22)$$

Ou seja, Y_t é modelado como função das k variáveis explicativas $X_{1,t}, \dots, X_{k,t}$.

O erro na equação acima é N_t . Os modelos de regressão usuais assumem que N_t é uma série não relacionada, ou seja, ruído branco. Os modelos com erros ARIMA assumem que N_t é uma série ARIMA. Por exemplo, se N_t for considerado um modelo ARIMA(1,1,1), o modelo acima pode ser descrito como

$$Y_t = b_0 + b_1 X_{1,t} + \dots + b_k X_{k,t} + N_t \quad (3.23)$$

onde

$$(1 - \phi_1 B)(1 - B)N_t = (1 - \theta_1 B)e_t \quad (3.24)$$

e e_t é uma série de ruído branco.

Por sua vez, a *Análise de Intervenção* parte do pressuposto de que uma determinada intervenção — um fato novo e de importante impacto no contexto do comportamento da série — pode ser identificada e incorporada no contexto da previsão da série temporal.

A premissa básica consiste no fato de que um evento notável pode influenciar a série temporal de uma forma passível de ser modelada. Variáveis de intervenção, ou modelos de formas de influência na série, podem ser consideradas como funções de impacto na série temporal; entre as mais importantes podemos citar as funções de passo, resposta retardada, pulso e resposta amortecida.

Um exemplo de resposta retardada na análise intervencional seria apresentada pelo modelo

$$\nu(B) = \frac{\omega}{1 - \delta B} X_t \quad (3.25)$$

onde X_t é a variável de passo.

Outros modelos podem ser definidos utilizando-se a variável de passo com diferentes funções de transferência; a forma geral do modelo é dada por

$$Y_t = a + \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_t + N_t \quad (3.26)$$

De aplicação mais recente são os modelos não-lineares. Quase todos os métodos, simples ou avançados, de previsão de preços, partem da premissa de que os processos obedecem a uma lógica linear. Mas não existe garantia no mundo real de que os fenômenos obedeçam sempre a uma regra de formação linear.

Na década de 80, os modelos não lineares tornaram-se populares na esteira do estudo da Teoria do Caos e com a introdução de numerosas equações não lineares da forma

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}) + g(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p})e_t \quad (3.27)$$

onde Y_t representa a série temporal observada (estacionária), e_t é uma série de ruído branco, e f e g são funções das observações passadas da série. Se, na equação (3.27), g for a função unitária e f representar uma função linear, a equação (3.27) fornece um modelo linear AR(p) ordinário. Com f e g representando funções não lineares, uma ampla variedade de modelos pode ser obtida. Por exemplo, os modelos parcimoniosos de Tong (1983, 1990), modelos exponenciais auto-regressivos (Ozaki, 1980) e modelos ARCH (Engle, 1982).

Um fato interessante no comportamento dos modelos não lineares é que estes admitem um comportamento caótico. O Caos é a característica das séries temporais cujos valores parecem ser aleatórios e não periódicos, mas que na verdade são o resultado de um processo totalmente determinístico. Tipicamente, uma muito pequena mudança numa observação ira afetar as observações futuras com uma magnitude exponencialmente crescente. Em contraposição, em séries temporais de comportamento linear, uma pequena mudança nas observações desaparecerá rapidamente. Este fato apresenta sérias conseqüências para a previsibilidade das series temporais não lineares.

3.4.7. Modelos de função de transferência (regressão dinâmica).

Os modelos de função de transferência, regressão dinâmica ou períodos distribuídos (*distributed lags*) diferem dos modelos univariados por considerarem a

existência de outras séries temporais que podem influenciar, ou explicar, o comportamento da série específica sob análise. Tais modelos foram discutidos detalhadamente por Maddala (1977), [FOMBY, 1987], [HILL, 1984] & [JOHNSON, 2001] em 1984, Judge, [GRIFFITH, 1995], [HILL, 2000], Lütkepohl & [LEE, 1999] em 1985 e [PANKRATZ, 1991], entre outros pesquisadores. Em sua forma mais simples, tal modelo pode ser apresentado como segue. Suponha-se a existência de uma variável dependente Y e uma variável independente, ou explanatória, X , sendo ambas medidas ao longo do tempo. Alguns autores denominam a variável dependente de endógena, e a variável independente, ou explanatória, de exógena. O modo mais simples de descrever o relacionamento entre ambas as variáveis seria através de uma relação linear:

$$Y_t = \sum \beta_i x_{t-i}, \quad (3.28)$$

onde o valor da variável dependente no tempo t é expresso como uma função linear de X calculada nos tempos $t, t-1, t-2$, etc. Então, a variável dependente é uma função linear de X , e X é deslocado por 1, 2, etc. períodos de tempo. Os pesos β_i podem ser considerados como parâmetros de inclinação. A equação (3.28) pode ser considerada como um caso particular da equação geral de regressão linear. Se os pesos aplicados aos períodos de tempo deslocados são estatisticamente significativos, pode-se concluir que a variável Y é prevista (ou explicada) através de seu respectivo deslocamento no tempo.

O modelo pode incluir não apenas a variável explicativa X_t , mas também os valores anteriores da variável explicativa, como $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}$. Assim, pode-se redigir o modelo como

$$Y_t = a + v_0 X_t + v_1 X_{t-1} + v_2 X_{t-2} + \dots + v_k X_{t-k} + N_t \quad (3.29)$$

onde N_t é um processo ARIMA. Tais modelos surgem da observação prática de que eventualmente o efeito de uma variável explanatória x_t não aparece na variável explicada y_t instantaneamente, mas se distribui ao longo de vários períodos de tempo. Alguns exemplos explicam melhor: o efeito das chuvas sobre o volume dos cursos de água não é imediato; leva algum tempo até que a chuva se incorpore ao fluxo de água e o aumente. O efeito de uma campanha publicitária não acontece imediatamente na venda do produto e dura algum tempo até depois de terminada a campanha. O efeito

de um novo alimento sobre o desenvolvimento do rebanho será necessariamente distribuído no tempo.

A equação (3.29) pode ser escrita como:

$$Y_t = a + v(B)X_t + N_t \quad (3.30)$$

Esta equação pode ser escrita de diversas formas diferentes. Nesta forma, $v(B)$ é chamada *função de transferência*, uma vez que descreve como uma mudança em X_t é transferida para Y_t . O modelo de função de transferência, ou regressão dinâmica, é o modelo utilizado no presente trabalho para previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent.

Os modelos de estado espacial partem da premissa de que uma variável cujo comportamento se pretende explicar, Y_t , pode ser expressa como uma função linear de diversas variáveis aleatórias $X_{1,t}$, $X_{2,t}$, ..., $X_{d,t}$. Portanto, pode-se escrever:

$$Y_t = h_1 X_{1,t} + h_2 X_{2,t} + \dots + h_d X_{d,t} + z_t \quad (3.31)$$

As variáveis $X_{1,t}$, $X_{2,t}$, ..., $X_{d,t}$ são ditas variáveis de estado e não são necessariamente observadas. A equação (3.31) pode se reescrita de forma matricial:

$$Y_t = HX_t + z_t \quad (3.32)$$

onde X_t é uma série temporal multivariada e com os estados variáveis como componentes e H sendo uma matriz com uma linha consistindo dos elementos h_1, \dots, h_d . A equação (3.32) é considerada a equação de observação e assume-se que X_t depende do estado anterior:

$$X_t = FX_{t-1} + Ge_t \quad (3.33)$$

onde e_t é ruído branco e F e G são os parâmetros do modelo. A equação (3.33) é chamada equação de estado. Note-se que isto é quase o mesmo que um modelo multivariado AR(1), exceto que isto é apenas para a variável de estado ao invés da serie temporal, e que há uma matriz adicional G.

Juntas, as equações (3.32) e (3.33) formam um modelo de estado espacial. Tal modelo de estado espacial para uma serie temporal multivariada Y_t é escrita exatamente da mesma forma, exceto que Y_t e z_t são substituídos por vetores.

Na seção 3.5. a abrangência do método será mais profundamente explorada.

3.4.8. Modelos multivariados

Em linhas gerais, os modelos multivariados são similares aos modelos de regressão dinâmica. Ambos operam com as mesmas premissas, ou seja, a existência de séries temporais (explicativas) cujo desempenho afeta a série que se pretende estudar, a série explicada.

No entanto, na análise dinâmica, considera-se que os valores atuais e passados da variável explicativa, X , podem influenciar a variável explicada, Y . No entanto, o inverso não é verdadeiro: a Y não é permitido influenciar X .

Nos casos em que não se aplica a premissa acima, ou seja, quando tanto X como Y podem influenciar-se mutuamente, empregam-se então os modelos regressivos multivariados, cuja equação geral é da forma:

$$Y_t = \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + e_t, \quad (3.34)$$

onde Y_t representa o vetor da série temporal de saída, e_t é a série de “ruído” e Φ_1, \dots, Φ_p são as matrizes dos coeficientes auto-regressivos:

$$\Phi_1 = \begin{bmatrix} \phi_{111} & \phi_{121} \\ \phi_{211} & \phi_{221} \end{bmatrix}, \Phi_2 = \begin{bmatrix} \phi_{112} & \phi_{122} \\ \phi_{212} & \phi_{222} \end{bmatrix}, \dots, \Phi_p = \begin{bmatrix} \phi_{11p} & \phi_{12p} \\ \phi_{21p} & \phi_{22p} \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

3.4.9. Modelos de redes neurais

Redes neurais artificiais são baseadas em modelos matemáticos relativamente simples sobre o modo como o cérebro é suposto funcionar. Aplicados a series temporais, tais modelos fornecem um método de previsão não linear. Em geral, um modelo de redes neurais artificiais requer um número muito elevado de observações para funcionar a contento, mas também fornece modelos mais flexíveis e poderosos.

Os autores que utilizam redes neurais na previsão também empregam uma terminologia um pouco diferente da utilizada em outros métodos. Por exemplo, ao invés de modelo, tem-se uma rede. As redes trabalham com pesos ao invés de parâmetros. Não se fala em estimar parâmetros, e sim em treinar a rede.

Uma rede neural pode ser concebida como uma malha de unidades semelhantes a neurônios organizadas em camadas, ou *layers*. A camada inferior consiste num conjunto de dados de entrada e a camada superior consiste num

conjunto de dados de saída. As unidades (neurônios) em cada uma das camadas estão vinculados a outras unidades em camadas superiores.

Uma rede neural é determinada a partir de alguns componentes: a arquitetura da rede, que determina o número de camadas, a quantidade de neurônios em cada uma delas e o modo como tais neurônios são relacionados entre si; as funções de ativação, que descrevem como cada unidade combina os conjuntos de dados de entrada para produzir um conjunto coerente de saídas; a função de custo, ou medida da precisão da previsão, que pode ser uma medida como o MSE (erro médio quadrático); e um algoritmo de treinamento da rede que minimize a função de custo.

O poder das redes neurais provém da inclusão de camadas adicionais intermediárias no modelo. Tais camadas de unidades ocultas não lineares formam uma rede intermediária entre a entrada e a saída do modelo. A Figura 3.5. mostra uma representação esquemática de uma rede neural com uma camada oculta.

A resposta de uma unidade neural é dita o seu valor de ativação. Uma escolha corrente para uma função de ativação não linear é a combinação de uma função linear para as entradas do modelo e uma função não linear de “achatamento” conhecida como sigmóide, ou função logística. Por exemplo, as entradas numa unidade oculta na Figura 3.5. podem ser combinadas para gerar

$$Z = b + \sum_{i=1}^p w_i Y_{t-i} \quad (3.35)$$

que, por seu turno, é uma entrada para a função não linear

$$S(Z) = \frac{1}{1 + e^{-aZ}} \quad (3.36)$$

onde $S(Z)$ é a função sigmóide, ou função logística.

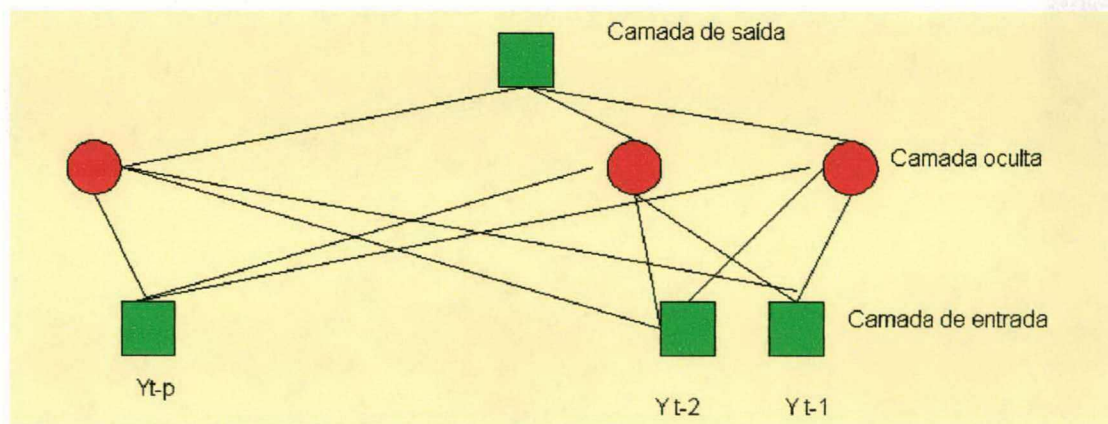


Figura 3.5. – Representação esquemática de uma rede neural com uma camada oculta.

Fonte: [MAKRIDAKIS, 1998].

3.4.10. Considerações sobre os métodos de previsão de séries temporais.

Algumas considerações quanto aos Métodos de Previsão de Séries Temporais podem ser tecidas. Makridakis, Wheelwright, Hyndman, Yaffee e outros autores investigaram o poder preditivo de vários métodos comumente utilizados na previsão de séries temporais. Pela comparação dos resultados alcançados, identificaram situações onde esses métodos apresentam melhor desempenho e definiram alguns critérios para a seleção dos procedimentos de previsão, pela confrontação dos objetivos a atingir.

O estudo desenvolvido por tais pesquisadores constatou que o incremento da complexidade e da sofisticação estatística dos métodos de previsão de séries temporais não implica, necessariamente, em uma melhora na acuidade da previsão. “Métodos simples de previsão podem apresentar desempenho extremamente satisfatório sob determinadas condições de contorno” [YAFFEE, 2000]. Além disso, métodos de previsão menos complexos normalmente permitem alcançar total compreensão de suas suposições e limitações, e de interpretação de seus resultados. Assim, antes de se adotar um método de previsão mais complexo, é necessário avaliar os benefícios que um método dessa natureza pode gerar em relação ao custo de sua aplicação.

Segundo [YAFFEE, 2000], como a acuidade de uma previsão fica determinada não apenas pelo horizonte de previsão especificado, mas também pelas características das observações da série temporal investigada, a otimização desse critério pode ser alcançada com a aplicação de mais de um método de previsão. A combinação de previsões ou a verificação da consistência desses valores permite aumentar a confiabilidade da previsão e reduzir a possibilidade de grandes desvios.

Clements e Hendry [CLEMENTS, 1998] também analisaram a frequência de aplicação de diferentes métodos de previsão de séries temporais considerando como critérios o horizonte de previsão, familiaridade com os procedimentos preditivos e

nível de satisfação decorrente do emprego desses procedimentos. Em relação ao horizonte de previsão, o Amortecimento Exponencial Simples e a Média Móvel são mais frequentemente usados para períodos curtos, menos para médio prazo e menos ainda para longo prazo, comprovando evidências empíricas que indicam melhor desempenho destes métodos para horizonte de previsão menores [YAFFEE, 2000]. Independente do horizonte de previsão adotado, pouca aplicabilidade do método de Box e Jenkins pode ser observada.

3.5. O ESTADO DA ARTE E REVISÃO DA LITERATURA.

Nas seções 3.1 a 3.4., foi apresentado um breve sumário da evolução histórica dos métodos e técnicas científicas de previsão. Efetuou-se também uma sucinta revisão dos métodos modernamente mais utilizados na indústria e nos meios acadêmicos, com enfoque particular nas técnicas de previsão de preços de matérias primas e *commodities*.

Nesta seção 3.5., serão mostradas de modo um pouco mais detalhado as técnicas mais avançadas de previsão em uso atualmente, ou seja, o estado da arte no assunto, e os principais autores que se dedicam hoje ao estudo de tais técnicas, além das pesquisas mais recentes desenvolvidas no campo dos processos preditivos.

3.5.1. Modelos de regressão dinâmica.

Observam [YAFFEE, 2000], [ROSENBLATT, 2000], [MAKRIDAKIS, 1998] et al que, nos dias atuais, encontram-se em franca utilização, tanto na indústria como nos meios acadêmicos, poderosas técnicas univariadas de previsão, como por exemplo Holt-Winters, Box-Jenkins e ARIMA. Tais métodos permitem extrair grande quantidade de informações quanto à série temporal estudada, gerando, em termos gerais, um conhecimento aprofundado do comportamento no fenômeno no tempo e fornecendo, por conseguinte, previsões de boa qualidade.

No entanto, os recentes avanços na Teoria dos Sistemas, na Teoria da Informação e no estudo do caos e da complexidade, entre outras disciplinas, têm

levado os pesquisadores a uma visão mais abrangente e integrada de todas as classes de fenômenos.

A epistemologia da mecânica clássica partia do pressuposto de que o todo é sempre igual à soma das partes, e que, dado um determinado fenômeno, é possível decompô-lo em unidades mais simples, sendo possível prever o comportamento do todo a partir do comportamento individual das partes componentes. Mas os requisitos mentais para a aceitação da mecânica quântica romperam com tal preceito, dando margem ao surgimento das teorias acima citadas, nas quais, como pressuposto, nem sempre o todo é igual ao somatório das partes, a realidade pode apresentar-se sob diferentes aspectos (dualidade onda-partícula, pedra basilar da mecânica quântica), os eventos jamais são absolutos, e são sempre relativos ao referencial de observação (Einstein, relatividade restrita), e o comportamento de diferentes sistemas pode, de modo insuspeitado, afetar os processos e atividades de outros sistemas com os quais a mecânica clássica não estabelece conexão, como assevera a teoria do caos e da complexidade com o conhecido teorema da borboleta chinesa.

Difícilmente, na natureza, poder-se-á considerar um fenômeno (mesmo para fins de modelagem) como um processo estanque, fechado em si mesmo, sem relações de conexão ou coordenação com outros fenômenos naturais. O próprio senso comum indica que fenômenos estão interligados entre si por relações de causa e efeito num nível muito mais profundo do que pode ser julgado à primeira vista. Não por acaso, uma das origens da teoria do caos e da complexidade está vinculada às técnicas meteorológicas de previsão do tempo.

Portanto, segundo os autores citados acima, a crítica que se pode fazer aos processos univariados de previsão é que estes, embora aprofundem ao máximo o estudo do comportamento de um determinado fenômeno, não levam em consideração outras variáveis, outros fenômenos, outros processos, que, na prática e na realidade, influenciam o comportamento do evento estudado.

Não será tomado como exemplo o processo de previsão do tempo, que exige o estudo de um grande número de variáveis correlacionadas, e no qual uma minúscula variação num dos parâmetros de entrada pode alterar de modo surpreendentemente amplo o resultado final previsto (base da teoria dos sistemas complexos). Este representa um caso extremo de complexidade. Basta considerar-se o caso da previsão dos preços de uma determinada *commodity*, por exemplo o

petróleo Brent ou o óleo WTI. Não é difícil imaginar que, além do inter-relacionamento das variáveis endógenas, outras variáveis exógenas influenciam o comportamento da série temporal de preços. Parâmetros como o desempenho da economia globalmente considerado, o nível de atividade industrial e a produção de petróleo atuam decisivamente na explicação do comportamento do fenômeno.

Os métodos multivariados, objeto de notável montante de pesquisa nos últimos tempos, além de incorporarem o conhecimento do fenômeno em si, através dos processos univariados, ainda estudam, analisam e avaliam a influência de outros fatores (as variáveis exógenas) na modelagem do fenômeno. Entre os métodos multivariados, temos os modelos de regressão dinâmica, os modelos multivariados auto-regressivos e outros que serão abordados resumidamente na seção 3.5.3.

Tais métodos procuram estabelecer, para a explicação e a previsão de um determinado fenômeno, um modelo inicialmente o mais geral possível, incluindo todas as variáveis que supostamente influenciam a série temporal sob análise. Em outras palavras, busca-se estabelecer o modo como uma série temporal de saída, Y_t , é influenciada por séries temporais de entrada, ou independentes, X_t . O sistema como um todo é um sistema dinâmico. As séries de entrada, ou independentes, X_t , exercem sua influência sobre a série de saída durante vários períodos de tempo no futuro. O objetivo da modelagem de regressão dinâmica é, portanto, determinar um modelo parcimonioso correlacionando Y_t a X_t e a N_t , onde esta última série representa o “ruído”. Note-se que o objetivo maior neste tipo de modelagem é identificar o papel desempenhado por *indicadores de condução* na determinação da variável de interesse (a série de saída) [MAKRIDAKIS, 1998]. No caso mais geral, a equação de regressão dinâmica pode ser escrita como:

$$Y_t = a + \nu(B)X_t + N_t \quad (3.37)$$

onde Y_t representa a série de saída, ou a série cujo comportamento se pretende determinar; X_t constitui a série explicativa, ou independente; N_t é a série integrada pelos efeitos combinados de todos os outros fatores que influenciam Y_t , com base em X_t ; e

$$\nu(B) = (\nu_0 + \nu_1 B + \nu_2 B^2 + \dots + \nu_k B^k) \quad (3.38)$$

sendo $\nu(B)$ a função de transferência e k a ordem da função de transferência.

Os modelos multivariados auto-regressivos são similares aos modelos de regressão dinâmica, mas, adicionalmente, utilizam o conceito de *feedback*, ou seja, tanto as variáveis de saída como as de entrada podem influenciar-se mutuamente, o que não ocorre nos modelos de regressão dinâmica, nos quais as variáveis de entrada exercem um efeito distribuído no tempo sobre as variáveis de saída.

Modelos multivariados auto-regressivos são dados pela equação geral:

$$Y_t = \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \dots + \Phi_p Y_{t-p} + e_t \quad (3.39)$$

onde Y_t representa o vetor da série temporal de saída, e_t é a série de “ruído” e Φ_1, \dots, Φ_p são as matrizes dos coeficientes auto-regressivos.

$$\Phi_1 = \begin{bmatrix} \phi_{111} & \phi_{121} \\ \phi_{211} & \phi_{221} \end{bmatrix}, \Phi_2 = \begin{bmatrix} \phi_{112} & \phi_{122} \\ \phi_{212} & \phi_{222} \end{bmatrix}, \dots, \Phi_p = \begin{bmatrix} \phi_{11p} & \phi_{12p} \\ \phi_{21p} & \phi_{22p} \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

Os mais recentes estudos quanto aos processos multivariados de previsão são devidos aos autores citados a seguir.

[YAFFEE, 2000] e [MCGEE, 2000] analisam extensamente o problema da existência de auto-correlação nos resíduos, ampliando os conceitos dos testes de Durbin-Watson, Box-Ljung e de correlogramas, e ainda propuseram novas técnicas computacionais para solução de sistemas dinâmicos.

[SHUMWAY, 2000] et al estudam a análise de cointegração das variáveis.

[POLLOCK, 1999] e [AKAIKE, 1999] efetuam pesquisas quanto aos critérios de eliminação sucessiva de variáveis dos modelos (modelos parcimoniosos, *Occam's Razor*), abordando os aspectos de t de Student, R^2 ajustado, Estatística F e AIC (Critério de Informação de Akaike).

[FRANSES, 1999], [CHUI, 1999] e [CHEN, 1999] discutem o aspecto dos modelos parcimoniosos, explorando a questão da relação custo / benefício de modelos em termos de precisão do *forecasting* versus necessidade de alocação de recursos para seu desenvolvimento, inclusive financeiros.

Engle e [GRANGER, 1977] estudam os modelos de correção de erros e cointegrados.

3.5.2. Modelos de redes neurais.

Como visto em 3.4.9., as redes neurais artificiais operam como um conjunto de elementos que se comportam como “neurônios”, simulando os padrões de comportamento do cérebro, e, alimentado com dados, é treinado para fornecer respostas compatíveis com o problema formulado. A Figura 4.1. apresenta as características de um neurônio biológico.

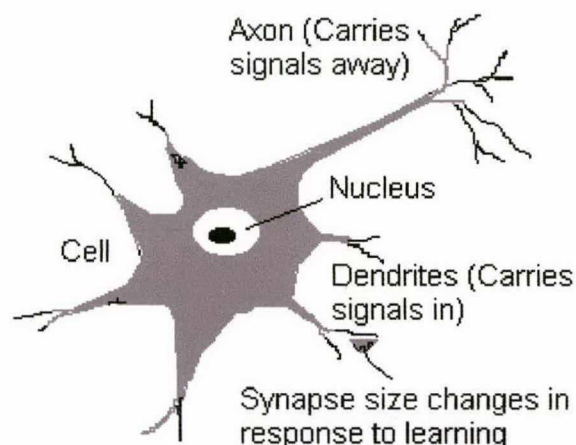


Figura 3.6. – Neurônio biológico.

Fonte: [MUELLER, 1996].

As redes neurais apresentam uma vasta gama de aplicações na medicina, na construção civil, na engenharia mecânica e em quase todos os campos de aplicação prática. Uma das aplicações consiste na previsão de séries temporais.

Dentre os modelos não lineares de previsão, os modelos de redes neurais, devido à sua flexibilidade, poder preditivo e relativa simplicidade de modelagem matemática e computacional, gozam de grande popularidade atualmente [ROTHMAN, 1999].

Para fins de *forecasting*, uma rede neural artificial pode ser imaginada, conceitualmente, como uma malha de unidades com comportamento similar a neurônios biológicos organizada em camadas distintas. A camada inferior de neurônios consiste no conjunto de dados ou unidades de entrada do modelo e a camada superior constitui um conjunto de dados de saída do modelo, ou “respostas”. Os neurônios de cada camada estão ligados por uma rede “sináptica” entre si e com os neurônios das camadas adjacentes em nível inferior ou superior. A Figura 4.2. exemplifica uma rede neural simples.

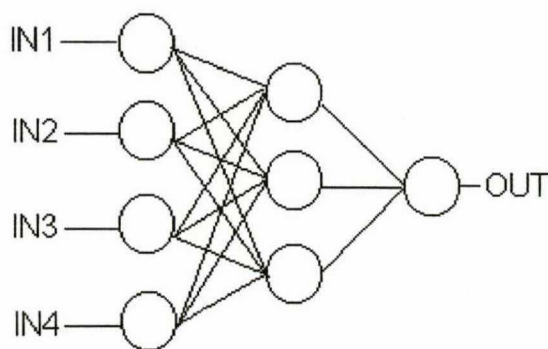


Figura 3.7. – Esquema de rede neural com oito neurônios em três camadas.

Fonte: [MUELLER, 1996].

Uma rede neural envolve alguns componentes, tais como:

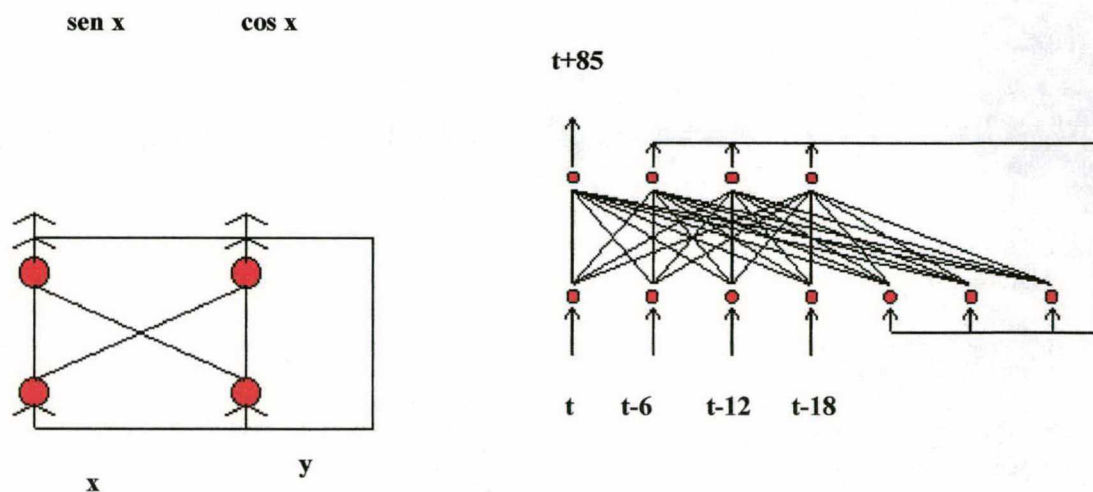
Arquitetura da rede: consiste no número de unidades (neurônios), o número de camadas e o modo segundo o qual os neurônios estão inter-relacionados;

Funções de ativação: são funções que descrevem a maneira pela qual cada neurônio combina, ou processa, os dados de entrada de modo a produzir uma saída, ou “resposta”;

Função de custo: constitui uma medida quantitativa da aderência da previsão; em geral (mas nem sempre) utiliza-se como parâmetro o MSE, erro médio quadrático;

Algoritmo de treinamento da rede: um algoritmo para a determinação de parâmetros, ou pesos, que minimizem a função de custo. Um dos algoritmos mais em uso nos dias atuais é o *backpropagation*.

A Figura 4.3 fornece alguns exemplos.



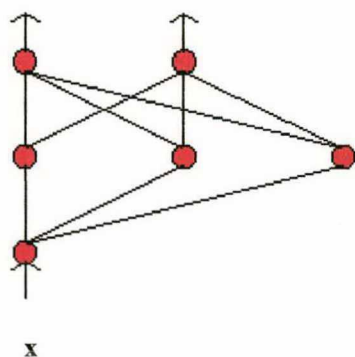


Figura 3.8. – Exemplos de redes neurais com diferentes arquiteturas e funções de ativação.

Fonte: [SAATY, 1999]

Conceitualmente, o processo de previsão via redes neurais envolve a coleta dos dados disponíveis para a previsão, o projeto da arquitetura da rede, a definição das funções de ativação, de custo e do algoritmo de treinamento, a análise das respostas e a recalibragem do modelo para minimização da função de custo, através do ajuste dos parâmetros, ou “pesos”.

Existem aspectos importantes a considerar no desenvolvimento de uma rede neural.

Primeiramente, deve ser citado que o método é não linear. Isto representa uma vantagem e uma desvantagem simultaneamente.

É vantajoso porque, como em geral sói ocorrer com os métodos não lineares, procura capturar nuances e sutilezas de comportamento da série histórica que normalmente não seriam perceptíveis aos métodos lineares. Como afirma [DIKS, 2000], a linearidade, o caráter linear de determinado fenômeno, consiste puramente numa suposição humana voltada para a simplicidade e o comodismo; não há provas cabais de que a natureza e seus fenômenos obedeçam a comportamentos lineares.

A desvantagem, comum aos métodos não lineares em geral, reside na eventual falta de robustez do modelo, tendo em vista que, conforme explicado pela teoria do caos e da complexidade, pequenas variações ou flutuações nos dados de entrada podem produzir efeitos grandemente amplificados nas “respostas”. Esta desvantagem intrínseca pode, porém, ser contornada na modelagem prática via a escolha de uma função de ativação adequada. Um exemplo de função de ativação

normalmente utilizada e que amortece as perturbações da série, operando na verdade como um filtro, é a função sigmóide, ou função logística:

$$S(Z) = \frac{1}{1 + e^{-aZ}} \quad (3.41)$$

Outra questão a considerar é que os métodos de redes neurais usualmente não propiciam um bom conhecimento intrínseco dos dados do modelo, operando como uma caixa preta que toma as entradas e produz respostas sem que seja explicitado o modo como os dados estão sendo tratados. No entanto, esta falta de transparência para o analista quanto ao modo de manuseio dos dados reverte-se numa vantagem adicional para a modelagem em si, que vem a ser a relativa facilidade e simplicidade de tratamento matemático e computacional dos dados.

Na prática, entretanto, um modelo de redes neurais tem capacidade para se adaptar a irregularidades e padrões espúrios das séries temporais analisadas, fornecendo não raro previsões mais aderentes do que os modelos explícitos tradicionais.

A aplicação prática de redes neurais artificiais na previsão tem sido cercada por controvérsias e polêmicas [MAKRIDAKIS, 1998]. É ainda cedo para se afirmar que os métodos de redes neurais chegarão um dia a desenvolver todo o seu alegado potencial como um procedimento poderoso e altamente automatizado de previsão não linear. Algumas pesquisas vêm sendo realizadas comparando os resultados das técnicas de redes neurais com outros métodos de previsão mais convencionais. As conclusões obtidas até o presente momento indicam que eventualmente as técnicas de redes neurais podem apresentar um desempenho superior aos dos métodos concorrentes. Mas isto não ocorre sempre.

3.5.3. Outros modelos avançados.

Conforme visto na seção 3.4.6., além dos métodos de regressão dinâmica / multivariados auto-regressivos e do método não linear de redes neurais, alguns outros modelos encontram-se em franca utilização tanto na indústria como nos círculos acadêmicos. Entre estes modelos, pode-se citar os modelos de regressão com erros ARIMA, a análise de intervenção, os modelos de estado espacial e os modelos

não lineares de modo geral. Serão discutidos resumidamente alguns aspectos relevantes de cada um destes métodos.

Os modelos de regressão são modelos da forma

$$Y_t = b_0 + b_1 X_{1,t} + \dots + b_k X_{k,t} + N_t \quad (3.42)$$

onde a série temporal cujo comportamento se pretende prever, Y_t , é modelada em função das k variáveis explicativas $X_{1,t}, \dots, X_{k,t}$. O termo de erro é N_t . Uma das premissas do método é que a série N_t é uma série não correlacionada, ou seja, “ruído branco”. O método avançado consiste em combinar modelos ARIMA para operar as autocorrelações com modelos de regressão a fim de explicitar o relacionamento entre eles. O modelo resultante constitui um modelo de regressão com erros ARIMA. A equação 3.42. continua válida, mas, neste caso, N_t é modelada como um processo ARIMA.

Este método apresenta a vantagem de combinar todas as características positivas da regressão, na qual se busca a explicação para o comportamento de uma série através do inter-relacionamento com outras variáveis supostas influentes, com os poderosos recursos de análise temporal de um modelo ARIMA [MAKRIDAKIS, 1998]. O método, em síntese, representa uma generalização e um aperfeiçoamento em desempenho do modelo clássico de regressão, reunindo em um só processo as vantagens da regressão e da metodologia ARIMA.

Por sua vez, a análise de intervenção nada mais é do que um caso particular da regressão dinâmica. A modelagem consiste em inserir, entre as variáveis explicativas, uma intervenção, ou seja, um evento não periódico, não repetitivo, que apresente um impacto sensível e mensurável sobre a série temporal em estudo. Uma intervenção pode ser, por exemplo, uma greve, ou uma guerra, ou a introdução de uma nova legislação [MAKRIDAKIS, 1998]. No caso da indústria do petróleo, outros exemplos de intervenção podem ser considerados: uma reunião da OPEC, um acordo para redução de cotas de exportação de petróleo por parte dos países produtores, o fechamento de um importante terminal exportador de óleo, além de eventos similares.

Um modelo de análise de intervenção é dado por

$$Y_t = a + \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_t + N_t \quad (3.43)$$

onde $\omega(B)$ representa, em última análise, a intensidade da intervenção, e $\delta(B)$ o seu padrão, ou tipo, sendo $\nu(B) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)}$ a função de transferência.

A Figura 3.9. apresenta alguns exemplos simples de variáveis de intervenção.

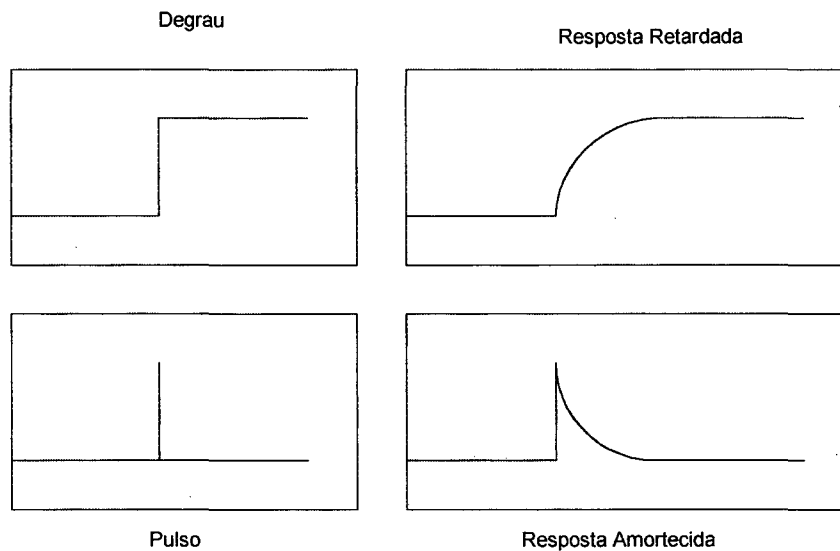


Figura 3.9. – Quatro exemplos de variáveis de intervenção.

Fonte: [MAKRIDAKIS, 1998].

Os modelos de intervenção são úteis para explicar *a posteriori* os efeitos de uma intervenção qualquer. Portanto, podem auxiliar a aprimorar a eficácia da previsão *após* a ocorrência da intervenção. Por outro lado, são modelos de valor limitado na previsão de uma intervenção *antes* que esta ocorra, já que não é possível estimar com razoável precisão (devido à falta de dados) os parâmetros do modelo de intervenção [MAKRIDAKIS, 1998]. Tais modelos podem ser considerados complementos dos modelos de regressão dinâmica, nos quais os efeitos da intervenção sobre a série temporal em análise podem ser modelados *a posteriori*.

Os modelos de estado espacial, por sua vez, constituem em essência uma outra forma de se explicitar todos os outros modelos anteriormente vistos neste capítulo, com exceção dos modelos não lineares. Esta formulação geral permite encontrar um denominador comum nos processos computacionais utilizados para avaliar os modelos lineares e, ao mesmo tempo, propiciam um veículo para a aplicação de novos métodos de *forecasting*.

A formulação de estado espacial parte da premissa de que uma variável cujo comportamento se pretende explicar, Y_t , pode ser expressa como uma função linear de diversas variáveis randômicas $X_{1,t}$, $X_{2,t}$, ..., $X_{d,t}$. Portanto, pode-se escrever:

$$Y_t = h_1 X_{1,t} + h_2 X_{2,t} + \dots + h_d X_{d,t} + z_t \quad (3.44)$$

As variáveis $X_{1,t}$, $X_{2,t}$, ..., $X_{d,t}$ são ditas variáveis de estado e não são necessariamente observadas. A equação (3.44) pode ser reescrita de forma matricial:

$$Y_t = HX_t + z_t \quad (3.45)$$

onde X_t é uma série temporal multivariada e com os estados variáveis como componentes e H sendo uma matriz com uma linha consistindo dos elementos h_1, \dots, h_d . A equação (3.45) é considerada a equação de observação e assume-se que X_t depende do estado anterior:

$$X_t = FX_{t-1} + Ge_t \quad (3.46)$$

onde e_t é ruído branco e F e G são os parâmetros do modelo. A equação (3.46) é chamada equação de estado. Note-se que isto é quase o mesmo que um modelo multivariado AR(1), exceto que isto é apenas para a variável de estado ao invés da série temporal, e que há uma matriz adicional G .

Juntas, as equações (3.45) e (3.46) formam um modelo de estado espacial. Tal modelo de estado espacial para uma série temporal multivariada Y_t é escrita exatamente da mesma forma, exceto que Y_t e z_t são substituídos por vetores.

Embora esta formulação possa não parecer semelhante aos modelos vistos anteriormente, todas as séries temporais e modelos de regressão lineares podem ser expressos na forma de um modelo de estado espacial [MAKRIDAKIS, 1998]. Demonstra-se que mesmo o modelo mais complexo de regressão dinâmica com erros ARIMA tem uma contrapartida num modelo de estado espacial que fornece exatamente as mesmas previsões.

Os modelos de estado espacial são úteis por diversos motivos, que serão vistos em seguida.

Kalman (1960) e Kalman & Bucy (1961) desenvolveram um conjunto geral de equações recursivas para proceder às previsões. Tais equações são geralmente denominadas “Equações recursivas de Kalman”, ou “Filtro de Kalman”, e propiciam o cálculo de modo simplificado da previsão de erros de passo simples e da

verossimilhança. Portanto, dado que um modelo possa ser escrito na forma de estado espacial, os cálculos podem ser totalmente efetuados usando as equações recursivas de Kalman. Esta estrutura unificada, para fins computacionais, simplifica o desenvolvimento de pacotes de previsão, uma vez que uma vasta gama de modelos pode ser trabalhada usando-se o mesmo algoritmo ou codificação.

Os modelos de estado espacial são também de simples generalização. Por exemplo, pode-se generalizar o amortecimento exponencial simples para a obtenção dos parâmetros que devem mudar ao longo do tempo (o modelo de resposta adaptativa). Esta técnica pode ser utilizada no ambiente de estado espacial para qualquer modelo de estado espacial. Assim, seria possível usar um modelo de regressão dinâmica com os parâmetros do erro ARIMA mudando ao longo do tempo.

A formulação de estado espacial facilita ainda o trabalho com valores não disponíveis numa série temporal.

Por último, abordar-se-á a formulação dos modelos não lineares.

Os modelos não lineares são expressos por equações da forma

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}) + g(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p})e_t \quad (3.47)$$

onde Y_t representa a série temporal observada (estacionária), e_t é uma série de ruído branco, e f e g são funções das observações passadas da série. Se, na equação (3.47), g for a função unitária e f representar uma função linear, a equação (3.47) fornece um modelo linear AR(p) ordinário. Com f e g representando funções não lineares, uma ampla variedade de modelos pode ser obtida. Por exemplo, os modelos parcimoniosos de Tong (1983, 1990), modelos exponenciais auto-regressivos (Ozaki, 1980) e modelos ARCH (Engle, 1982).

Existem, porém, diversas dificuldades práticas no uso de modelos não lineares para previsão. Uma destas dificuldades reside no cálculo das previsões em vários passos à frente e na determinação dos intervalos de previsão. Hyndman (1995) resolveu alguns destes problemas.

Mas o grande problema, até o presente momento não resolvido, diz respeito à quantificação da precisão dos métodos não lineares em relação aos métodos lineares. Os modelos não lineares, assim como outros modelos de estatística sofisticada, claramente se adaptam melhor aos valores passados da série temporal, mas a pesquisa empírica vem demonstrado que estes não necessariamente prevêem o futuro com maior precisão.

3.5.4. Discussão quanto à aplicabilidade dos métodos.

Conforme visto na seção 4.2., para o objetivo a que se propõe o presente trabalho, ou seja, a previsão dos preços de petróleo, sob um enfoque estritamente técnico podem ser utilizados métodos univariados, multivariados ou ainda métodos não lineares, dos quais o modelo de redes neurais é um caso particular.

Depreende-se da seção 4.1. que a experiência da indústria do petróleo, de um modo geral, tende, no que tange aos métodos quantitativos de previsão, a utilizar métodos univariados para a previsão de preços de derivados e métodos multivariados para a previsão de preços de petróleo. Uma explicação para este fenômeno pode residir no fato de que, em geral, as previsões de preços de derivados são usualmente efetuadas para o curto e médio prazos, e, além disso, a principal variável explicativa dos preços dos derivados é o preço do próprio petróleo. Pode ser demonstrada com evidências objetivas uma correlação forte entre o preço de um produto de petróleo e o preço do próprio petróleo. Desta forma, a indústria tende a considerar que a variável exógena responsável pela explicação das séries temporais dos produtos é a série temporal dos preços dos óleos crus. Portanto, variações, nuances e perturbações mais sutis na série de preços de um produto seriam devidos a fatores endógenos à série.

Por outro lado, sendo o preço do petróleo a série original, aquela que comanda com forte grau de correlação o preço dos derivados, é lícito admitir-se que justamente esta série seja afetada, em maior ou menor grau, pelo meio ambiente econômico mundial. Fatores ambientais gerais e restritos à indústria do petróleo afetariam, de modo direto e imediato, os preços dos óleos crus. Somente como consequência dos preços dos petróleo (e já devidamente filtrados pelo comportamento geral da série histórica dos preços dos crus) é que tais variáveis iriam afetar então o comportamento dos preços dos derivados. Em essência, tal é o *modus operandi* da indústria do petróleo com respeito à sensibilidade a preços.

De acordo com as pesquisas mais recentes, o estado da arte na ciência da previsão, consoante o Capítulo 3 (enfoque acadêmico), e também levando-se em consideração o que é praticado atualmente na indústria do petróleo, segundo o Capítulo 4 (enfoque empresarial), poder-se-ia em princípio optar, para solução do

problema apresentado, por um método multivariado linear (regressão dinâmica, multivariado auto-regressivo, análise de intervenção, formulação de estado espacial) ou por um método não linear.

Caso a escolha recaísse sobre um método não linear, o modelo candidato natural seria o de redes neurais, pelas razões anteriormente explicadas.

Em se optando por um modelo linear, há que se ter em mente algumas condições relevantes.

Em primeiro lugar, os métodos univariados, conforme explicado ao longo do presente capítulo, embora forneçam informação de excelente qualidade quanto ao comportamento intrínseco de um dado fenômeno em seu aspecto endógeno, não dispõem da capacidade de “capturar” a influência, sobre a série temporal analisada, de outros fatores que podem ser igualmente relevantes na explicação global do comportamento da série. Em outras palavras, os métodos univariados não são sensíveis a perturbações externas geradas por fatores exógenos. Tal fato pode comprometer a eficácia da previsão.

Esta conclusão não exige, porém, o presente trabalho de, em nome do rigor científico, investigar a aplicabilidade dos métodos univariados ao caso em tela e determinar a aderência de um modelo como o ARIMA (por exemplo) à previsão. Com efeito; como será visto no Capítulo 5, foi dado também um tratamento univariado às séries temporais dos óleos WTI e Brent, de modo a possibilitar a aderência das previsões àquelas obtidas através de processos multivariados.

No caso do petróleo, parece evidente que um razoável número de variáveis circunstanciais e estruturais, como os níveis de produção de óleo, os patamares de operação de refinarias, o comportamento da indústria e até mesmo a situação da economia como um todo, terminam por influir decisivamente no comportamento da série temporal. Destarte, tanto sob um enfoque acadêmico como sob um enfoque empresarial, recomenda-se o tratamento do problema através de um método multivariado.

Dado que, tecnicamente, é indicada a utilização de um método multivariado para a resolução do problema em tela, as opções, do ponto de vista do estado da arte, podem recair sobre o método de regressão com erros ARIMA, a regressão dinâmica (ou processo de função de transferência), o método multivariado auto-regressivo, a

análise de intervenção (que é um caso particular da regressão dinâmica) ou os modelos de estado espacial.

Seja então a análise particular de cada um dos métodos mencionados.

De acordo com os autores consultados e com a crença vigente na indústria do petróleo, todos os processos multivariados citados são mais eficientes, em termos de aderência das previsões, em relação ao método da regressão com erros ARIMA, de acordo com pesquisas empíricas efetuadas. Ou seja, tal fato não se constitui num teorema; não pode ser matematicamente demonstrado, mas representa consenso num elevado número de experimentos realizados.

Ter-se-á, então, a decisão dirigida, em instância superior, para os métodos da regressão dinâmica, o multivariado auto-regressivo, a análise de intervenção e os modelos de estado espacial.

Como se teve oportunidade de ver no Capítulo 3, a análise de intervenção nada mais é do que um caso particular da regressão dinâmica no qual são acrescentadas uma ou mais variáveis de intervenção. Portanto, a regressão dinâmica, ou método de função de transferência, engloba este método.

Por outro lado, demonstra-se que qualquer método linear pode ser modelado segundo o método de estado espacial. Assim sendo, a discussão, no que diz respeito à utilização de processos lineares, resume-se a considerar um modelo de regressão dinâmica, envolvendo análise de intervenção, contra um modelo multivariado auto-regressivo, sendo possível exprimir ambos em termos de um modelo de estado espacial.

A grande vantagem dos modelos de estado espacial, qual seja a relativa simplicidade de resolução via Filtros de Kalman e a conseqüente simplificação dos processos computacionais envolvidos, vem rapidamente perdendo terreno, no estado da arte, para os pacotes computacionais dirigidos a aplicações específicas, que recentemente igualaram, em termos de simplicidade de processo, as equações recursivas de Kalman. Exemplos são os *softwares* PcGive®, PcFiml®, OxRun® e a interface GiveWin®, que tratam do mesmo modo modelos de estado espacial e modelos de regressão dinâmica. E, conforme demonstrado, modelos de regressão dinâmica são perfeitamente traduzíveis, em sua forma mais geral, em modelos de estado espacial.

Portanto, em última análise, a escolha do método previsor (sempre considerando-se modelos lineares) paira entre um modelo de regressão dinâmica (incluindo análise de intervenção e conversível num modelo de estado espacial) e um modelo multivariado auto-regressivo, também conversível num modelo de estado espacial.

Neste estágio do processo decisório, faz-se necessário recorrer novamente ao estado da arte, em termos de pesquisas no segmento, e à prática da indústria do petróleo, no sentido de dirigir a escolha.

Revertendo-se ao caso presentemente em estudo, observa-se que as cotações dos petróleos são valores de tela, negociados em bolsas de *commodities*; especificamente, o WTI é negociado no Nymex (bolsa de *commodities* de New York), enquanto que o Brent é negociado no IPE (bolsa de *commodities* de energia em Londres), conforme visto no Capítulo 2. Portanto, em termos do modelo que se pretende desenvolver, não é uma hipótese lícita admitir-se que as cotações dos óleos possam afetar regressivamente os indicadores da economia e os parâmetros da indústria. Ocorre, na prática, exatamente o efeito inverso: as circunstâncias, Assim sendo, seleciona-se, no trabalho ora desenvolvido, o modelo de regressão dinâmica para previsão de preços de petróleos.

Finalmente, recai a seleção sobre as opções de se empregar um modelo de regressão dinâmica propriamente dito ou a sua contrapartida num modelo de estado espacial equivalente, capaz de gerar exatamente as mesmas previsões [MAKRIDAKIS, 1998].

Afirmam [ROSENBLATT, 2000], [MILLS, 1999], [KRYLOV, 1999] et al que uma das grandes vantagens dos modelos de estado espacial repousava, à época em que foram inicialmente formulados, na relativa simplicidade de tratamento computacional do sistema, via utilização dos Filtros de Kalman. Hoje em dia, no entanto, segundo os autores, tal vantagem foi na prática ultrapassada, dado que várias famílias de softwares vieram a ser desenvolvidos e comercializados, equalizando a abordagem computacional em quaisquer dos métodos. Por conseqüência, é, hoje em dia, indiferente utilizar-se um modelo de regressão dinâmica ou sua contrapartida em modelagem de estado espacial. Sendo a escolha indiferente, lançar-se-á mão, no presente trabalho, do modelo de regressão dinâmica, cuja formulação encontra-se

devidamente preparada nos *softwares* PcGive®, PcFiml®, OxRun® e na interface GiveWin®.

No último estágio decisório, cabe a questão final quanto ao método a se utilizar para a previsão dos preços dos petróleos: um modelo linear (regressão dinâmica) ou um modelo não linear (redes neurais artificiais)?

Em companhias representativas da indústria do petróleo, as opiniões encontram-se divididas, sendo a questão de fundo a cultura da empresa. Como visto em 4.1., o problema, dependendo da companhia, pode ser examinado sob um ou outro prisma, o linear ou o não linear. Entretanto, do ponto de vista acadêmico, existe uma vasta literatura recomendando o enfoque da regressão dinâmica, em detrimento do enfoque através de redes neurais. Este último método é alvo de críticas de muitos autores.

Opta-se, portanto, por dar um tratamento clássico ao problema em tela: examinar-se-á a questão sob um ângulo linear, e será elaborado um modelo de regressão linear dinâmica para a solução do problema da previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent no mercado internacional.

3.6. CONCLUSÕES.

O objetivo do presente capítulo foi apresentar a evolução das técnicas de previsão e os métodos básicos utilizados atualmente pela maioria das corporações e pesquisadores. Foram revistos, em suas principais características, os modelos univariados, de regressão dinâmica e multivariados de previsão de séries temporais.

Foram também abordados com maior nível de detalhamento os métodos chamados “de fronteira”, (em particular os métodos de regressão dinâmica, multivariados e de redes neurais), o estado da arte nos processos de previsão e o que está sendo hoje em dia praticado na indústria do petróleo neste campo. Apresentar-se-á ainda a estrutura básica do modelo de previsão que se pretende desenvolver no âmbito do presente trabalho.

A seção 3.5. oferece uma abordagem mais acadêmica do problema. Após uma análise dos métodos de previsão mais utilizados atualmente e do estado da arte, envolvendo os modelos univariados (ARIMA), de regressão dinâmica, regressão multivariada, análise de intervenção, estado espacial e não lineares, incluindo o

processo de redes neurais, conclui-se que, sob pontos de vista científicos e empresariais, o problema da previsão dos preços dos petróleos deveria ser equacionado sob o ângulo da abordagem linear (através do método da regressão dinâmica, pelos motivos já explicados), embora algumas empresas da indústria do petróleo dêem preferência à abordagem não linear, como visto em 4.1.

Efetuuou-se também, como será visto no próximo capítulo, uma abordagem univariada do problema, para que os resultados obtidos com diferentes métodos, em particular ARIMA, pudessem ser avaliados comparativamente.

CAPÍTULO 4

A PREVISÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

Como foi visto no Capítulo 2, as previsões são de extrema importância na indústria do petróleo. Previsões de mercado, de demanda por tipo de derivados, de preços de produtos, de preços de petróleos, são fundamentais para o logístico nesta indústria. Em particular, para o logístico *inbound*, o *forecasting* dos preços do petróleo é fundamental para a tomada de decisões de aquisição consistentes e para o estabelecimento de um orçamento confiável.

Também foi estudada a importância do uso de métodos e processos preditivos em função do tipo de organização. As companhias integradas, as majors, os refinadores e as empresas de *Refining & Marketing* baseiam muitas de suas atividades na previsão dos preços de petróleos no curto e médio prazo. É de capital importância, portanto, acompanhar o que está sendo feito no presente momento pelas organizações da indústria do petróleo em termos de previsões: qual a política da empresa em relação ao assunto, quais as técnicas utilizadas, o papel da previsão de preços no âmbito da organização, a cultura da empresa quanto ao tema.

Estudar-se-á, portanto, nas próximas seções, o que vem sendo realizado em algumas organizações típicas da indústria o tratamento que vem sendo dado ao assunto.

4.1. O TRATAMENTO DAS TÉCNICAS DE PREVISÃO EM ALGUMAS COMPANHIAS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

Sendo uma indústria que exige vultosos investimentos, a indústria do petróleo, desde o seu início, em meados do século XIX, demandou as técnicas científicas de previsão mais do que a média das demais indústrias da época. Como, inclusive, os investimentos exigiam longo tempo de maturação, fazia-se mister (como ainda se faz) traçar cenários da realidade futura do modo mais fiel possível.

Durante muito tempo, os preços dos petróleos mantiveram uma situação de estabilidade quase total. Em tal cenário, as previsões de preços de petróleos e derivados eram realizadas apenas no longo prazo, e constituíam uma atividade de

planejamento num horizonte distante. Ao longo dos anos, os preços dos óleos não variavam de forma sensível, e, para as finalidades de curto e médio prazo, tais preços eram considerados praticamente constantes.

Após o primeiro choque do petróleo, porém, a situação do mercado sofreu radical alteração. A volatilidade dos preços dos petróleos tornou-se muito mais intensa, comandando assim uma volatilidade recorrente nos preços dos produtos. A previsão de preços no curto prazo foi se impondo, ao longo do tempo, como característica básica da indústria e fator de sobrevivência das empresas. Em tal cenário, as projeções de preços tornaram-se instrumentos de fundamental importância no âmbito da indústria.

É necessário ainda ter-se em mente que, sendo a indústria do petróleo um segmento de negócios altamente competitivo e na qual as somas envolvidas em operações comerciais de óleos e derivados ascendem facilmente à ordem de grandeza de centenas de milhões de dólares, as companhias que operam no setor procuram guardar confidencialidade na grande maioria das suas atividades. Como padrão, quase todas as operações da indústria, em quase todas as empresas da área, são normalmente classificadas como *P&C — Private & Confidential*. Não poderia ser diferente com as operações logísticas e com os métodos e técnicas de previsão de preços, uma vez que tais processos permitem a decisão quanto às operações comerciais a serem realizadas. Em virtude de tais motivos, é sempre extremamente difícil, senão impossível, a obtenção de dados detalhados quanto aos processos de previsão de preços utilizados na prática pelas corporações. As companhias não costumam abrir informações detalhadas sobre os modelos de previsão utilizados; tais informações são classificadas como confidenciais no âmbito da organização. Por outro lado, é possível obter-se dados genéricos sobre os métodos empregados; embora as empresas não forneçam detalhes quanto aos processos preditivos, como os parâmetros dos modelos, sua exata formulação analítica, resultados obtidos e sua aderência com a realidade, geralmente não opõem obstáculos à divulgação, em termos genéricos, da técnica empregada e de algumas outras informações não sensíveis para a organização.

Desta forma, foram obtidas, ao longo de cerca de três anos, informações sobre a política de previsão de preços de petróleos e derivados junto às áreas de logística, planejamento e análise de risco de algumas corporações da indústria do petróleo.

Algumas informações foram levantadas diretamente com as companhias envolvidas; outras foram obtidas indiretamente, através de empresas de consultoria e *expertise*, como PIRA (Petroleum Intelligence Research Association), CERA (Cambridge Energy Research Association), Solomon Brothers, Merrill Lynch, Bloomberg International, OBG (Oil Buyer's Guide), Petroflash, Clarkson Research Studies, Bonner & Moore, Andersen Consulting e Oil & Gas Journal, dentre outras.

Apenas para fins de classificação, utilizamos o critério de [MAKRIDAKIS, 1998] para categorizar as políticas de projeção de preços utilizadas pelas diversas companhias. Assim, quando se diz que determinada firma utiliza o critério *subjetivo*, isto significa que a previsão não é feita por métodos quantitativos; existe uma equipe de especialistas que, de forma colegiada, define as previsões corporativas. O critério *objetivo*, por seu turno, diz respeito ao uso de métodos quantitativos de previsão; quando informado pela empresa, cita-se ainda o método empregado. Finalmente, o critério *misto* envolve uma utilização conjunta dos critérios subjetivo e objetivo, com diferentes ênfases para cada um deles.

As próximas seções versarão sobre a política e as diretrizes de previsão de preços em algumas corporações da indústria do petróleo, de acordo com dados fornecidos, na maioria dos casos, pelas próprias companhias.

4.1.1. Repsol-YPF.

Companhia integrada com atuação em todo o mundo, em particular no hemisfério ocidental, a Repsol-YPF está classificada (dados de 1999) como a 14ª empresa petrolífera mundial por faturamento, com um faturamento bruto no ano de US\$ 15,6 bilhões, segundo dados da revista Fortune Global 500 1999. A Repsol-YPF centraliza o planejamento e as decisões estratégicas em sua sede em Madri, inclusive quanto à aquisição de petróleo. Utiliza-se para o médio e longo prazo o critério subjetivo. As definições quanto a patamares futuros de preços de petróleo e derivados são emitidas sob responsabilidade da área de planejamento corporativo, que adota um enfoque fundamentalista. Para o curto prazo, a empresa lança mão do critério misto, combinando o julgamento da área de planejamento com técnicas quantitativas de previsão (médias móveis, fórmula de Spencer). A fórmula de Spencer (1904) é um caso particular de médias móveis (MA) ponderadas com cinco

termos e utilizando os parâmetros simétricos $a_0 = 1$, $a_1 = a_{-1} = \frac{3}{4}$, e $a_2 = a_{-2} = -\frac{3}{4}$, sendo os a_n os coeficientes dos termos da MA.

4.1.2. Royal Dutch / Shell Group.

Também companhia integrada, com atuação a nível mundial, e segunda maior empresa da indústria do petróleo hoje em dia, com faturamento bruto de US\$ 93,7 bilhões em 1999, o Grupo Royal Dutch / Shell, em termos de planejamento, atua em três níveis diferentes e hierarquicamente definidos.

O planejamento estratégico, de longo prazo, é centralizado em Londres. Utiliza-se o método misto. Algumas técnicas quantitativas (regressão dinâmica, métodos multivariados, métodos econométricos, modelos de estado espacial) são submetidas ao julgamento de uma grande equipe de planejadores, que estabelecem os diversos cenários possíveis de longo prazo. Cada cenário recebe um peso, de acordo com sua probabilidade de ocorrência; as decisões são tomadas considerando-se um mix de cenários (cenários intermediários) ou então com a aposta numa tendência definida de evolução do mercado.

O planejamento de médio prazo é distribuído por regiões: EUA / Canadá, América Latina, Europa, África / Oriente Médio, Extremo Oriente. Cada região, tendo em vista o planejamento corporativo, pode adaptar suas metas para o médio prazo. Quase sempre o planejamento de médio prazo obedece ao critério misto, combinando pareceres de equipes de planejadores com métodos quantitativos (modelos não lineares, redes neurais, métodos multivariados, regressão dinâmica, modelos econométricos, sistemas especialistas).

O planejamento de curto prazo é descentralizado e feito por unidades de negócios, como refinarias, terminais, centros de distribuição, parques de armazenamento de petróleo. Embora também possa ser considerado misto, há influência mais forte, aqui, dos métodos objetivos de previsão. Entre os mais populares, no âmbito da Shell, encontram-se os métodos multivariados, de estado de espaço, de regressão dinâmica e de redes neurais. Os *softwares* para previsão de preços são desenvolvidos pela própria Shell e sobre eles não são divulgados maiores detalhes. Tais programas são integrados em redes maiores, que operam com ERP e integram, em etapas hierárquicas, todo o planejamento logístico e comercial.

4.1.3. Koch Industries.

Empresa de médio porte de *Refining & Marketing*, a Koch Industries dispõe, nos EUA, de uma estrutura composta por quatro refinarias, sendo as maiores instaladas em Corpus Christi e Texas City (capacidade total instalada de 360 mil bpd), sistemas de pipelines, terminais de petróleo e derivados, bases de distribuição de derivados e rede de postos de serviço). O planejamento é descentralizado, organizado por unidades de negócio. A previsão de preços é realizada no âmbito de sistemas automatizados de planejamento e controle (Forecast Pro®, CEO Software®, EPS Software®). Tais sistemas utilizam como métodos básicos de previsão Box-Jenkins, Lewandowski e modelos ARARMA de Parzen.

4.1.4. Erg Petroli S.p.A.

Esta companhia, com sede em Gênova, opera duas refinarias na Itália, sendo uma delas situada em Gela (Sicília) e outra em Fiumicino. Trata-se de uma empresa de refino de petróleo, com porte de médio a pequeno, para os padrões da indústria. Atua basicamente no suprimento italiano de derivados e exporta excedentes de produção, principalmente óleo Diesel. Os produtos são distribuídos no mercado italiano por outras companhias, como Agip Petroli, Esso Italiana e ENI (Ente Nazionale Idrocarburi). Adquire petróleos de quase todas as origens, como Mar do Norte, África Setentrional, CEI e Oriente Médio, dependendo exclusivamente de suas bases de preços versus rendimento. Os planos de aquisição de óleos são feitos de forma integrada, para ambas as refinarias simultaneamente. A Erg Petroli utiliza-se de um critério misto de planejamento e previsão de preços. O *forecasting* é realizado por um método de redes neurais através de um *software* denominado aiNet®, desenvolvido por especialistas italianos e eslovenos. Os resultados apresentados pela técnica de redes neurais são posteriormente analisados pela área de planejamento, que estabelece um cenário básico de patamares de preços.

4.1.5. Statoil Energy.

Companhia integrada com atuação na Europa, EUA e Canadá. Décima oitava no ranking global de empresas petrolíferas, com faturamento bruto de US\$ 14,3 bilhões em 1999. Opera principalmente com distribuição de derivados e *trading* de petróleo, sendo uma das companhias mais ativas da Europa em comercialização de óleo cru. As atividades de *trading* exigem uma previsão bastante confiável dos preços dos petróleos, sem o que os riscos comerciais da atividade tornar-se-iam inaceitáveis.

A previsão é descentralizada em duas áreas de negócios: Europa e América do Norte. Utiliza-se um sistema misto, no qual a opinião e o sentimento de mercado dos planejadores é suportado por um processo objetivo de *forecasting*. O modelo predictor da Statoil foi desenvolvido pela própria companhia e utiliza os processos multivariados, de estado de espaço, regressão múltipla e funções de transferência (regressão dinâmica).

4.1.6. Irving Petroleum Co.

Esta empresa, de *Refining & Marketing* de pequeno porte, opera uma refinaria de 240 mil bpd situada em St. John, New Brunswick (Canadá) e comercializa produtos no leste do Canadá e no nordeste dos EUA, com ênfase em gasolina *premium* e querosene de aviação. A previsão de preços de petróleo no curto / médio prazo (horizonte de alguns dias até seis meses à frente) é de suma importância para a Irving Petroleum, dado que, em função de sua posição geográfica, na costa oriental do Canadá, a companhia tem possibilidade de adquirir óleos com qualidades semelhantes de uma vasta gama de diferentes origens, como Golfo Americano (USGulf), costa caribenha (Colômbia / Venezuela), Mar do Norte, África Setentrional, África Ocidental e até mesmo do Oriente Médio.

A política de previsão de preços da Irving Petroleum sofreu uma série de alterações ao longo do tempo. Desde a fundação da companhia (em 1923) até meados da década de 80, o método utilizado era puramente subjetivo. O logístico *inbound*, de acordo com sua experiência, conhecimento de mercado e *feeling* quanto ao comportamento do cenário internacional, estabelecia a previsão de preços sem o auxílio de qualquer método quantitativo. O processo era baseado exclusivamente na experiência e no sentimento de mercado do planejador de aquisição de óleos.

Em 1984, seguiu-se a uma mudança na direção da companhia uma reestruturação da Logística *Inbound*. A previsão de preços passou a ser realizada por um critério quase que exclusivamente objetivo: o *forecasting* de preços de petróleo era determinado por um processo de amortecimento harmônico de Harrison, posteriormente combinado com filtros adaptativos. O presidente da companhia validava, ao final do processo analítico, os resultados obtidos.

Com o passar do tempo, enquanto se alteravam os métodos de previsão utilizados, a política passou a adquirir um caráter mais marcadamente misto, com a opinião de um colegiado de técnicos exercendo maior influência, em termos de poder decisório, sobre os resultados produzidos pelos métodos matemáticos de previsão.

Nos dias hodiernos, segundo Mr. Charles Irving III, atual Presidente e CEO da companhia, o processo de previsão é tipicamente misto: o *forecasting* de preços é efetuado através de modelos ARIMA, desenvolvidos pela própria empresa, e os resultados são submetidos a uma junta de planejadores e logísticos *inbound*, que, por sua vez, estabelecem, em sua forma final, o planejamento corporativo de aquisição de petróleo.

4.1.7. BP-Amoco Corporation.

Terceira companhia de petróleo em faturamento no mundo (após a Exxon-Mobil Corporation e a Royal Dutch / Shell Group), com US\$ 68,3 bilhões em 1999, a BP-Amoco, devido em parte ao seu próprio processo de reestruturação, opera, como companhia integrada, com unidades de negócios espalhadas ao longo do mundo. A bandeira Amoco (American Oil Corporation) ainda centraliza as operações no continente americano, enquanto que a bandeira BP (British Petroleum, Burmah-Castrol) atua no restante do globo.

Cada unidade de negócios dispõe de um certo grau de independência com respeito ao planejamento corporativo estratégico central, localizado em Londres, que define as grandes linhas de atuação da companhia.

A aquisição de petróleo em base *spot* é descentralizada: cada unidade de negócios, em geral constituída por um grupo de refinarias (tipicamente, três ou quatro) e a infra-estrutura associada (linhas de transferência, terminais, bases de distribuição, sub-rede de postos de serviço), dispõe de autonomia para promover sua

própria Logística *Inbound*, em termos de aquisição de óleo para processamento, exceto nos casos de contratos com prazo superior a um ano de duração e, cumulativamente, volume superior a 72 milhões de barris anuais, caso em que a decisão cabe aos *headquarters* de Houston (continente americano) ou Londres (restante do mundo).

Tal independência se reflete na política de previsão de preços, que é de competência de cada unidade de negócios. Embora algumas poucas unidades adotem um critério puramente subjetivo de previsão, o mais comum é a utilização do critério misto, no qual uma equipe de analistas do mercado de petróleo e derivados discute os resultados sugeridos através de métodos quantitativos de previsão.

Os métodos quantitativos utilizados também são de livre escolha da unidade de negócios. Os mais utilizados, hoje em dia, são os processos multivariados e de funções de transferência (regressão dinâmica), além de métodos não lineares, em particular o de redes neurais. Algumas unidades na Europa baseiam-se fortemente em modelos multivariados analisados através de *softwares* específicos voltados para a atividade empresarial, como o Cashé®, OptiPlan®, APSI Demand CS® ou OptiCap®, ou ainda programas que desenvolvem modelos de redes neurais, como o WAND®, IBM Neural Network Utility® ou Trajan 2.1 Neural Network Simulator®.

Embora a política de previsão seja muito variável em função da unidade de negócios, pode-se afirmar que, de um modo geral, o critério é o misto, com ênfase nos métodos quantitativos multivariados e não lineares.

4.1.8. Agip Petroli S.p.A.

A companhia estatal italiana, juntamente com suas subsidiárias, ocupa a sétima posição no ranking das empresas da indústria do petróleo, com faturamento de US\$ 32,4 bilhões em 1999. Sua estrutura é centralizada, com sede em Roma, e o planejamento tático e estratégico de todas as operações, inclusive aquisição de matéria-prima, é concentrada no Ufficio Centrale di Pianificazione, ou Escritório Central de Planejamento.

Atualmente, emprega-se um critério misto para previsão de preços: métodos quantitativos são utilizados, e, dependendo do produto ou do petróleo considerado e do horizonte de previsão, tais processos podem ser univariados (amortecimento

exponencial de taxa de resposta adaptativa, amortecimento exponencial quadrático de Brown, médias móveis auto-regressivas de Box-Jenkins, análise de intervenção), multivariados (modelos de regressão dinâmica, de Koyck, modelos multivariados auto-regressivos) ou ainda modelos não lineares, como os exponenciais auto-regressivos, caóticos e mesmo modelos de redes neurais. Os resultados são analisados por especialistas na indústria do petróleo, que projetam diferentes cenários, e as decisões são tomadas por um alto colegiado, que se pronuncia pela utilização de um determinado cenário ou de uma combinação de cenários no planejamento da empresa.

Atualmente, estão em progresso estudos visando estabelecer a aderência das previsões à realidade, com o intuito de se reduzir o número de métodos quantitativos empregados nas previsões.

4.1.9. Northville Industries.

Trata-se de uma pequena empresa da Nova Inglaterra, com sede em Northville, Long Island, NY, que opera com pequena refinaria (90 mil bpd) e blending e marketing de produtos, principalmente gasolina e heating oil. Embora a previsão de preços de óleos seja extremamente importante para a firma, que tem opção de adquirir crus de diversas origens diferentes em função exclusivamente de preços, afirma seu Presidente e CEO, Jay Bernstein, que a Northville não trabalha diretamente com *forecasting*. Análises e estudos são encomendados a empresas de consultoria especializadas na indústria do petróleo, das quais foram citadas Bonner & Moore e Bear Stearns. Presumivelmente, o critério utilizado é o puramente subjetivo.

4.1.10. Wolverine Enterprises.

Pequena empresa de *Refining & Marketing* com sede em Tulsa, Oklahoma, que opera duas refinarias e comercializa derivados de petróleo na região central dos EUA. Para fins de previsão de preços de petróleos e produtos, utiliza uma política mista, na qual métodos quantitativos univariados (notadamente ARIMA) são empregados através de um software específico (WinForecast ®) e seus resultados comparados com o sentimento de mercado do CEO da companhia.

4.1.11. Atlantic Richfield Corporation (ARCO).

Esta empresa é a 19ª classificada na lista das maiores corporações da indústria do petróleo, com faturamento anual da ordem de US\$ 13,2 bilhões (1999). Tem como característica particular o fato de apresentar uma administração extremamente descentralizada. A ARCO atua no ramo de petróleo, derivados, química, petroquímica e álcool-química; é a companhia que, na década de 70, sintetizou e passou a produzir em escala industrial o MTBE, metil terc-butil éter, importante aditivo para a gasolina, largamente utilizado nos EUA. A atividade da companhia é fortemente centrada no mercado norte-americano.

É consenso na indústria do petróleo que, entre as grandes corporações, talvez a ARCO seja a que apresenta a estrutura organizacional mais leve e ágil. Em parte por este motivo, constitui-se numa das empresas mais dinâmicas do segmento, desenvolvendo pesquisas e lançando constantemente novos produtos e serviços, como aditivos para produtos de petróleo, catalisadores para FCC e outros.

A maior parte das plantas industriais da ARCO, com suas respectivas infra-estruturas agregadas (refinarias com terminais, plantas de armazenagem e estações de serviço, plantas químicas ou petroquímicas com seu sistema logístico *inbound* e *outbound*, etc.) representa uma unidade de negócios autônoma, com quase total independência para fixar metas e objetivos e disponibilizar meios para que os fins colimados sejam atingidos. Semelhantemente ao caso da BP-Amoco, o *board of directors* da ARCO cobra das unidades de negócios níveis de desempenho prefixados, em termos de metas, em parâmetros como faturamento e lucro líquido. No entanto, os procedimentos que cada unidade deve adotar para atingir as metas permanecem a critério dessas mesmas unidades.

Assim sendo, encontram-se, no âmbito da ARCO, diferentes enfoques para a questão da previsão de preços, dependendo da política adotada por cada unidade de negócios. Algumas unidades (que não foram identificadas nominalmente nas informações cedidas pela ARCO) utilizam um procedimento puramente subjetivo para as previsões: especialistas no mercado de petróleo e derivados, com base na experiência e no conhecimento, estabelecem o *forecasting* dos patamares futuros de

preços de óleos e produtos, levando em consideração os fundamentos do mercado. Não ocorre previsão através de métodos objetivos.

Por outro lado, um certo número de unidades de negócios trabalham com previsões em base quase que totalmente objetiva: processos quantitativos (com particular ênfase em métodos multivariados, como regressão dinâmica, regressão múltipla, análise de intervenção, métodos de estado espacial) determinam o *forecasting* de preços no horizonte desejado, e a intervenção dos analistas de mercado ocorre somente em casos excepcionais, apenas para efetuar correções nas previsões.

O caso mais freqüente, porém, corresponde a uma política mista de previsão, na qual os resultados previstos pelos métodos quantitativos são cotejados com o expertise e a visão de mercado de analistas, técnicos, planejadores e logísticos com experiência no mercado.

4.1.12. Elf-Aquitaine.

Trata-se de uma companhia com características especiais: é uma das duas companhias estatais francesas (a outra é a atual TotalFina, resultante da recente fusão entre a estatal francesa Total e a empresa privada belga Petrofina) de petróleo. Embora submetidas ao controle estatal pela posse de ações, estas empresas, a exemplo de outras ao redor do mundo, são geridas, como corporações de economia mista, tanto pela iniciativa privada como pelo comando estatal.

Como sói ocorrer com as firmas estatais ou de economia mista, a Elf-Aquitaine opera com forte coeficiente de concentração decisória. A sede, em Paris, determina o planejamento de curto, médio e longo prazo para todo o sistema integrado da Elf-Aquitaine, o que envolve campos de produção de petróleo, transporte, refinarias, sistema de dutos, logística, distribuição e mercado em várias partes do mundo, em particular na Europa, na África (ex-colônias francesas, comunidade do Franco CFA) e no Extremo Oriente.

De acordo com as informações obtidas, a Elf-Aquitaine consiste num dos raros casos em que se emprega, unicamente, um critério subjetivo na determinação da previsão de preços de petróleo e derivados. Não se utilizam métodos quantitativos para o planejamento. Cenários de preços de petróleo e derivados são estabelecidos

pela área de planejamento da empresa, que conta com uma equipe de especialistas em mercado internacional de energia. O responsável pela área, com *status* de diretor, reporta os *findings* da equipe de planejamento ao *board of directors*, que referenda então (ou não) o cenário de preços em que a empresa deve apostar. Sob muitos aspectos, a estrutura utilizada pela Elf-Aquitaine, como será visto em seguida, é muito semelhante ao modelo atualmente em uso pela Petrobras.

4.1.13. Chevron Corporation.

Talvez em virtude de sua própria origem como empresa (a Chevron Corporation foi desmembrada do *trust* Standard Oil, de Nelson D. Rockefeller, ainda na década de 10, por força de decisão judicial da Suprema Corte dos EUA [YERGIN,1998]), esta corporação, desde o início, organizou-se em aglomerados empresariais com campo básico de interesse na área do *US Gulf*, o Golfo Americano, e na costa oeste dos EUA, dirigindo-se para uma rota industrial de refino e exportação de derivados de petróleo, seja para o exterior, seja para as grandes regiões consumidoras de derivados, como a região da Nova Inglaterra.

Tais aglomerados industriais, embriões das futuras unidades de negócios, mantiveram desde o início uma relativa independência da administração central em termos de políticas e diretrizes de condução das atividades empresariais. Hoje em dia, por exemplo, a unidade industrial incorporada à refinaria de El Segundo, em Los Angeles, independe por completo das atividades da unidade representada pela refinaria de Pascagoula, no Mississippi, exceto pelo fato de que os resultados econômico-financeiros de ambas são consolidados numa entidade superior e mais abrangente, a Chevron Corp, que é, hoje em dia, a décima primeira corporação da indústria do petróleo em termos de faturamento.

Em função destes fatores, as políticas de previsão de preços no âmbito da Chevron seguem diferentes padrões, dependendo do segmento industrial considerado, do produto (matéria-prima ou derivado) e do horizonte da previsão.

De um modo geral, segundo as informações recebidas, os aglomerados industriais componentes da Chevron seguem uma linha mista de política de previsão de preços. A componente subjetiva é mais atuante no longo prazo: as previsões para horizontes superiores a dois anos são, em geral, fortemente subjetivas. Inversamente,

quando se considera o curto prazo (*forecasting* para um horizonte de, no máximo, um ano, e mais freqüentemente de alguns dias até três / quatro meses à frente), a componente objetiva tem maior peso. Os métodos mais comumente usados são os univariados, para previsão de preços de derivados de petróleo (médias móveis, amortecimento linear e sazonal de Winters, médias móveis auto-regressivas — Box-Jenkins — , ARIMA), e métodos multivariados para previsão de preços dos óleos (regressão dinâmica, técnicas bayesianas, regressão múltipla).

4.1.14. PMI Comercio Internacional, S.A. de C.V.

A Pemex, Petroleos Mexicanos S.A., já foi uma das grandes corporações da indústria do petróleo. No início da década de 90, ao longo de processo gradativo de privatização, a companhia foi dividida em diversas outras, com áreas de atuação específica, como E&P, refino, distribuição, petroquímica, química fina, comércio internacional, etc. Uma destas empresas, que na verdade já existia formalmente desde meados da década de 80, é a PMI (PeMex Internacional) Comercio Internacional, S.A. de C.V., braço da Pemex destinada a operar com exportação e importação de óleo cru e derivados, uma companhia de *trading* integrada à estrutura da estatal mexicana.

Pelo que foi possível observar *in loco* junto a esta empresa, o procedimento de previsão de preços é um dos raros exemplos em que se utiliza um processo totalmente objetivo. Por se constituir numa empresa exclusivamente de *trading*, sem vinculações com os demais segmentos da cadeia logística da indústria do petróleo, a PMI considerou mais conveniente, para sua forma de atuação, adotar apenas métodos quantitativos na previsão de preços de petróleo e derivados.

A firma adquiriu os direitos de utilização de um poderoso banco de dados da indústria do petróleo, o sistema Saladdin®, que contém o registro de cotações de preços de óleos e produtos num horizonte médio de quinze anos e permite calcular algumas estatísticas simples quanto a tais dados, possuindo ainda módulos gráficos.

Estas bases de dados são processadas em diferentes *softwares*, com ênfase para os SAS 6.12® e SPSS 7.5® com o módulo Trends. Para as projeções de preços de produtos, são usualmente empregados métodos univariados, como Holt-Winters e

ARIMA. Com respeito aos preços de óleos brutos, a PMI utiliza modelos de regressão dinâmica.

Não é realizada análise subjetiva dos dados. Os valores das previsões obtidos pelos métodos quantitativos são usados na prática sem tratamentos adicionais.

4.1.15. Getty Oil.

A Getty Oil já foi, num passado mais distante (décadas de 60/70) uma empresa atuante no mercado de petróleo e derivados da costa leste dos EUA. Nos últimos anos, tem perdido *market share* e relevância na área. Nos dias atuais, é uma empresa de atuação apenas regional, presente em quatro estados da Nova Inglaterra, e opera uma pequena refinaria em Sewaren, New Jersey.

As políticas de previsão de preços passaram por diversos estágios nos quais assumiam diferentes enfoques. Desde sua fundação até meados dos anos 70, a companhia adotava diretrizes subjetivas, com a visão de mercado e o traçado de cenários futuros de preços sendo responsabilidade conjunta do CEO da empresa e dos logísticos inbound. Na esteira de uma reformulação administrativa, as previsões passaram a ser encomendadas, sob contrato, a uma entidade de assessoria privada, a PIRA (Petroleum Intelligence Research Association).

Mais recentemente, já a partir dos anos 90, a Getty instalou uma área de planejamento logístico e a política de previsão passou a ser de caráter misto, envolvendo componentes subjetivas e uma previsão quantitativa de preços realizada por pessoal especializado. A Getty utiliza basicamente processos univariados simples (amortecimento exponencial simples, Holt) no *forecasting* de preços tanto de crus como de produtos.

4.1.16. Empresas de consultoria.

Algumas empresas e entidades acadêmicas de consultoria, como PIRA (Petroleum Intelligence Research Association), CERA (Cambridge Energy Research Association), Solomon Brothers, Bonner & Moore, Andersen Consulting, Oil & Gas Journal, OBG (Oil Buyer's Guide), Clarkson Research Studies, Petroflash, Merrill Lynch e Bloomberg International, não opuseram restrições em descrever, em termos

genéricos e sem entrar em detalhes mais sensíveis, os métodos que utilizam para efetuar as previsões de preços.

Para o longo prazo (horizonte de previsão acima de dois anos), a maioria das entidades utiliza basicamente meios subjetivos, tanto para petróleo como para derivados, analisando os fundamentos estratégicos de mercado. Por este motivo as previsões divergem sensivelmente umas das outras; tudo depende da visão de mercado do analista ou do grupo de analistas.

Para horizontes mais curtos, adquirem precedência os métodos objetivos de previsão, tanto para crus como para derivados. Em geral, as entidades utilizam bancos de dados específicos da indústria do petróleo, como Saladdin®, Reuters®, Platt's®, Argus® e OBG (Oil Buyer's Guide)®, e tratam tais dados através de uma vasta gama de pacotes computacionais, como por exemplo Forecast Pro®, SAS/ETS®, SPSS®, EvIEWS®, SIBYL®, Autobox®, SCA®, Statistica®, PcGive®, PcFiml®, WinForecast® e ForecastX®, além de *softwares* específicos para a construção de modelos de redes neurais, como Propagator®, NeuroForecaster®, NeuFuz4®, IBM Neural Network Utility®, WAND®, OWL®, Statistica Neural Networks® e muitos outros.

Observa-se uma tendência média, entre tais entidades, de preferir os métodos univariados para a previsão de preços de derivados e métodos multivariados para o *forecasting* de preços de óleos crus, embora isto não seja verdadeiro em todos os casos.

Entre os métodos univariados preferidos por tais entidades, pode-se citar, numa lista que não pretende ser abrangente, a decomposição clássica, métodos de Holt e Holt-Winters, amortecimento Loess, regressão linear simples, modelos ARMA e ARIMA. O amortecimento Loess é um amortecimento linear local (regressão local) com proteção contra observações extremas, ou outliers, pela ponderação com pesos sucessivamente menores das observações que apresentam os maiores erros. Este caso particular de amortecimento foi descrito por Cleveland & Devlin (1988) e Cleveland, Devlin & Grosse (1988). [MAKRIDAKIS, 1998].

Entre os processos multivariados, podem-se citar os modelos de regressão dinâmica (função de transferência), análise de intervenção e modelos de estado espacial. Eventualmente empregam-se ainda métodos não lineares, e, entre estes, os mais comuns são modelos de redes neurais.

4.1.17. Empresas cujos métodos não foram explicitados.

Algumas outras companhias da indústria do petróleo foram também consultadas a respeito dos métodos de previsão de preços de petróleo e produtos que costumam utilizar, e recusaram-se a fornecer maiores detalhes, alegando restrições de ordem interna, confidencialidade da informação ou política corporativa. Entre estas, pode-se citar a Exxon-Mobil Corporation (primeira empresa no *ranking* da indústria, por faturamento), Texaco (oitava), TotalFina (décima), Tosco (20^a), Phillips Petroleum (21^a), Japan Energy (23^a) e Idemitsu Kosan (24^a).

Entretanto, informações obtidas por vias indiretas (outras companhias de petróleo, entidades de consultoria e análise de mercado, informações informais) indicam que, com alto grau de probabilidade, os métodos utilizados por tais companhias não diferem fundamentalmente dos procedimentos mistos empregados por corporações como BP-Amoco, Repsol-YPF, Chevron Co. e ARCO.

4.1.18. Petrobras.

Cumprir observar que a política de previsão de preços na Petrobras (15^a corporação no ranking mundial das empresas de petróleo, com faturamento de US\$ 15,53 bilhões em 1999) mostrou-se bastante mutável ao longo do tempo, obedecendo a um comportamento até certo ponto “cíclico”, se assim se pode dizer.

Até 1983, o método utilizado para a previsão de preços, tanto de óleo cru como de derivados, era o processo subjetivo, ou qualitativo. Um grupo de analistas de mercado e logísticos inbound estabelecia a previsão dos preços a futuro, sem utilizar quaisquer métodos quantitativos para tal. Faz-se mister destacar que, durante este período, a Petrobras caracterizou-se pela forte importação de petróleo bruto, estando o mercado de derivados razoavelmente abastecido pela produção interna, sem que ocorressem movimentos importantes de comércio exterior de derivados de petróleo.

Cabe ainda observar que, desde a década de 60, vinha sendo desenvolvido internamente um modelo de programação linear (inicialmente conhecido como Plano Integrado, depois Modelo 0749 e, finalmente, PlanAb, ou Plano Geral do

Abastecimento) destinado a integrar as operações de importação de petróleo e derivados, processamento nas refinarias e abastecimento doméstico. Este modelo, entretanto, integra apenas as operações físicas, utilizando os preços de crus e produtos como dados de entrada, que eram fornecidos segundo o processo subjetivo mencionado acima.

No início de 1984, coincidindo com a maior presença da companhia no mercado internacional de derivados, um órgão da empresa, o SEORME (Setor de Organização e Métodos) desenvolveu um modelo ARIMA para previsão de preços de óleos e derivados. Tal modelo valeu-se de um método Delphi para integrar-se à política de previsão subjetiva então em vigor. As previsões do modelo ARIMA eram comparadas com previsões qualitativas realizadas por um grupo de analistas de mercado, ocorrendo um processo de feedback: as previsões subjetivas com maior índice de acerto eram gravadas com peso maior numa correção dos resultados do modelo. O software utilizado era uma versão do SAS, Statistical Analysis System®, rodando ainda no *mainframe* IBM. Neste período, a Petrobras, em parte devido à introdução no país do Proálcool, que provocou sensível redução do consumo interno de gasolina, passou a ser forte exportadora deste produto, colocando-o nos EUA, na América Latina (Colômbia) e na África Ocidental (Nigéria, Gana e Togo).

Tal procedimento de previsão ARIMA combinada com o método Delphi continuou em vigor até o ano de 1990, sendo então descontinuado, devido a dois fatores: sua sofrível aderência à realidade e o simultâneo estabelecimento de um grupo de análise de mercado futuro, inicialmente denominado NUMEF (Núcleo de Mercado Futuro) e posteriormente AMEFE (Assessoria de Mercados Futuros de Energia).

Este órgão passou então a centralizar a inteligência de mercado, responsabilizando-se pelas previsões de preços de curto, médio e longo prazo.

Durante este tempo, métodos univariados de previsão (Box-Jenkins, ARIMA) eram utilizados, mas tão-somente para a previsão de mercados de derivados, não tendo aplicação nas previsões de preços.

A política qualitativa desenvolvida pela AMEFE sofreu interrupção a partir de meados de 1994, quando um novo órgão da Petrobras denominado SERINF (Serviço de Recursos da Informação) desenvolveu um outro modelo ARIMA para a previsão de preços de petróleos e derivados, utilizando uma base de dados mais

ampla, a base Saladdin® e os pacotes computacionais SAS/ETS® e SPSS®. Nesta ocasião, não foi utilizado o método Delphi.

No final de 1995, este segundo modelo objetivo de previsão foi descontinuado, voltando a previsão a ser realizada pelo processo subjetivo, através da *expertise* de mercado dos técnicos e analistas da AMEFE. Hoje em dia, prossegue em utilização esta política, muito embora reações, iniciadas em 1998, indiquem a necessidade de uma total reformulação de tal modelo.

4.2. OBSERVAÇÕES QUANTO ÀS PREVISÕES DE PREÇOS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

Como visto na seção 4.1., existe uma grande diversidade na aplicação de métodos de previsão de preços na indústria do petróleo, com o uso desde processos puramente subjetivos, nos quais as previsões são realizadas de forma qualitativa, até a utilização integral de processos quantitativos, sem participação do julgamento de especialistas.

Embora todo este amplo espectro possa ser encontrado na prática, a “moda”, do ponto de vista estatístico, consiste na utilização de métodos mistos, reunindo técnicas quantitativas da previsão ao julgamento por parte de especialistas em mercado, em diferentes graus em função da organização. Observa-se ainda que o peso da componente qualitativa é maior nas previsões de longo prazo, enquanto prepondera a componente quantitativa no *forecasting* de curto e médio prazo.

Outro dado digno de observação consiste na preferência da indústria pelos processos univariados para a previsão de preços de produtos e dos métodos multivariados para a previsão dos preços dos óleos crus.

Estes parâmetros, e ainda a cultura da Petrobras em previsão de preços, serão considerados na formulação do modelo previsor objeto do presente trabalho, como será visto no Capítulo 5.

4.3. CONCLUSÕES.

No Capítulo 4 forneceu-se um panorama geral de como diversas corporações da indústria do petróleo lidam, hoje em dia, com o problema da previsão dos preços

dos petróleoos, problema este que constitui, em síntese, a situação básica da Logística Inbound neste segmento industrial.

Apesar de, conforme visto, ocorrerem diferenças fundamentais entre as estratégias formuladas pelas companhias para solucionar o problema, emerge, da análise efetuada, um padrão característico de comportamento das empresas em geral quando confrontadas com a necessidade de estabelecer previsões de preços.

Destarte, as previsões de longo prazo, tanto para óleos como para produtos, parecem ser efetuadas, de um modo geral, com base no critério que aqui foi denominado “subjetivo”, ou “qualitativo”: não se utilizam usualmente técnicas quantitativas de previsão; o estabelecimento dos cenários futuros de preços fica a cargo, em geral, de uma equipe de analistas experientes na indústria, planejadores, logísticos *inbound* ou mesmo o CEO da empresa, que, baseados no conhecimento dos fundamentos de mercado (análise fundamentalista), geram as previsões quanto aos patamares de preços esperados no futuro para os petróleoos, e, em consequência, os derivados.

No que tange ao médio prazo, o comportamento das corporações já se altera substancialmente, envolvendo uma vasta gama de métodos “objetivos”, ou “quantitativos”, de previsão. Como, em geral, as companhias não utilizam diretamente os resultados “crus” obtidos a partir dos métodos objetivos e quantitativos de previsão, preferindo submetê-los previamente a uma análise, com eventuais correções, por parte de especialistas na indústria, tal política foi denominada, no âmbito do presente trabalho, de uma política “mista” de previsão. No médio prazo, as empresas preferem utilizar métodos univariados para o forecasting de preços de derivados e uma abordagem multivariada para a previsão das cotações dos óleos. Tal fato, como já comentado, parece originar-se da crença (fundamentada) de que os preços dos produtos são, em grande parte, e com forte correlação, “comandados” pelos preços dos petróleoos, estando assim quase que totalmente explicados pelo comportamento no tempo das cotações dos óleos brutos. Por seu turno, os preços dos óleos são influenciados por outras variáveis intrínsecas à indústria e por condições macroeconômicas, o que explica o seu tratamento via processos multivariados.

No curto prazo, permanece em vigor a estratégia mista de previsão. No entanto, os métodos objetivos adquirem peso maior na decisão quanto ao

estabelecimento dos cenários de preços. Entre os processos multivariados de previsão, a indústria mostra preferência pela regressão dinâmica, a análise de intervenção (caso particular da regressão dinâmica) e pelos modelos de estado espacial, além dos processos não lineares, com particular ênfase nas redes neurais artificiais.

Foi também avaliada a evolução do uso de processos preditivos de preços de petróleo e derivados na Petrobras, até o estágio corporativo em que se encontra atualmente.

No Capítulo 5 será apresentado o modelo de regressão dinâmica desenvolvido para o caso em questão, qual seja a previsão dos preços dos petróleos Brent e WTI nos horizontes de curto e médio prazos.

CAPÍTULO 5

FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA.

Conforme exposto no Capítulo 4, a abordagem técnico-empresarial utilizada no presente trabalho prevê a utilização de um modelo de regressão dinâmica para a previsão das cotações dos petróleos WTI e Brent no cenário internacional a curto e médio prazo. Como explicado no Capítulo 2, a execução de tais previsões é de vital importância para o logístico *inbound* numa empresa de petróleo, uma vez que permitirá a tomada de decisões adequadas quanto à seleção do óleo ou dos óleos a se adquirir num dado momento, possibilitando à companhia reduzir o custo de aquisição de matéria prima, minimizando assim o custo global de produção ao longo *do supply chain*, e conseqüentemente manter condições de competitividade, sob um enfoque da cadeia logística, num mercado que por si só já se revela altamente competitivo.

Tal abordagem encontra-se em linha com o que é praticado hoje em dia pela maioria das grandes corporações da indústria do petróleo, conforme visto em 4.1., atendendo assim aos critérios empresariais. Além disso, situa-se também em acordo com as recomendações de autores que vêm realizando as mais recentes pesquisas na área de previsão, de um modo geral, e de previsões de preços, de forma particular, cumprindo por conseguinte com os critérios acadêmicos do estado da arte.

Como visto nos Capítulos 3 e 4, um modelo de regressão dinâmica utiliza um conjunto de variáveis (ditas variáveis de entrada, exógenas ou explicativas) para explicar o comportamento das séries temporais de outras variáveis cuja previsão se pretende obter (ditas variáveis de saída, endógenas ou explicadas). No presente capítulo, pretende-se estabelecer a arquitetura do modelo, mostrando-se a seleção das variáveis exógenas em 5.2., a construção do modelo propriamente dito em 5.6 e a análise dos resultados em 5.7.

[MAKRIDAKIS, 1998] estabelece a existência de cinco etapas sucessivas na tarefa de efetuar previsões, quais sejam:

Definição do problema:

De acordo com [MAKRIDAKIS, 1998], esta pode vir a ser a etapa de mais difícil execução, tendo em vista que, da correta e precisa definição e equacionamento do problema que se pretende resolver, depende a aderência e propriedade da previsão. Na situação presentemente sob estudo, a definição do problema a resolver é simples e direta, conforme já explicitado nos Capítulos 1, 2 e 4; trata-se de prever, no curto e médio prazos, a evolução dos preços dos óleos “benchmarking” WTI e Brent e, conseqüentemente, do *spread* entre tais preços.

Coleta de informações:

Este passo consiste em reunir todas as informações relevantes para a resolução do problema, não apenas os dados estatísticos, séries históricas e elementos numéricos, mas também as informações qualitativas que podem ser aduzidas por profissionais e empresas vinculadas ao problema em fase de equacionamento. Ou seja, a intenção consiste em formar-se um panorama o mais completo possível do problema, de suas condições de contorno e do ambiente em que se insere.

Análise preliminar (exploratória):

Envolve a análise preliminar dos dados e elementos postos à disposição do pesquisador, buscando a obtenção de conclusões iniciais que possam conduzir o posterior trabalho de investigação. Nesta fase, analisar-se-á o comportamento dos dados numéricos e gráficos em busca de padrões de comportamento, como tendências, sazonalidade e outras características, além de outras variáveis que possam afetar o comportamento da série em estudo.

Seleção e ajuste de modelos de previsão:

A etapa anterior fornece ao profissional experiente um grande número de informações quanto ao fenômeno em estudo. Com esta massa de informações, é possível iniciar-se a quarta etapa, que envolve a escolha de um modelo, ou de uma família de modelos, e as tentativas de ajustar-se os dados históricos e a expectativa de evolução futura a uma técnica de previsão.

Utilização e avaliação de um modelo de previsão:

A quarta etapa permite que seja identificado um modelo específico para manejar o problema em questão. Na quinta e última etapa da tarefa do previsor, o modelo mais adequado é escolhido e seus parâmetros determinados de modo a minimizar-se o erro da previsão. Leva-se em conta o critério de custo / benefício do modelo apresentado, ou seja, nem sempre modelos extremamente complexos são os

mais adequados; eventualmente, um modelo mais simples e que apresente previsões de aderência comparável pode vir a ser selecionado, em função da economia na utilização.

5.1. DEFINIÇÃO FORMAL DO PROBLEMA.

As séries temporais cuja previsão é o escopo do presente trabalho obter, conforme já explicitado nos Capítulos 1, 2 e 4, são as séries de preços do petróleo WTI (de acordo como reportados pelas publicações especializadas da indústria do petróleo, em base FOB Cushing, Oklahoma), as séries de preços do petróleo Brent, nas mesmas condições, em base FOB Sullom Voe, Mar do Norte, e, recorrentemente, a série histórica representativa do diferencial (ou *spread*) entre as cotações de ambos os óleos. A Figura 1.2. (Capítulo 1) apresenta o comportamento dos preços do óleo WTI entre julho de 1987 e julho de 2001 e mostra a evolução dos preços do cru referencial Brent em igual período, e a Figura 5.1. descreve graficamente o comportamento do *spread*, ou diferencial, entre os preços de ambos os petróleos. Já a Figura 5.2. plota, na mesma escala de tempo, o comportamento superposto das cotações do WTI e do Brent e o diferencial de preços entre estes óleos.

Preliminarmente, deve ficar explícito o escopo da presente dissertação. Pretende-se aqui desenvolver um modelo para a previsão dos preços dos crus referenciais WTI e Brent (e, conseqüentemente, do *spread* entre ambos) no curto e médio prazos, entendido como médio prazo o horizonte de previsão inferior a um ano. Tal horizonte satisfaz plenamente às necessidades práticas da indústria, permitindo inclusive prever preços para fins de estabelecimento de contratos, normalmente anualizados. Por outro lado, simultaneamente evitam-se os problemas técnicos que soem afetar as previsões de longo prazo. Este modelo, conforme discutido no Capítulo 3, vem a ser um modelo de regressão dinâmica, ou modelo de função de transferência.

Como visto no Capítulo 4, as corporações petrolíferas normalmente não utilizam métodos quantitativos, ou objetivos, nas previsões de cenários de longo prazo, preferindo adotar uma política qualitativa, ou subjetiva, em tais casos.

As séries históricas dos crus WTI e Brent utilizadas (fonte: Petrobras) iniciam-se em julho de 1987, havendo uma razão prática para tanto: nesse mês, dado o incremento da exploração oleífera nos primeiros campos de produção *offshore* do Mar do Norte, como Ninian, Statfjord, Forties, Brae, Magnus, Ekofisk, Gullfaks, Asgard, Oseberg, Troll, Sleipnir, e o próprio Brent, este último petróleo passou a ser utilizado como óleo referencial de preços internacionais na bolsa de *commodities* de energia em Londres, o IPE — International Petroleum Exchange. A partir de julho de 1987, o mercado internacional passou a empregar o Brent como referência preferencial de preço dos crus europeus e africanos, além de alguns do Oriente Médio e do Extremo Oriente, enquanto o WTI permanecia como referencial para os óleos produzidos no continente americano.

5.2. SISTEMATIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO.

Intuitivamente, infere-se que uma gama razoavelmente vasta de variáveis macroeconômicas, inerentes à indústria do petróleo e vinculadas a fontes alternativas de energia influem, ou pode vir a influir, no comportamento dos preços dos petróleos. Em linha com as normas mais aceitas para a modelagem de regressão dinâmica, recomenda-se iniciar a construção do modelo da forma mais ampla e mais geral possível. A crítica preliminar aos dados de entrada é reduzida ao mínimo, como num processo de *brainstorming*, afetando apenas aquelas variáveis que, por consenso entre as corporações da indústria do petróleo e entre os pesquisadores da área de previsão, oferecem influência nula ou praticamente nula sobre as séries temporais explicadas.

Neste estágio dos trabalhos, é importante desenvolver-se cuidados no sentido de incluir todas as variáveis que possam apresentar significado na explicação do comportamento das séries temporais em estudo. As variáveis que porventura sejam irrelevantes para a solução do problema em tela serão posteriormente indicadas no próprio modelo, através dos testes de t-Student (Gossett), R^2 ajustado, Estatística F e Critério de Informação de Akaike (AIC).

As informações numéricas necessárias ao desenvolvimento do modelo em tela foram obtidas a partir de diversas fontes, na World Wide Web e junto a empresas

da indústria do petróleo, conforme explicitado mais adiante neste capítulo. Entretanto, existe um entorno de informações qualitativas, a expertise de mercado e a experiência e vivência em previsão de preços de petróleo e energia, cuja fonte foram profissionais da Petrobras que convivem diariamente com o problema da Logística inbound de avaliar as melhores alternativas de aquisição de crus.

Atendendo ao critério de máxima abrangência na inclusão preliminar de variáveis exógenas, explicativas ou de entrada, e em função da definição formal do problema, foram selecionados os parâmetros a seguir listados.

5.2.1. Variáveis endógenas.

As variáveis endógenas, explicadas ou de saída no problema em tela são três, a saber:

1. Preço do cru WTI, em base FOB Cushing, Oklahoma, expresso em US\$/bbl, média mensal;
2. Preço do cru Brent, em base FOB Sullom Voe, Mar do Norte, expresso em US\$/bbl, média mensal;
3. *Spread* WTI – Brent, expresso em US\$/bbl, média mensal.

Sendo que o valor do *spread* WTI-Brent constitui-se numa variável dependente das duas primeiras. Além disso, o *spread* WTI-Brent apresenta cointegração com as demais variáveis endógenas do modelo.

5.2.2. Variáveis exógenas inerentes à indústria do petróleo.

Entre os parâmetros mais utilizados pelas corporações atuantes na indústria do petróleo e reconhecidos pelos modernos autores na esfera da previsão de preços, incluíram-se no modelo de regressão dinâmica os seguintes:

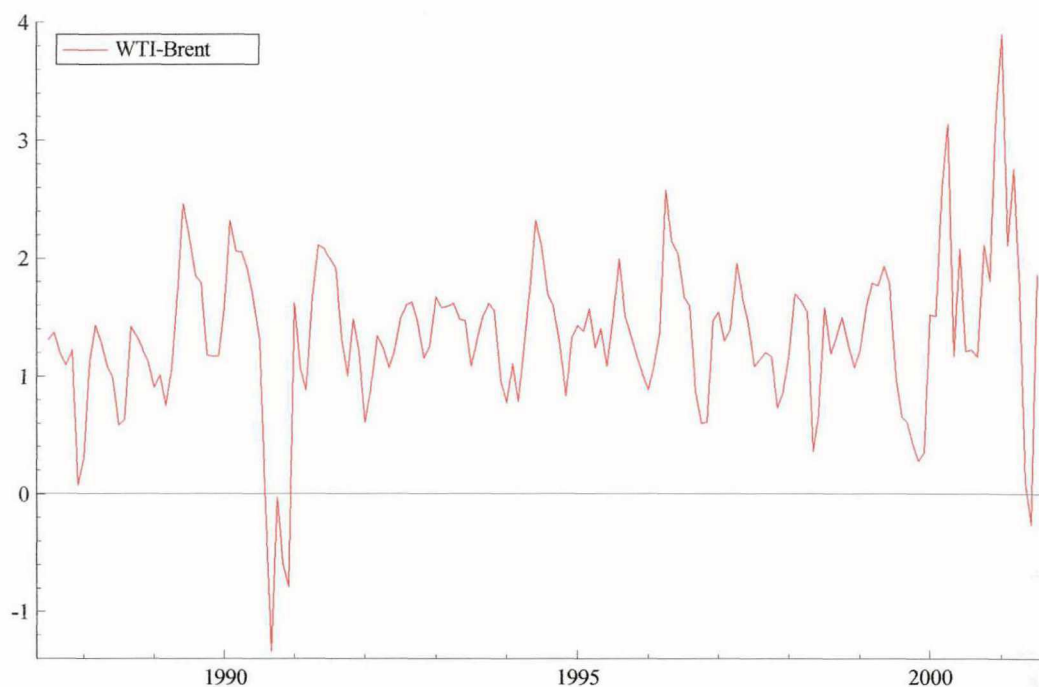


Figura 5.1. – Diferencial (spread) entre os preços dos óleos referenciais WTI e Brent, julho de 1987 a julho de 2001. Cotações médias mensais. Fonte: Petrobras, 2001.

Produção mundial de petróleo: representa a disponibilidade imediata de cru colocado à disposição da indústria, em milhões de barris por dia, pelas corporações produtoras de óleo.

Consumo mundial de petróleo: corresponde ao volume de demanda efetiva por crus por parte da indústria em todo o mundo. Tal variável é expressa em milhões de barris por dia.

Reservas mundiais provadas de óleo: indica a disponibilidade potencial de petróleo para utilização futura, em bilhões de barris, acumulada em jazidas identificadas e medidas.

Capacidade mundial de refino instalada: corresponde à capacidade de conversão primária de óleo cru instalada no mundo, ou seja, às configurações de destilação atmosférica. Representa a capacidade de tratamento de óleo em operação. Sua variação pode indicar resposta a flutuações de demanda por produtos de petróleo no mundo, além do comportamento da economia como um todo. É medida em milhões de barris por dia.

Throughput das refinarias mundiais: mede o volume de derivados produzidos no mundo, expresso em milhões de bpd (barris por dia). Este parâmetro está fortemente correlacionado com o consumo de produtos de petróleo em escala mundial, com a produção de óleo e com o desempenho global da economia.

Os dados referentes a estes parâmetros foram obtidos a partir de informações da BP-Amoco Corp., sendo confrontados com elementos obtidos junto ao DOE (Department of Energy – EUA); ao API (American Petroleum Institute); ao International Trade Statistics — Foreign Trade Division, U.S. Census Bureau; ao serviço de energia do Reuters; à Petrobras e à ANP — Agência Nacional do Petróleo.

Cumprir notar que não se incluiu, no modelo, os preços dos derivados de petróleo. Isto porque, segundo demonstra a prática e o consenso da indústria, as cotações dos derivados são consequência direta dos preços dos petróleos, não sendo lícita, portanto, a tentativa de explicação dos preços de WTI e Brent a partir, por exemplo, dos preços internacionais da gasolina e do óleo Diesel.

5.2.3. Variáveis exógenas relativas à economia global em termos gerais (variáveis macroeconômicas).

Os parâmetros macroeconômicos selecionados para emprego no modelo de regressão dinâmica foram eleitos de acordo com quatro critérios: relevância da informação para a modelagem em pauta, confiabilidade dos dados, consistência dos elementos e disponibilidade de acesso aos parâmetros.

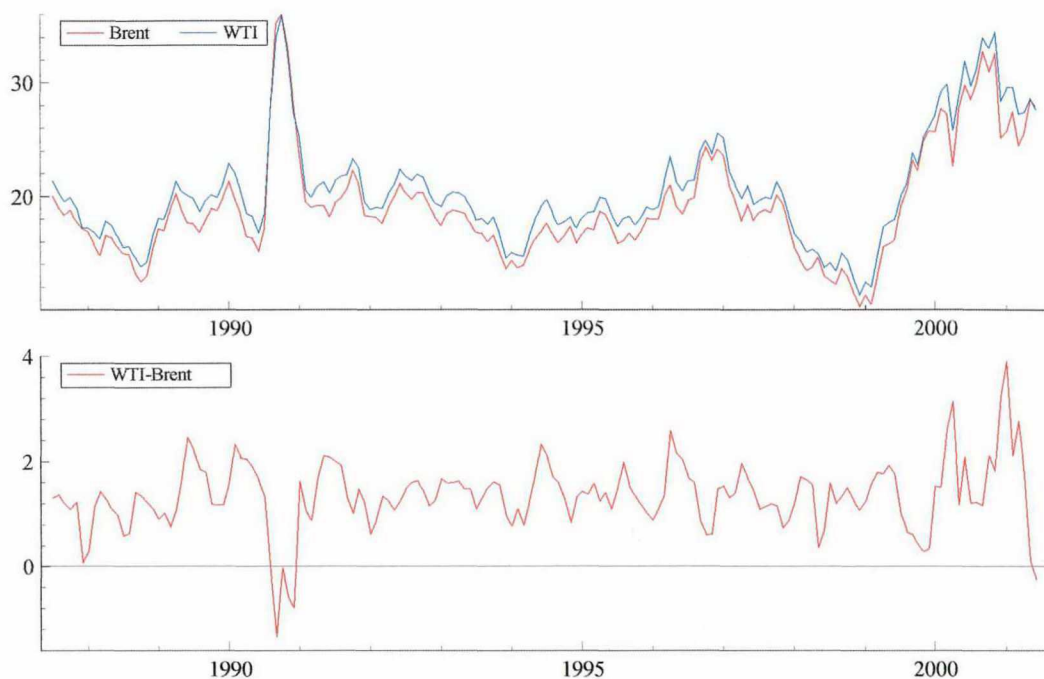


Figura 5.2. – Valores de Brent, WTI e do spread WTI-Brent na mesma escala de tempo. Cotações médias mensais. Fonte: Petrobras, 2001.

Devido à imensa quantidade de dados macroeconômicos colocados à disposição do pesquisador, notadamente em sites da World Wide Web, faz-se mister selecionar criteriosamente aqueles que, de algum modo, guardam relação com o fenômeno pesquisado, sob pena de se adir ao modelo uma pesada massa de informação que muito pouco ou nada acrescenta ao estudo e busca da compreensão do fenômeno objeto do presente trabalho. À guisa de exemplo, cumpre citar que apenas o US Census Bureau disponibiliza regularmente 167 bases de dados estatísticos diferentes a respeito de economia e energia nos EUA e no mundo, com enfoque desde o PIB real dos EUA até a taxa de desemprego setorial e o índice de desempenho das companhias não-financeiras do país. É compreensível, portanto, que se exerça uma cuidadosa seleção prévia das bases de dados a se utilizar, de modo a incluir-se apenas aquelas que mantenham relação direta com o tema em pauta.

O critério da confiabilidade dos dados é igualmente importante. Desde que os mesmos dados podem ser obtidos de diferentes fontes, cumpre confrontá-los e verificar sua aderência à necessidade de informação em questão. Podem, por exemplo, ocorrer pequenas discrepâncias entre os dados fornecidos, para o mesmo

parâmetro, pelo US Census Bureau e pelo *site* oficial da OECD. Normalmente, tais diferenças são causadas por particularidades nos critérios de estabelecimento das premissas e fundamentos dos dados. Em tais casos, cabe ao pesquisador consciente comparar os dados com outras fontes e julgar, quanto aos critérios utilizados em cada construção de base de dados, aquelas que mais se adequem à finalidade em questão.

A consistência dos dados é efetuada através de um *cross-checking* com todas as bases de dados disponíveis sobre determinados parâmetros. Diversas fontes sobre as mesmas bases de informação são consultadas, e os resultados, quando equivalentes, são empregados no modelo; e, quando discrepantes, são selecionados de acordo com as premissas de construção de bases mais adequadas à modelagem do problema.

Por fim, a disponibilidade de acesso representa o último critério de pesquisa. Foi dada preferência à coleta de dados disponíveis em diversas fontes diferentes a fim de que a consistência entre tais dados pudesse ser testada. Informações cuja consistência não pudesse ser verificada não foram aproveitadas no presente trabalho.

Os parâmetros macroeconômicos selecionados para emprego no modelo de regressão dinâmica são os seguintes:

Inflação: em termos de indústria do petróleo, esta situação pode ser facilmente modelada, uma vez que todas as negociações e transações comerciais internacionais com petróleos e derivados são realizadas em dólares norte-americanos. Neste caso, o único efeito inflacionário sofrido pelos preços dos óleos pode ser medido com precisão pela medida da inflação do dólar norte-americano. As séries históricas dos preços dos petróleos podem ser referenciadas, em termos de dólares constantes num determinado instante do tempo, em qualquer época que se mostre conveniente. No presente trabalho, dado que a grande maioria das séries históricas econométricas analisadas estão referidas ao padrão do índice dólar 100 em 1996, adotamos o mesmo critério, a fim de tornar o resultado final consistente em dólares a valor constante. A inflação, correspondente aos preços ao consumidor, é expressa em percentual mensal.

Produto Interno Bruto dos EUA: representa, de forma genérica, a evolução da economia dos EUA como um todo. O índice é importante em termos da demonstração do desempenho econômico do país que apresenta mais da metade do consumo mundial de gasolina (52% em volume) e cujo índice de consumo de energia

per capita é o mais elevado do globo. Assim sendo, tudo o que ocorre na economia norte-americana deverá afetar, em maior ou menor grau, o desempenho da economia mundial, globalmente considerada. Isto é particularmente verdadeiro desde que se considere a história econômica mundial a partir da década de 20, quando o crack da bolsa de New York expandiu reflexos a todo o mundo, e a partir da Conferência de Bretton Woods, que praticamente definiu os parâmetros da economia mundial em torno do padrão dólar norte-americano.

Produto Industrial Bruto dos EUA: tendo em vista que as variáveis que afetam o preço dos petróleos estão mais intimamente vinculadas à atividade industrial, este parâmetro tem o mérito de medir especificamente a evolução desta atividade, que engloba a medida em que a indústria participa na economia, em contrapartida ao comércio e aos serviços. Expresso em US\$ bilhões.

Produto Interno Bruto da CEE: deve-se levar em consideração também a atividade da economia da Comunidade Econômica Européia, que apresenta um peso considerável no consumo mundial de energia. Expresso em US\$ bilhões.

Produto Interno Bruto do Japão: considerou-se importante a inclusão de uma referência de atividade industrial do Extremo Oriente, no caso o PIB japonês. Expresso em US\$ bilhões.

Produto Interno Bruto da OECD: no mesmo caso acima, foi arrolada entre as possíveis variáveis explicativas o PIB da Organização dos Países em Desenvolvimento. O PIB da OECD funciona, com aderência aceitável, como termômetro da atividade econômica mundial. Expresso em US\$ bilhões.

Vendas de Veículos: representa o valor correspondente as vendas de veículos automotores, em US\$ bilhões, foi levantada ao longo do tempo e incluída como variável macroeconômica.

Produção de Veículos: corresponde ao output total mundial da indústria automobilística, em milhões de veículos, aí incluídos os veículos leves, médios e utilitários.

5.2.4. Variáveis exógenas referentes a fontes alternativas de energia.

Se se considerar que o petróleo constitui, no âmbito industrial, uma fonte de energia por excelência, observar-se-á que seus níveis de demanda mundial, e

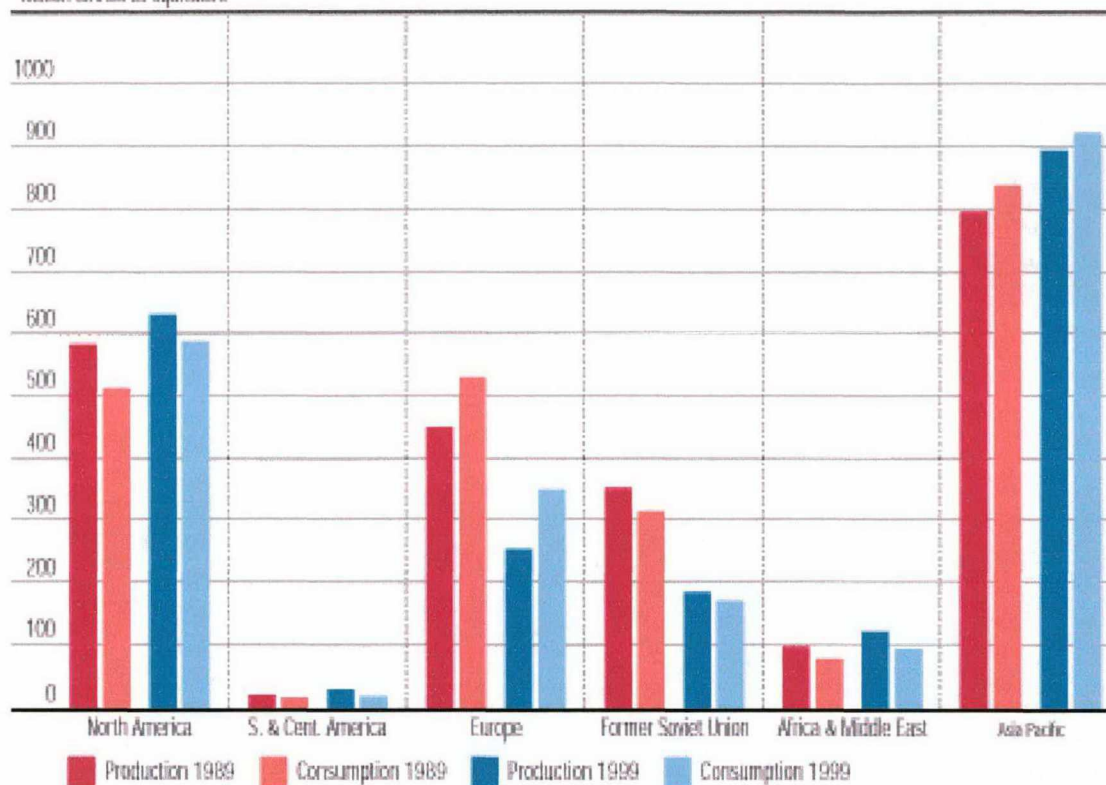
consequentemente seus preços, guardam uma relação, inicialmente suposta estreita, com a demanda e os preços de fontes de energia alternativas. Por este motivo, foram incluídas variáveis representativas do mercado de energias alternativas, a saber:

Gás Natural: o gás natural constitui uma importante fonte de energia para uso industrial; nos anos mais recentes, vem substituindo o óleo combustível, ou *fuel oil*, derivado do petróleo, em aplicações industriais de grande vulto nos países mais desenvolvidos, como o uso como combustível em caldeiras e para a movimentação de turbinas para geração de energia elétrica (termoelétrica). Destarte, é relevante ter-se em consideração o efeito dos parâmetros relativos ao gás natural no comportamento dos preços dos óleos. Foram portanto incluídas no modelo as variáveis representativas da Produção Mundial de Gás Natural, em milhões de toneladas de óleo equivalente, do Consumo Mundial de Gás Natural, na mesma unidade, o Preço do Gás Natural nos EUA, em dólares norte-americanos por tonelada de óleo equivalente, e o preço do Gás Natural na Europa e no Japão, nas mesmas unidades. Destarte, são incluídas no modelo cinco variáveis relativas à influência de parâmetros vinculados ao Gás Natural com respeito aos preços dos óleos referenciais WTI e Brent.

Carvão: principal fonte de energia para uso industrial e doméstico no passado, o carvão vem perdendo importância ao longo dos últimos anos como combustível para tais finalidades. Entretanto, sua utilização, como se depreende da Figura 5.3, ainda é intensa em diversas áreas geoeconômicas do mundo. Portanto, na elaboração do presente trabalho, considerou-se que, em caráter preliminar, parâmetros relativos à atividade do carvão no cenário energético internacional deveriam ser objeto de estudo. Assim sendo, foram agregadas ao modelo variáveis representativas da presença do carvão no cenário energético mundial, como a Produção Mundial de Carvão, o Consumo Mundial de Carvão (ambos expressos em milhões de toneladas de óleo equivalente anuais) e o Preço do Carvão nos EUA, Europa e Japão, em US\$ por tonelada de óleo equivalente.

Area production and consumption 1989 and 1999

Million tonnes oil equivalent



North America remains by far the largest net exporter of coal, with Europe the main net importer. Though small in terms of world share, South and Central American production has risen by almost 50% during the last decade, allowing net exports to more than double.

Figura 5.3 – Produção e Consumo de Carvão por Continente, 1989/1999, em milhões de toneladas de óleo equivalente. Fonte: BP-Amoco Corporation, 2001.

Energia Nuclear e Energia Hidrelétrica: nas décadas mais recentes, a energia nuclear passou a ser utilizada em ritmo ascendente para suprimento industrial e doméstico, competindo com as demais fontes de energia. A energia hidrelétrica sempre esteve intimamente vinculada às condições e regimes hidrográficos dos locais em que é utilizada, porém ambas dispõem de importante posição dentro da matriz energética mundial. Por este motivo, incluímo-las entre as variáveis exógenas, ou explicativas, do modelo de regressão dinâmica, em termos do seu consumo global. A Produção e o Consumo Mundiais de energia nuclear e energia hidrelétrica são expressos em milhões de toneladas anuais de óleo equivalente.

Nas bases de dados, todas as variáveis acima listadas foram consideradas em suas médias mensais.

5.2.5. Consolidação das variáveis.

Os dados mencionados nos itens anteriores foram coletados e verificados a partir de diversas fontes, entre as quais podem ser citadas as seguintes:

- Occupational Outlook Handbook.
- International Trade Statistics: Foreign Trade Division, U.S. Census Bureau.
- US Census Bureau.
- Pennsylvania Bureau of Research and Statistics.
- The Bureau of Transportation Statistics, US DOT.
- US Department of Commerce, Economics and Statistics.

além de muitas outras fontes, conforme discriminado na Bibliografia. A Tabela 5.4. apresenta as variáveis utilizadas na modelagem do problema,

5.3. ANÁLISE PRELIMINAR DO PROBLEMA.

A simples inspeção visual dos dados plotados em gráficos elaborados pelo pacote computacional GiveWin® demonstram que tanto as séries históricas de preços dos petróleos referenciais como a série representativa do diferencial (spread) entre os preços do Brent e do WTI apresentam um comportamento dito horizontal. Não se identificam componentes de sazonalidade ou de tendência, o que está de acordo com a experiência a respeito de tal evolução de preços. À primeira inspeção (e tal impressão é posteriormente confirmada de forma analítica), ocorre estacionariedade das médias e variâncias.

No período considerado, podem ser identificados ciclos de alta e baixa das cotações dos óleos referenciais. A Figura 5.4. ilustra esta afirmação. Entre o início das observações, julho de 1987, e o final do ano de 1989, identifica-se um ciclo de baixa, revertido para alta até a eclosão da Guerra do Golfo, a partir de quando, então, a tendência de baixa perdura até 1994. Em 94 os preços se tornam crescentes até 97, quando o aumento de oferta de óleo por parte da Opec e demais produtores independentes força uma baixa que atinge o auge no final de 1998, ocasião em que as médias de preços se aproximam de US\$ 10 por barril. A partir de então, as cotações sobem até o início de 2001, quando então, aparentemente, iniciam novo ciclo de baixa.

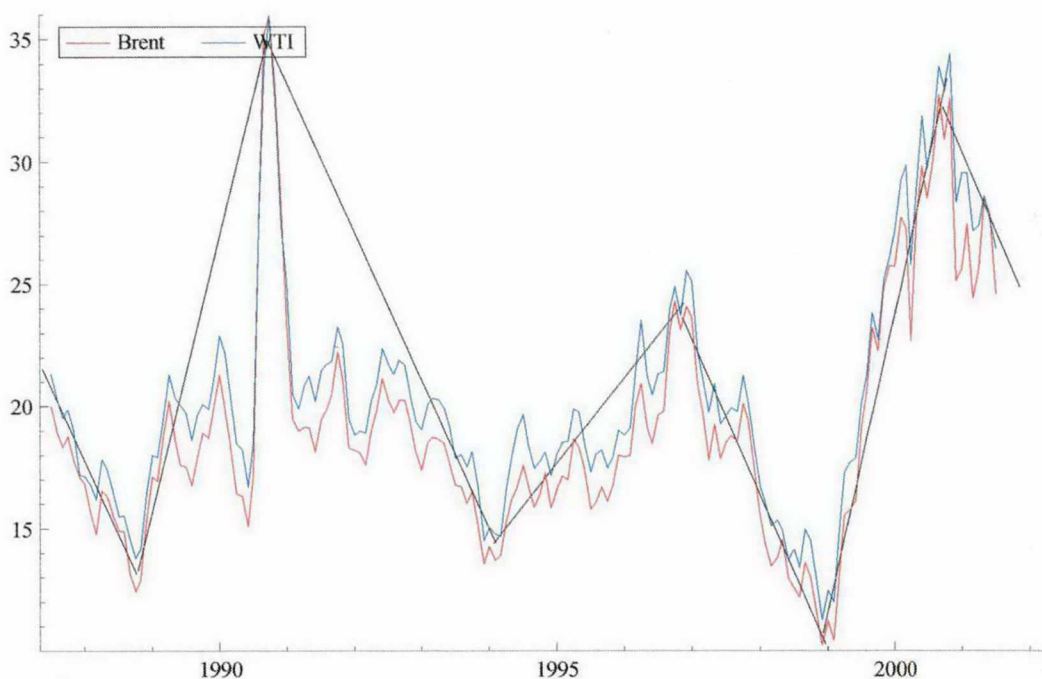


Figura 5.4. – Identificação dos ciclos de médio / longo prazo dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent. Cotações médias mensais. Fonte: Petrobras, 2001.

Estas observações podem ser feitas num período de quinze anos. Se forem considerados os preços dos petróleos desde os primórdios da indústria, em 1861 (Figura 2.4.), poder-se-á concluir que, afora um período de instabilidade e acomodação de preços logo no início da indústria, o comportamento das cotações mostra-se horizontal, exceto por intervenções importantes no cenário a nível internacional, como os dois choques do petróleo e a Guerra do Golfo.

5.4. SELEÇÃO E AJUSTE DE MODELOS DE PREVISÃO.

Em acordo com as premissas consideradas por [MAKRIDAKIS, 1998], as séries históricas representativas das cotações dos óleos WTI e Brent foram preliminarmente analisadas com instrumentos univariados de previsão, através do programa Statistica®. Desenvolveram-se modelos através das técnicas de decomposição clássica, Holt-Winters e ARIMA. Um modelo ARIMA(1,0,1) representa, com razoável grau de precisão, o comportamento dos preços dos óleos Brent e WTI. Entretanto, dado que foi conseguida aderência sensivelmente melhor

com o modelo multivariado de regressão dinâmica, e a bem da concisão, será apresentado neste trabalho apenas o modelo de função de transferência.

Os motivos para a escolha de um modelo de regressão dinâmica foram abordados nos Capítulos 3 e 4.

5.5. MODELAGEM UNIVARIADA.

Como referência, apresentam-se a seguir os modelos univariados mais adequados encontrados para explicar o comportamento dos preços dos óleos WTI e Brent.

5.5.1. Amortecimento Exponencial Sazonal e Linear de Holt-Winters.

O método do Amortecimento Exponencial Sazonal e Linear de Holt-Winters é definido pelas equações:

$$S_t = \alpha \frac{x_t}{I_{t-1}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3.13)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3.14)$$

$$I_t = \gamma \frac{x_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-1} \quad (3.15)$$

$$F_{t+m} = (S_t + mT_t)I_{t+m} \quad (3.16)$$

Sendo tal modelo explicado em 3.4.4. Com a utilização do programa Statistica®, foram avaliados os seguintes casos possíveis, de acordo com a classificação de Pegels [MAKRIDAKIS, 1998].

Componente de Tendência	Componente Sazonal		
	Nenhuma	Aditiva	Multiplicativa
Nenhuma	Caso 1	Caso 4	Caso 7
Linear	Caso 2	Caso 5	Caso 8
Exponencial	Caso 3	Caso 6	Caso 9

Quadro 5.1. – Casos de Amortecimento Exponencial (Holt-Winters) analisados.

Para cada caso, foram obtidos os seguintes parâmetros:

Caso	α	β	γ	ME	MAE	SS	MS	MPE	MAPE	U
1	0,28			-0,057	1,450	669,79	5,774	-0,902	7,109	0,877
2	0,29		-0,01	0,000	1,431	665,73	5,739	-0,578	6,990	0,784
3	0,29		0,00	0,2320	1,437	663,36	5,718	0,657	6,982	0,538
4	0,25		0,21	-0,068	1,484	560,93	4,835	-0,898	7,532	0,552
5	0,25	0,21	-0,02	-0,070	1,471	557,58	4,806	-0,904	7,458	0,564
6	0,24	0,18	0,00	-0,401	1,516	595,96	5,137	-2,608	7,762	0,661
7	0,24	0,10		-0,059	1,372	555,21	4,786	-0,870	6,851	0,664
8	0,25	0,08	-0,02	-0,061	1,361	551,65	4,755	-0,878	6,786	0,695
9	0,24	0,05	0,00	-0,398	1,428	588,40	5,072	-2,606	7,217	0,916

Tabela 5.1. – Resultados das Análises – Método de Holt-Winters aplicado a WTI.

Caso	α	β	γ	ME	MAE	SS	MS	MPE	MAPE	U
1	0.30			-0.063	1,615	746.15	6,432	-1.005	7.919	0.977
2	0.31		-0.04	-0.511	1,594	741.62	6,393	-0.644	7.787	0.873
3	0.31		0.00	0.258	1,601	738.98	6,370	0.732	7.778	0.599
4	0.28		0.33	-0.076	1,653	624.88	5,386	-1.000	8.391	0.615
5	0.27	0.27	-0.01	-0.078	1,639	621.14	5,354	-1.007	8.308	0.628
6	0.25	0.20	-0.01	-0.447	1,689	663.90	5,723	-0.612	8.647	0.736
7	0.25	0.06		-0.066	1,528	618.50	5,332	-0.969	7.632	0.740
8	0.25	0.01	-0.03	-0.068	1,516	614.54	5,297	-0.978	7.560	0.774
9	0.26	0.12	0.00	-0.443	1,591	655.48	5,650	-0.865	8.040	1.020

Tabela 5.2. – Resultados das Análises – Método de Holt-Winters aplicado a Brent.

Onde:

Caso: define o caso pesquisado.

α , β , γ : coeficientes.

ME: Erro médio.

MAE: Erro médio absoluto.

SS: Soma dos quadrados.

MS: Média dos quadrados.

MPE: Erro médio percentual.

MAPE: Erro médio percentual absoluto.

U: U de Theil.

O modelo de amortecimento exponencial que fornece o menor U de Theil (0,538 para WTI e 0,599 para Brent) é o caso 3, que corresponde a um modelo com tendência exponencial, sem componente sazonal (como era de se esperar com base nos fundamentos da série), com os parâmetros indicados. Especificamente para este caso, apresentamos algumas características do modelo.

Tendo em vista as análises efetuadas, o modelo de amortecimento exponencial que melhor explica a série de preços do petróleo Brent, no período de julho de 1987 a junho de 2001, é um modelo com tendência exponencial, sem componente sazonal, e parâmetros $\alpha=0,29$ e $\gamma=0,00$, sendo que, para o WTI, o modelo é o mesmo, apresentando porém parâmetros $\alpha=0,31$ e $\gamma=0,00$

5.5.2. Modelo ARIMA.

Foram também testados, com o auxílio do Statistica®, alguns modelos ARIMA para previsão da série histórica. Alguns dos modelos estudados, com seus respectivos U de Theil, são demonstrados na tabela abaixo:

Modelo ARIMA	U de Theil (WTI)	U de Theil (Brent)
(0,0,1)	0,729	0,643
(1,0,1)	0,561	0,522
(1,1,1)	0,712	0,829
(1,0,1) (1,1,1) ₁₂	0,588	0,529
(1,1,1) (1,0,1) ₁₂	0,565	0,530
(1,1,1) (1,0,0) ₁₂	0,582	0,600
(1,1,1) (0,0,1) ₁₂	0,665	0,534
(0,1,1) (0,0,1) ₁₂	0,587	0,531
(1,1,1) (0,1,1) ₁₂	0,633	0,575
(0,1,1)	0,911	0,830
(1,0,1) (0,1,0) ₁₂	0,717	0,838
(1,0,1) (1,1,1) ₁₂	0,853	0,730

Tabela 5.3. – Resultados das análises ARIMA.

Analisando-se as diferentes possíveis formulações ARIMA, observa-se que os modelos:

(1,0,1)

(1,0,1) (1,1,1)₁₂

(1,1,1) (1,0,1)₁₂

(1,1,1) (0,0,1)₁₂

(0,1,1) (0,0,1)₁₂

conduzem a valores de U de Theil próximos, tanto para a previsão do óleo WTI como no caso do Brent. Tendo em vista o princípio da parcimônia, prefere-se então o modelo ARIMA (1,0,1) (ou ARMA(1,1)) para explicar as séries históricas.

5.6. FORMULAÇÃO DO SISTEMA DE REGRESSÃO DINÂMICA.

O sistema de regressão dinâmica foi desenvolvido a partir de uma base de dados estabelecida no pacote computacional GiveWin®. A base contempla valores para as variáveis indicadas na Tabela 5.4., no período de julho de 1987 a julho de 2001, com periodicidade mensal. A observar na Tabela 5.4. que WTI, Brent e WTI-Brent são as variáveis endógenas, e as demais são variáveis exógenas, explicativas ou de entrada.

Nº	Rótulo	Variável	Unidade
01	WTI	Cotações do petróleo WTI FIP Cushing, Okla.	US\$/bbl
02	Brent	Cotações do petróleo Brent FOB Sullom Voe, UK.	US\$/bbl
03	WTI-Brent	Diferencial de preço WTI-Brent	US\$/bbl
04	OleoProd	Produção mundial de petróleo	Milhões de bpd
05	OleoCons	Consumo mundial de petróleo	Milhões de bpd
06	OleoCap	Capacidade mundial de refino instalada	Milhões de bpd
07	OleoRef	<i>Throughput</i> mundial das refinarias	Milhões de bpd
08	OleoRsr	Reservas mundiais provadas de petróleo	Bilhões de barris
09	GNProd	Produção mundial de gás natural	Milhões de toe
10	GNCons	Consumo mundial de gás natural	Milhões de toe
11	GNPrUS	Preço do gás natural nos EUA	US\$/toe
12	GNPrEu	Preço do gás natural na Europa	US\$/toe
13	GNPrJa	Preço do gás natural no Japão	US\$/toe
14	CrvPrUS	Preço do carvão nos EUA	US\$/toe
15	CrvPrEu	Preço do carvão na Europa	US\$/toe
16	CrvPrJa	Preço do carvão no Japão	US\$/toe
17	CrvProd	Produção mundial de carvão	Milhões de toe
18	CrvCon	Consumo mundial de carvão	Milhões de toe
19	NukCon	Consumo mundial de energia nuclear	Milhões de toe
20	HdrCon	Consumo mundial de energia hidrelétrica	Milhões de toe
21	Infl	Inflação do dólar norte-americano	% a.m.
22	PIBUS	Produto Interno Bruto dos EUA	Milhões de US\$
23	Indstr	Produto Industrial Bruto dos EUA	Milhões de US\$
24	VendVeic	Vendas mundiais de veículos	Milhões de US\$
25	ProdVeic	Produção mundial de veículos	Milhões de unidades
26	PIBCEE	Produto Interno Bruto da CEE	Milhões de US\$
27	PIBJap	Produto Interno Bruto do Japão	Milhões de US\$

Tabela 5.4. – Variáveis do Sistema de Regressão Dinâmica.

Foram ensaiadas diversas transformações dos dados (logarítmica, exponencial, função inversa) a fim de buscar o conjunto de elementos mais adequado para o tratamento estatístico; porém, em função dos resultados obtidos com os dados não transformados, e de modo a obter-se o modelo mais simples e direto possível, o sistema de regressão dinâmica foi estabelecido sobre os valores originais da base de dados.

Há que observar-se que a variável PIB, de modo geral (foram utilizados no modelo inicial os PIB dos EUA, CEE, Japão e OECD) não representa uma variável estacionária; entretanto, dado que as demais variáveis analisadas apresentam um comportamento estacionário, as vantagens de, por simplificação da modelagem, considerar-se PIB da mesma forma são relevantes.

5.7. FORMULAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA.

O modelo de regressão dinâmica foi estabelecido com os pacotes computacionais PCGive® e PCFiml®, com preferência para este último, que constitui um software específico para a formulação de sistemas e modelos de regressão dinâmica, estabelecendo as equações e efetuando os testes recomendados pela literatura, além de permitir análise gráfica, via interface com a base de dados do programa GiveWin®.

Em termos formais, um modelo de regressão dinâmica, ou de função de transferência, busca correlacionar as variáveis exógenas e endógenas de um processo através do estabelecimento de uma equação do tipo:

$$Y_t = a + \sum_{i=1}^m \frac{B^{b_i} w_i(B)}{\delta_i(B)} X_{i,t} + N_t \quad (\text{Equação 5.1})$$

onde:

$$w_i(B) = w_{i,0} - w_{i,1}B - \dots - w_{i,s_i} B^{s_i} \quad (\text{Equação 5.2})$$

$$\delta_i(B) = 1 - \delta_{i,1}B - \dots - \delta_{i,r_i} B^{r_i} \quad (\text{Equação 5.3})$$

e N_t é um processo ARIMA, sendo que:

$$\text{se } N_t \text{ for MA(1), então } N_t = e_t - \theta e_{t-1}, \quad (\text{Equação 5.4})$$

$$\text{e se } N_t \text{ for AR(1), então } N_t = \phi N_{t-1} + e_t \quad (\text{Equação 5.5})$$

A equação 5.1. pode ser reescrita de várias maneiras. De modo informal, podemos correlacionar um processo de regressão dinâmica do seguinte modo:

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, [Y_{t-1} - X_{t-1}], [Y_{t-1} - Z_{t-1}], \dots, D_{\text{sazonalidade}}, D_{\text{outras influências}}) + e_t \quad (\text{Equação 5.6})$$

Nas condições referidas pela equação 5.6., e_t usualmente será ruído branco (*white noise*).

O modelo foi estabelecido referenciando inicialmente Brent, WTI e WTI-Brent com seus valores anteriores no tempo e com os valores das variáveis exógenas indicadas na Tabela 5.1. Realizou-se um elevado número de rodadas do pacote computacional PCFiml®, simulando diferentes situações e buscando a forma mais representativa, com melhor aderência à realidade.

Posteriormente, considerou-se mais conveniente estabelecer equações em termos de Brent e WTI, e, por recorrência, o valor de WTI-Brent.

O pacote PCFiml® estabelece um sistema a partir da base de dados oferecida no módulo GiveWin®. Tal sistema é testado em sua consistência através da análise geral de cointegração e de testes específicos de má especificação. Uma vez construído um sistema consistente de dados, o software permite a modelagem empírica de sistemas lineares dinâmicos, preliminarmente utilizando o método de mínimos quadrados ordinário (OLS – *Ordinary Least Squares*) e em seguida pelo processo Fiml (*Full Information Maximum Likelihood* – Máxima Verossimilhança com Informação Completa).

O pacote computacional PCFiml permite desenvolver uma estratégia de modelagem empírica, do caso mais geral e abrangente para o caso particular, oferecendo ainda a facilidade de registrar o progresso da modelagem em função de seus parâmetros de aderência e adequação.

5.7.1. – Modelagem Empírica.

A finalidade do modelo é a obtenção de um sistema linear de regressão dinâmica para a previsão dos preços dos óleos referenciais Brent e WTI, de tal modo que os valores futuros, dados os parâmetros selecionados para explicar as variáveis endógenas, possam ser expressos pelas equações explicitadas a seguir. Para o óleo Brent, ter-se-ia a Equação 5.7.:

$$\begin{aligned}
Brent_t = & a + \alpha_1 Brent_{t-1} + \alpha_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta_1 WTI_{t-1} + \beta_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi_1 Oleo Pr od_{t-1} + \chi_2 Oleo Pr od_{t-2} + \dots + \chi_{k_3} Oleo Pr od_{t-k_3} + \\
& + \delta_1 Oleo Cons_{t-1} + \delta_2 Oleo Cons_{t-2} + \dots + \delta_{k_4} Oleo Cons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon_1 Oleo Cap_{t-1} + \varepsilon_2 Oleo Cap_{t-2} + \dots + \varepsilon_{k_5} Oleo Cap_{t-k_5} + \\
& + \phi_1 Oleo Re f_{t-1} + \phi_2 Oleo Re f_{t-2} + \dots + \phi_{k_6} Oleo Re f_{t-k_6} + \\
& + \varphi_1 Oleo Rsr_{t-1} + \varphi_2 Oleo Rsr_{t-2} + \dots + \varphi_{k_7} Oleo Rsr_{t-k_7} + \\
& + \gamma_1 GN Pr od_{t-1} + \gamma_2 GN Pr od_{t-2} + \dots + \gamma_{k_8} GN Pr od_{t-k_8} + \\
& + \eta_1 GN Cons_{t-1} + \eta_2 GN Cons_{t-2} + \dots + \eta_{k_9} GN Cons_{t-k_9} + \\
& + \iota_1 GN Pr US_{t-1} + \iota_2 GN Pr US_{t-2} + \dots + \iota_{k_{10}} GN Pr US_{t-k_{10}} + \\
& + \kappa_1 GN Pr Eu_{t-1} + \kappa_2 GN Pr Eu_{t-2} + \dots + \kappa_{k_{11}} GN Pr Eu_{t-k_{11}} + \\
& + \lambda_1 GN Pr Ja_{t-1} + \lambda_2 GN Pr Ja_{t-2} + \dots + \lambda_{k_{12}} GN Pr Ja_{t-k_{12}} + \\
& + \mu_1 Crv Pr US_{t-1} + \mu_2 Crv Pr US_{t-2} + \dots + \mu_{k_{14}} Crv Pr US_{t-k_{14}} + \\
& + \nu_1 Crv Pr Eu_{t-1} + \nu_2 Crv Pr Eu_{t-2} + \dots + \nu_{k_{15}} Crv Pr Eu_{t-k_{15}} + \\
& + o_1 Crv Pr Ja_{t-1} + o_2 Crv Pr Ja_{t-2} + \dots + o_{k_{16}} Crv Pr Ja_{t-k_{16}} + \\
& + \pi_1 Crv Pr od_{t-1} + \pi_2 Crv Pr od_{t-2} + \dots + \pi_{k_{17}} Crv Pr od_{t-k_{17}} + \\
& + \varpi_1 Crv Cons_{t-1} + \varpi_2 Crv Cons_{t-2} + \dots + \varpi_{k_{18}} Crv Cons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta_1 Nuk Cons_{t-1} + \theta_2 Nuk Cons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} Nuk Cons_{t-k_{19}} + \\
& + \theta_1 Nuk Cons_{t-1} + \theta_2 Nuk Cons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} Nuk Cons_{t-k_{19}} + \\
& + \varrho_1 Hdr Cons_{t-1} + \varrho_2 Hdr Cons_{t-2} + \dots + \varrho_{k_{20}} Hdr Cons_{t-k_{20}} + \\
& + \rho_1 Infl_{t-1} + \rho_2 Infl_{t-2} + \dots + \rho_{k_{21}} Infl_{t-k_{21}} + \\
& + \sigma_1 PIBUS_{t-1} + \sigma_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \varsigma_1 \text{Indstr}_{t-1} + \varsigma_2 \text{Indstr}_{t-2} + \dots + \varsigma_{k_{22}} \text{Indstr}_{t-k_{22}} + \\
& + \tau_1 \text{VendVeic}_{t-1} + \tau_2 \text{VendVeic}_{t-2} + \dots + \tau_{k_{23}} \text{VendVeic}_{t-k_{23}} + \\
& + \upsilon_1 \text{Pr odVeic}_{t-1} + \upsilon_2 \text{Pr odVeic}_{t-2} + \dots + \upsilon_{k_{24}} \text{Pr odVeic}_{t-k_{24}} + \\
& + \omega_1 \text{PIBCEE}_{t-1} + \omega_2 \text{PIBCEE}_{t-2} + \dots + \omega_{k_{25}} \text{PIBCEE}_{t-k_{25}} + \\
& + \xi_1 \text{PIBJap}_{t-1} + \xi_2 \text{PIBJap}_{t-2} + \dots + \xi_{k_{26}} \text{PIBJap}_{t-k_{26}} + \\
& + \psi_1 \text{PIBOECD}_{t-1} + \psi_2 \text{PIBOECD}_{t-2} + \dots + \psi_{k_{27}} \text{PIBOECD}_{t-k_{27}}
\end{aligned} \tag{Equação 5.7}$$

Para o petróleo referencial WTI, ter-se-ia a Equação 5.8.:

$$\begin{aligned}
\text{WTI}_t = & b + \alpha'_1 \text{Brent}_{t-1} + \alpha'_2 \text{Brent}_{t-2} + \dots + \alpha'_{k_1} \text{Brent}_{t-k_1} + \\
& + \beta'_1 \text{WTI}_{t-1} + \beta'_2 \text{WTI}_{t-2} + \dots + \beta'_{k_2} \text{WTI}_{t-k_2} + \\
& + \chi'_1 \text{Oleo Pr od}_{t-1} + \chi'_2 \text{Oleo Pr od}_{t-2} + \dots + \chi'_{k_3} \text{Oleo Pr od}_{t-k_3} + \\
& + \delta'_1 \text{Oleo Cons}_{t-1} + \delta'_2 \text{Oleo Cons}_{t-2} + \dots + \delta'_{k_4} \text{Oleo Cons}_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon'_1 \text{Oleo Cap}_{t-1} + \varepsilon'_2 \text{Oleo Cap}_{t-2} + \dots + \varepsilon'_{k_5} \text{Oleo Cap}_{t-k_5} + \\
& + \phi'_1 \text{Oleo Re f}_{t-1} + \phi'_2 \text{Oleo Re f}_{t-2} + \dots + \phi'_{k_6} \text{Oleo Re f}_{t-k_6} + \\
& + \varphi'_1 \text{Oleo Rsr}_{t-1} + \varphi'_2 \text{Oleo Rsr}_{t-2} + \dots + \varphi'_{k_7} \text{Oleo Rsr}_{t-k_7} + \\
& + \gamma'_1 \text{GN Pr od}_{t-1} + \gamma'_2 \text{GN Pr od}_{t-2} + \dots + \gamma'_{k_8} \text{GN Pr od}_{t-k_8} + \\
& + \eta'_1 \text{GN Cons}_{t-1} + \eta'_2 \text{GN Cons}_{t-2} + \dots + \eta'_{k_9} \text{GN Cons}_{t-k_9} + \\
& + \iota'_1 \text{GN Pr US}_{t-1} + \iota'_2 \text{GN Pr US}_{t-2} + \dots + \iota'_{k_{10}} \text{GN Pr US}_{t-k_{10}} + \\
& + \kappa'_1 \text{GN Pr Eu}_{t-1} + \kappa'_2 \text{GN Pr Eu}_{t-2} + \dots + \kappa'_{k_{11}} \text{GN Pr Eu}_{t-k_{11}} + \\
& + \lambda'_1 \text{GN Pr Ja}_{t-1} + \lambda'_2 \text{GN Pr Ja}_{t-2} + \dots + \lambda'_{k_{12}} \text{GN Pr Ja}_{t-k_{12}} + \\
& + \mu'_1 \text{Crv Pr US}_{t-1} + \mu'_2 \text{Crv Pr US}_{t-2} + \dots + \mu'_{k_{14}} \text{Crv Pr US}_{t-k_{14}} + \\
& + \nu'_1 \text{Crv Pr Eu}_{t-1} + \nu'_2 \text{Crv Pr Eu}_{t-2} + \dots + \nu'_{k_{15}} \text{Crv Pr Eu}_{t-k_{15}} + \\
& + \omicron'_1 \text{Crv Pr Ja}_{t-1} + \omicron'_2 \text{Crv Pr Ja}_{t-2} + \dots + \omicron'_{k_{16}} \text{Crv Pr Ja}_{t-k_{16}} + \\
& + \pi'_1 \text{Crv Pr od}_{t-1} + \pi'_2 \text{Crv Pr od}_{t-2} + \dots + \pi'_{k_{17}} \text{Crv Pr od}_{t-k_{17}} + \\
& + \wp'_1 \text{Crv Cons}_{t-1} + \wp'_2 \text{Crv Cons}_{t-2} + \dots + \wp'_{k_{18}} \text{Crv Cons}_{t-k_{18}} + \\
& + \theta'_1 \text{Nuk Cons}_{t-1} + \theta'_2 \text{Nuk Cons}_{t-2} + \dots + \theta'_{k_{19}} \text{Nuk Cons}_{t-k_{19}} + \\
& + \vartheta'_1 \text{Hdr Cons}_{t-1} + \vartheta'_2 \text{Hdr Cons}_{t-2} + \dots + \vartheta'_{k_{20}} \text{Hdr Cons}_{t-k_{20}} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \rho'_1 Infl_{t-1} + \rho'_2 Infl_{t-2} + \dots + \rho'_{k_{21}} Infl_{t-k_{21}} + \\
& + \sigma'_1 PIBUS_{t-1} + \sigma'_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma'_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta'_1 Industr_{t-1} + \zeta'_2 Industr_{t-2} + \dots + \zeta'_{k_{22}} Industr_{t-k_{22}} + \\
& + \tau'_1 VendVeic_{t-1} + \tau'_2 VendVeic_{t-2} + \dots + \tau'_{k_{23}} VendVeic_{t-k_{23}} + \\
& + \upsilon'_1 Pr odVeic_{t-1} + \upsilon'_2 Pr odVeic_{t-2} + \dots + \upsilon'_{k_{24}} Pr odVeic_{t-k_{24}} + \\
& + \omega'_1 PIBCEE_{t-1} + \omega'_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega'_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi'_1 PIBJap_{t-1} + \xi'_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi'_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}} + \\
& + \psi'_1 PIBOECD_{t-1} + \psi'_2 PIBOECD_{t-2} + \dots + \psi'_{k_{27}} PIBOECD_{t-k_{27}} \quad \text{(Equação 5.8)}
\end{aligned}$$

Recorrentemente, o diferencial WTI-Brent seria expresso de acordo com a Equação 5.9.:

$$\begin{aligned}
& [WTI - Brent]_t = \\
& [b + \alpha'_1 Brent_{t-1} + \alpha'_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha'_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta'_1 WTI_{t-1} + \beta'_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta'_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi'_1 Oleo Pr od_{t-1} + \chi'_2 Oleo Pr od_{t-2} + \dots + \chi'_{k_3} Oleo Pr od_{t-k_3} + \\
& + \delta'_1 Oleo Cons_{t-1} + \delta'_2 Oleo Cons_{t-2} + \dots + \delta'_{k_4} Oleo Cons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon'_1 Oleo Cap_{t-1} + \varepsilon'_2 Oleo Cap_{t-2} + \dots + \varepsilon'_{k_5} Oleo Cap_{t-k_5} + \\
& + \phi'_1 Oleo Re f_{t-1} + \phi'_2 Oleo Re f_{t-2} + \dots + \phi'_{k_6} Oleo Re f_{t-k_6} + \\
& + \varphi'_1 Oleo Rsr_{t-1} + \varphi'_2 Oleo Rsr_{t-2} + \dots + \varphi'_{k_7} Oleo Rsr_{t-k_7} + \\
& + \gamma'_1 GN Pr od_{t-1} + \gamma'_2 GN Pr od_{t-2} + \dots + \gamma'_{k_8} GN Pr od_{t-k_8} + \\
& + \eta'_1 GN Cons_{t-1} + \eta'_2 GN Cons_{t-2} + \dots + \eta'_{k_9} GN Cons_{t-k_9} + \\
& + \iota'_1 GN Pr US_{t-1} + \iota'_2 GN Pr US_{t-2} + \dots + \iota'_{k_{10}} GN Pr US_{t-k_{10}} + \\
& + \kappa'_1 GN Pr Eu_{t-1} + \kappa'_2 GN Pr Eu_{t-2} + \dots + \kappa'_{k_{11}} GN Pr Eu_{t-k_{11}} + \\
& + \lambda'_1 GN Pr Ja_{t-1} + \lambda'_2 GN Pr Ja_{t-2} + \dots + \lambda'_{k_{12}} GN Pr Ja_{t-k_{12}} + \\
& + \mu'_1 Crv Pr US_{t-1} + \mu'_2 Crv Pr US_{t-2} + \dots + \mu'_{k_{14}} Crv Pr US_{t-k_{14}} + \\
& + \nu'_1 Crv Pr Eu_{t-1} + \nu'_2 Crv Pr Eu_{t-2} + \dots + \nu'_{k_{15}} Crv Pr Eu_{t-k_{15}} + \\
& + o'_1 Crv Pr Ja_{t-1} + o'_2 Crv Pr Ja_{t-2} + \dots + o'_{k_{16}} Crv Pr Ja_{t-k_{16}} + \\
& + \pi'_1 Crv Pr od_{t-1} + \pi'_2 Crv Pr od_{t-2} + \dots + \pi'_{k_{17}} Crv Pr od_{t-k_{17}} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \varpi'_1 CrvCons_{t-1} + \varpi'_2 CrvCons_{t-2} + \dots + \varpi'_{k_{18}} CrvCons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta'_1 NukCons_{t-1} + \theta'_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta'_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \vartheta'_1 HdrCons_{t-1} + \vartheta'_2 HdrCons_{t-2} + \dots + \vartheta'_{k_{20}} HdrCons_{t-k_{20}} + \\
& + \rho'_1 Infl_{t-1} + \rho'_2 Infl_{t-2} + \dots + \rho'_{k_{21}} Infl_{t-k_{21}} + \\
& + \sigma'_1 PIBUS_{t-1} + \sigma'_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma'_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \varsigma'_1 Industr_{t-1} + \varsigma'_2 Industr_{t-2} + \dots + \varsigma'_{k_{22}} Industr_{t-k_{22}} + \\
& + \tau'_1 VendVeic_{t-1} + \tau'_2 VendVeic_{t-2} + \dots + \tau'_{k_{23}} VendVeic_{t-k_{23}} + \\
& + \upsilon'_1 Pr odVeic_{t-1} + \upsilon'_2 Pr odVeic_{t-2} + \dots + \upsilon'_{k_{24}} Pr odVeic_{t-k_{24}} + \\
& + \omega'_1 PIBCEE_{t-1} + \omega'_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega'_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi'_1 PIBJap_{t-1} + \xi'_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi'_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}} + \\
& + \psi'_1 PIBOECD_{t-1} + \psi'_2 PIBOECD_{t-2} + \dots + \psi'_{k_{27}} PIBOECD_{t-k_{27}}] - \\
& [a + \alpha_1 Brent_{t-1} + \alpha_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta_1 WTI_{t-1} + \beta_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi_1 Oleo Pr od_{t-1} + \chi_2 Oleo Pr od_{t-2} + \dots + \chi_{k_3} Oleo Pr od_{t-k_3} + \\
& + \delta_1 OleoCons_{t-1} + \delta_2 OleoCons_{t-2} + \dots + \delta_{k_4} OleoCons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon_1 OleoCap_{t-1} + \varepsilon_2 OleoCap_{t-2} + \dots + \varepsilon_{k_5} OleoCap_{t-k_5} + \\
& + \phi_1 Oleo Re f_{t-1} + \phi_2 Oleo Re f_{t-2} + \dots + \phi_{k_6} Oleo Re f_{t-k_6} + \\
& + \varphi_1 OleoRsr_{t-1} + \varphi_2 OleoRsr_{t-2} + \dots + \varphi_{k_7} OleoRsr_{t-k_7} + \\
& + \gamma_1 GN Pr od_{t-1} + \gamma_2 GN Pr od_{t-2} + \dots + \gamma_{k_8} GN Pr od_{t-k_8} + \\
& + \eta_1 GNCons_{t-1} + \eta_2 GNCons_{t-2} + \dots + \eta_{k_9} GNCons_{t-k_9} + \\
& + \iota_1 GN Pr US_{t-1} + \iota_2 GN Pr US_{t-2} + \dots + \iota_{k_{10}} GN Pr US_{t-k_{10}} + \\
& + \kappa_1 GN Pr Eu_{t-1} + \kappa_2 GN Pr Eu_{t-2} + \dots + \kappa_{k_{11}} GN Pr Eu_{t-k_{11}} + \\
& + \lambda_1 GN Pr Ja_{t-1} + \lambda_2 GN Pr Ja_{t-2} + \dots + \lambda_{k_{12}} GN Pr Ja_{t-k_{12}} + \\
& + \mu_1 Crv Pr US_{t-1} + \mu_2 Crv Pr US_{t-2} + \dots + \mu_{k_{14}} Crv Pr US_{t-k_{14}} + \\
& + \nu_1 Crv Pr Eu_{t-1} + \nu_2 Crv Pr Eu_{t-2} + \dots + \nu_{k_{15}} Crv Pr Eu_{t-k_{15}} + \\
& + \omicron_1 Crv Pr Ja_{t-1} + \omicron_2 Crv Pr Ja_{t-2} + \dots + \omicron_{k_{16}} Crv Pr Ja_{t-k_{16}} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \pi_1 Crv Pr od_{t-1} + \pi_2 Crv Pr od_{t-2} + \dots + \pi_{k_{175}} Crv Pr od_{t-k_{17}} + \\
& + \varpi_1 CrvCons_{t-1} + \varpi_2 CrvCons_{t-2} + \dots + \varpi_{k_{18}} CrvCons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \vartheta_1 HdrCons_{t-1} + \vartheta_2 HdrCons_{t-2} + \dots + \vartheta_{k_{20}} HdrCons_{t-k_{20}} + \\
& + \rho_1 Infl_{t-1} + \rho_2 Infl_{t-2} + \dots + \rho_{k_{21}} Infl_{t-k_{21}} + \\
& + \sigma_1 PIBUS_{t-1} + \sigma_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta_1 Industr_{t-1} + \zeta_2 Industr_{t-2} + \dots + \zeta_{k_{22}} Industr_{t-k_{22}} + \\
& + \tau_1 VendVeic_{t-1} + \tau_2 VendVeic_{t-2} + \dots + \tau_{k_{23}} VendVeic_{t-k_{23}} + \\
& + \upsilon_1 Pr odVeic_{t-1} + \upsilon_2 Pr odVeic_{t-2} + \dots + \upsilon_{k_{24}} Pr odVeic_{t-k_{24}} + \\
& + \omega_1 PIBCEE_{t-1} + \omega_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi_1 PIBJap_{t-1} + \xi_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}} + \\
& + \psi_1 PIBOECD_{t-1} + \psi_2 PIBOECD_{t-2} + \dots + \psi_{k_{27}} PIBOECD_{t-k_{27}}] \quad \text{(Equação 5.9)}
\end{aligned}$$

Conseqüentemente, o problema se traduz em encontrar os coeficientes

$$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \dots, \alpha'_k, \dots, \psi'_{k_{27}}$$

que melhor ajustem o modelo aos valores passados e que, concomitantemente, forneçam as previsões de preços consideradas mais verossímeis por um grupo de especialistas em mercado futuro de petróleos da Petrobras.

Foram formulados dezenas de sistemas e modelos e testados os resultados. Foi testada a autocorrelação nos resíduos, com a consideração da hipótese nula de inexistência de autocorrelação nos resíduos.

Ao longo dos testes, algumas das variáveis do modelo foram identificadas como pouco ou muito pouco relevantes para a modelagem em questão, através dos testes T de Student (Gossett), R^2 ajustado, estatística F e Critério de Informação de Akaike (AIC), devidamente providos pelo programa PCFiml em seu módulo de testes de sistemas e modelos. Destarte, eliminaram-se sucessivamente a Produção Mundial de Gás Natural, o Preço do Gás Natural nos EUA, o Preço do Gás Natural na Europa, o Preço do Gás Natural no Japão, a Produção Mundial de Carvão, o Preço do Carvão nos EUA, o Preço do Carvão na Europa, o Preço do Carvão no

Japão, o Consumo Mundial de Hidreletricidade, a Inflação, a Venda de Veículos e o PIB da OECD. A significância dos diferentes *lags* (períodos distribuídos) foi igualmente estudada, de forma a capturar-se apenas as diferenças mais relevantes, tornando o modelo o mais simples possível sem perda sensível de precisão, em acordo com o conceito de *Occam's Razor*, a Navalha de Occam.

Desta forma, o modelo mais simples que se logrou obter, sem perda sensível de precisão nas previsões e nos ajustes de valores, é apresentado nas equações que se seguem, que vem a ser formas mais simplificadas de 5.7., 5.8. e 5.9.:

Equação para Brent:

$$\begin{aligned}
Brent_t = & a + \alpha_1 Brent_{t-1} + \alpha_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta_1 WTI_{t-1} + \beta_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi_1 OleoPr od_{t-1} + \chi_2 OleoPr od_{t-2} + \dots + \chi_{k_3} OleoPr od_{t-k_3} + \\
& + \delta_1 OleoCons_{t-1} + \delta_2 OleoCons_{t-2} + \dots + \delta_{k_4} OleoCons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon_1 OleoCap_{t-1} + \varepsilon_2 OleoCap_{t-2} + \dots + \varepsilon_{k_5} OleoCap_{t-k_5} + \\
& + \phi_1 OleoRef_{t-1} + \phi_2 OleoRef_{t-2} + \dots + \phi_{k_6} OleoRef_{t-k_6} + \\
& + \varphi_1 OleoRsr_{t-1} + \varphi_2 OleoRsr_{t-2} + \dots + \varphi_{k_7} OleoRsr_{t-k_7} + \\
& + \eta_1 GNCons_{t-1} + \eta_2 GNCons_{t-2} + \dots + \eta_{k_9} GNCons_{t-k_9} + \\
& + \varpi_1 CrvCons_{t-1} + \varpi_2 CrvCons_{t-2} + \dots + \varpi_{k_{18}} CrvCons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma_1 PIBUS_{t-1} + \sigma_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta_1 Indstr_{t-1} + \zeta_2 Indstr_{t-2} + \dots + \zeta_{k_{22}} Indstr_{t-k_{22}} + \\
& + \nu_1 Pr odVeic_{t-1} + \nu_2 Pr odVeic_{t-2} + \dots + \nu_{k_{24}} Pr odVeic_{t-k_{24}} + \\
& + \omega_1 PIBCEE_{t-1} + \omega_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi_1 PIBJap_{t-1} + \xi_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}}
\end{aligned}
\tag{Equação 5.10}$$

Equação para WTI:

$$\begin{aligned}
WTI_t = & b + \alpha'_1 Brent_{t-1} + \alpha'_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha'_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta'_1 WTI_{t-1} + \beta'_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta'_{k_2} WTI_{t-k_2} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \chi'_1 \text{Oleo Pr od}_{t-1} + \chi'_2 \text{Oleo Pr od}_{t-2} + \dots + \chi'_{k_3} \text{Oleo Pr od}_{t-k_3} + \\
& + \delta'_1 \text{OleoCons}_{t-1} + \delta'_2 \text{OleoCons}_{t-2} + \dots + \delta'_{k_4} \text{OleoCons}_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon'_1 \text{OleoCap}_{t-1} + \varepsilon'_2 \text{OleoCap}_{t-2} + \dots + \varepsilon'_{k_5} \text{OleoCap}_{t-k_5} + \\
& + \phi'_1 \text{Oleo Re } f_{t-1} + \phi'_2 \text{Oleo Re } f_{t-2} + \dots + \phi'_{k_6} \text{Oleo Re } f_{t-k_6} + \\
& + \varphi'_1 \text{OleoRsr}_{t-1} + \varphi'_2 \text{OleoRsr}_{t-2} + \dots + \varphi'_{k_7} \text{OleoRsr}_{t-k_7} + \\
& + \eta'_1 \text{GNCons}_{t-1} + \eta'_2 \text{GNCons}_{t-2} + \dots + \eta'_{k_9} \text{GNCons}_{t-k_9} + \\
& + \varpi'_1 \text{CrvCons}_{t-1} + \varpi'_2 \text{CrvCons}_{t-2} + \dots + \varpi'_{k_{18}} \text{CrvCons}_{t-k_{18}} + \\
& + \theta'_1 \text{NukCons}_{t-1} + \theta'_2 \text{NukCons}_{t-2} + \dots + \theta'_{k_{19}} \text{NukCons}_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma'_1 \text{PIBUS}_{t-1} + \sigma'_2 \text{PIBUS}_{t-2} + \dots + \sigma'_{k_{22}} \text{PIBUS}_{t-k_{22}} + \\
& + \varsigma'_1 \text{Indstr}_{t-1} + \varsigma'_2 \text{Indstr}_{t-2} + \dots + \varsigma'_{k_{22}} \text{Indstr}_{t-k_{22}} + \\
& + \upsilon'_1 \text{Pr odVeic}_{t-1} + \upsilon'_2 \text{Pr odVeic}_{t-2} + \dots + \upsilon'_{k_{24}} \text{Pr odVeic}_{t-k_{24}} + \\
& + \omega'_1 \text{PIBCEE}_{t-1} + \omega'_2 \text{PIBCEE}_{t-2} + \dots + \omega'_{k_{25}} \text{PIBCEE}_{t-k_{25}} + \\
& + \xi'_1 \text{PIBJap}_{t-1} + \xi'_2 \text{PIBJap}_{t-2} + \dots + \xi'_{k_{26}} \text{PIBJap}_{t-k_{26}}
\end{aligned}$$

(Equação 5.11)

Equação para WTI-Brent:

$$\begin{aligned}
& [\text{WTI} - \text{Brent}]_t = \\
& [b + \alpha'_1 \text{Brent}_{t-1} + \alpha'_2 \text{Brent}_{t-2} + \dots + \alpha'_{k_1} \text{Brent}_{t-k_1} + \\
& + \beta'_1 \text{WTI}_{t-1} + \beta'_2 \text{WTI}_{t-2} + \dots + \beta'_{k_2} \text{WTI}_{t-k_2} + \\
& + \chi'_1 \text{Oleo Pr od}_{t-1} + \chi'_2 \text{Oleo Pr od}_{t-2} + \dots + \chi'_{k_3} \text{Oleo Pr od}_{t-k_3} + \\
& + \delta'_1 \text{OleoCons}_{t-1} + \delta'_2 \text{OleoCons}_{t-2} + \dots + \delta'_{k_4} \text{OleoCons}_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon'_1 \text{OleoCap}_{t-1} + \varepsilon'_2 \text{OleoCap}_{t-2} + \dots + \varepsilon'_{k_5} \text{OleoCap}_{t-k_5} + \\
& + \phi'_1 \text{Oleo Re } f_{t-1} + \phi'_2 \text{Oleo Re } f_{t-2} + \dots + \phi'_{k_6} \text{Oleo Re } f_{t-k_6} + \\
& + \varphi'_1 \text{OleoRsr}_{t-1} + \varphi'_2 \text{OleoRsr}_{t-2} + \dots + \varphi'_{k_7} \text{OleoRsr}_{t-k_7} + \\
& + \eta'_1 \text{GNCons}_{t-1} + \eta'_2 \text{GNCons}_{t-2} + \dots + \eta'_{k_9} \text{GNCons}_{t-k_9} + \\
& + \varpi'_1 \text{CrvCons}_{t-1} + \varpi'_2 \text{CrvCons}_{t-2} + \dots + \varpi'_{k_{18}} \text{CrvCons}_{t-k_{18}} + \\
& + \theta'_1 \text{NukCons}_{t-1} + \theta'_2 \text{NukCons}_{t-2} + \dots + \theta'_{k_{19}} \text{NukCons}_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma'_1 \text{PIBUS}_{t-1} + \sigma'_2 \text{PIBUS}_{t-2} + \dots + \sigma'_{k_{22}} \text{PIBUS}_{t-k_{22}} + \\
& + \varsigma'_1 \text{Indstr}_{t-1} + \varsigma'_2 \text{Indstr}_{t-2} + \dots + \varsigma'_{k_{22}} \text{Indstr}_{t-k_{22}} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \nu'_1 \text{Pr odVeic}_{t-1} + \nu'_2 \text{Pr odVeic}_{t-2} + \dots + \nu'_{k_{24}} \text{Pr odVeic}_{t-k_{24}} + \\
& + \omega'_1 \text{PIBC EE}_{t-1} + \omega'_2 \text{PIBC EE}_{t-2} + \dots + \omega'_{k_{25}} \text{PIBC EE}_{t-k_{25}} + \\
& + \xi'_1 \text{PIBJap}_{t-1} + \xi'_2 \text{PIBJap}_{t-2} + \dots + \xi'_{k_{26}} \text{PIBJap}_{t-k_{26}}] - \\
& [a + \alpha_1 \text{Brent}_{t-1} + \alpha_2 \text{Brent}_{t-2} + \dots + \alpha_{k_1} \text{Brent}_{t-k_1} + \\
& + \beta_1 \text{WTI}_{t-1} + \beta_2 \text{WTI}_{t-2} + \dots + \beta_{k_2} \text{WTI}_{t-k_2} + \\
& + \chi_1 \text{Oleo Pr od}_{t-1} + \chi_2 \text{Oleo Pr od}_{t-2} + \dots + \chi_{k_3} \text{Oleo Pr od}_{t-k_3} + \\
& + \delta_1 \text{OleoCons}_{t-1} + \delta_2 \text{OleoCons}_{t-2} + \dots + \delta_{k_4} \text{OleoCons}_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon_1 \text{OleoCap}_{t-1} + \varepsilon_2 \text{OleoCap}_{t-2} + \dots + \varepsilon_{k_5} \text{OleoCap}_{t-k_5} + \\
& + \phi_1 \text{Oleo Re f}_{t-1} + \phi_2 \text{Oleo Re f}_{t-2} + \dots + \phi_{k_6} \text{Oleo Re f}_{t-k_6} + \\
& + \varphi_1 \text{OleoRsr}_{t-1} + \varphi_2 \text{OleoRsr}_{t-2} + \dots + \varphi_{k_7} \text{OleoRsr}_{t-k_7} + \\
& + \eta_1 \text{GNCons}_{t-1} + \eta_2 \text{GNCons}_{t-2} + \dots + \eta_{k_9} \text{GNCons}_{t-k_9} + \\
& + \varpi_1 \text{CrvCons}_{t-1} + \varpi_2 \text{CrvCons}_{t-2} + \dots + \varpi_{k_{18}} \text{CrvCons}_{t-k_{18}} + \\
& + \theta_1 \text{NukCons}_{t-1} + \theta_2 \text{NukCons}_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} \text{NukCons}_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma_1 \text{PIBUS}_{t-1} + \sigma_2 \text{PIBUS}_{t-2} + \dots + \sigma_{k_{22}} \text{PIBUS}_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta_1 \text{Indstr}_{t-1} + \zeta_2 \text{Indstr}_{t-2} + \dots + \zeta_{k_{22}} \text{Indstr}_{t-k_{22}} + \\
& + \nu_1 \text{Pr odVeic}_{t-1} + \nu_2 \text{Pr odVeic}_{t-2} + \dots + \nu_{k_{24}} \text{Pr odVeic}_{t-k_{24}} + \\
& + \omega_1 \text{PIBC EE}_{t-1} + \omega_2 \text{PIBC EE}_{t-2} + \dots + \omega_{k_{25}} \text{PIBC EE}_{t-k_{25}} + \\
& + \xi_1 \text{PIBJap}_{t-1} + \xi_2 \text{PIBJap}_{t-2} + \dots + \xi_{k_{26}} \text{PIBJap}_{t-k_{26}}] \quad (\text{Equação 5.12})
\end{aligned}$$

A equivalência entre parâmetros é mostrada no Quadro 5.2. Os parâmetros encontrados com o software PCFiml que otimizam o desempenho do modelo são listados nas Tabela 5.5. (Brent) e 5.6. (WTI) a seguir.

	Equação para Brent		Equação para WTI
α_k	Brent	α'_k	Brent
β_k	WTI	β'_k	WTI
χ_k	OleoProd	χ'_k	OleoProd
δ_k	OleoCons	δ'_k	OleoCons
ε_k	OleoCap	ε'_k	OleoCap
ϕ_k	OleoRef	ϕ_k	OleoRef

φ_k	OleoRsr	φ_k	OleoRsr
η_k	GNCons	η'_k	GNCons
ω_k	CrvCon	ω'_k	CrvCon
θ_k	NukCons	θ'_k	NukCons
σ_k	PIBUS	σ'_k	PIBUS
ζ_k	Indstr	ζ'_k	Indstr
ν_k	ProdVeic	ν'_k	ProdVeic
ω_k	PIBCEE	ω'_k	PIBCEE
ξ_k	PIBJap	ξ'_k	PIBJap

Quadro 5.2. – Equivalência entre os parâmetros do Modelo de Regressão Dinâmica.

Desta forma, o Modelo de Regressão Linear Dinâmica para a previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent pode ser descrito da seguinte maneira:

Equação para Brent:

$$\begin{aligned}
Brent_t = & a + \alpha_1 Brent_{t-1} + \alpha_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta_1 WTI_{t-1} + \beta_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi_1 Oleo Prod_{t-1} + \chi_2 Oleo Prod_{t-2} + \dots + \chi_{k_3} Oleo Prod_{t-k_3} + \\
& + \delta_1 OleoCons_{t-1} + \delta_2 OleoCons_{t-2} + \dots + \delta_{k_4} OleoCons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon_1 OleoCap_{t-1} + \varepsilon_2 OleoCap_{t-2} + \dots + \varepsilon_{k_5} OleoCap_{t-k_5} + \\
& + \phi_1 Oleo Ref_{t-1} + \phi_2 Oleo Ref_{t-2} + \dots + \phi_{k_6} Oleo Ref_{t-k_6} + \\
& + \varphi_1 OleoRsr_{t-1} + \varphi_2 OleoRsr_{t-2} + \dots + \varphi_{k_7} OleoRsr_{t-k_7} + \\
& + \eta_1 GNCons_{t-1} + \eta_2 GNCons_{t-2} + \dots + \eta_{k_9} GNCons_{t-k_9} + \\
& + \omega_1 CrvCons_{t-1} + \omega_2 CrvCons_{t-2} + \dots + \omega_{k_{18}} CrvCons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma_1 PIBUS_{t-1} + \sigma_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta_1 Indstr_{t-1} + \zeta_2 Indstr_{t-2} + \dots + \zeta_{k_{22}} Indstr_{t-k_{22}} + \\
& + \nu_1 ProdVeic_{t-1} + \nu_2 ProdVeic_{t-2} + \dots + \nu_{k_{24}} ProdVeic_{t-k_{24}} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \omega_1 PIBCEE_{t-1} + \omega_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi_1 PIBJap_{t-1} + \xi_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}}
\end{aligned}
\tag{Equação 5.13}$$

Equação para WTI:

$$\begin{aligned}
WTI_t = & b + \alpha'_1 Brent_{t-1} + \alpha'_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha'_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta'_1 WTI_{t-1} + \beta'_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta'_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi'_1 Oleo Pr od_{t-1} + \chi'_2 Oleo Pr od_{t-2} + \dots + \chi'_{k_3} Oleo Pr od_{t-k_3} + \\
& + \delta'_1 Oleo Cons_{t-1} + \delta'_2 Oleo Cons_{t-2} + \dots + \delta'_{k_4} Oleo Cons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon'_1 Oleo Cap_{t-1} + \varepsilon'_2 Oleo Cap_{t-2} + \dots + \varepsilon'_{k_5} Oleo Cap_{t-k_5} + \\
& + \phi'_1 Oleo Re f_{t-1} + \phi'_2 Oleo Re f_{t-2} + \dots + \phi'_{k_6} Oleo Re f_{t-k_6} + \\
& + \varphi'_1 Oleo Rsr_{t-1} + \varphi'_2 Oleo Rsr_{t-2} + \dots + \varphi'_{k_7} Oleo Rsr_{t-k_7} + \\
& + \eta'_1 GNCons_{t-1} + \eta'_2 GNCons_{t-2} + \dots + \eta'_{k_9} GNCons_{t-k_9} + \\
& + \varpi'_1 CrvCons_{t-1} + \varpi'_2 CrvCons_{t-2} + \dots + \varpi'_{k_{18}} CrvCons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta'_1 NukCons_{t-1} + \theta'_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta'_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma'_1 PIBUS_{t-1} + \sigma'_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma'_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta'_1 Indstr_{t-1} + \zeta'_2 Indstr_{t-2} + \dots + \zeta'_{k_{22}} Indstr_{t-k_{22}} + \\
& + \nu'_1 Pr odVeic_{t-1} + \nu'_2 Pr odVeic_{t-2} + \dots + \nu'_{k_{24}} Pr odVeic_{t-k_{24}} + \\
& + \omega'_1 PIBCEE_{t-1} + \omega'_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega'_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi'_1 PIBJap_{t-1} + \xi'_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi'_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}}
\end{aligned}
\tag{Equação 5.14}$$

Equation 1 for Brent

Variable	Coefficient	Std.Error	t-value	t-prob	HCSE	PartR^2
Brent_1	0.40829	0.58039	0.703	0.4845	0.71337	0.9791
Brent_2	0.30192	0.55207	0.547	0.5865	0.81798	0.9594
Brent_3	-0.32018	0.55510	-0.577	0.5663	0.74822	0.8929
Brent_4	0.48576	0.55851	0.870	0.3880	0.67321	0.7587
Brent_5	-1.4179	0.57451	-2.468	0.0165	0.86943	0.6731
WTI_1	0.56231	0.64024	0.878	0.3834	0.71474	0.9705
WTI_2	-0.79959	0.63100	-1.267	0.2101	0.85993	0.9286
WTI_3	0.54326	0.64699	0.840	0.4045	0.82697	0.9036
WTI_4	-0.92962	0.62183	-1.495	0.1403	0.64112	0.8718
WTI_5	1.7060	0.62088	2.748	0.0079	0.96293	0.7135
OleoProd	-0.0047577	0.011192	-0.425	0.6723	0.014891	0.9160
OleoProd_1	0.0045124	0.0046511	0.970	0.3359	0.0029923	0.7759
OleoProd_3	-0.0042717	0.0045636	-0.936	0.3531	0.0040921	0.6876
OleoProd_4	0.0098220	0.0048104	2.042	0.0456	0.0044201	0.6228
OleoCons	0.011502	0.036980	0.311	0.7569	0.053492	0.7691
OleoCons_4	0.0046584	0.0059046	0.789	0.4333	0.0030461	0.7021
OleoCons_5	-0.0078310	0.0059111	-1.325	0.1903	0.0027435	0.6572
OleoCap	0.0011406	0.0060121	0.190	0.8502	0.0084325	0.8008
OleoCap_3	0.00059727	0.0023577	0.253	0.8009	0.0015847	0.7385
OleoCap_4	0.0046083	0.0024604	1.873	0.0660	0.0020966	0.7238
OleoRef	-0.0037354	0.016075	-0.232	0.8171	0.023024	0.7670
OleoRef_3	0.0029606	0.0041396	0.715	0.4773	0.0028160	0.7010
OleoRef_4	-0.0068378	0.0042770	-1.599	0.1152	0.0032205	0.6105
OleoRsr	-0.057063	0.36816	-0.155	0.8774	0.52438	0.5553
OleoRsr_3	0.099017	0.11493	0.862	0.3924	0.098651	0.5158
OleoRsr_4	-0.22030	0.12221	-1.803	0.0766	0.10815	0.5094
OleoRsr_5	0.21492	0.12969	1.657	0.1028	0.10076	0.5045
GNCons	0.015235	0.073402	0.208	0.8363	0.079788	0.6910
GNCons_2	0.048742	0.065012	0.750	0.4564	0.028219	0.6720
CrvCon	0.054557	0.12411	0.440	0.6618	0.16582	0.7585
CrvCon_3	0.086791	0.067560	1.285	0.2039	0.039160	0.6776
NukCon	-0.52912	1.7722	-0.299	0.7663	2.5769	0.6926
NukCon_2	-0.14856	0.31146	-0.477	0.6351	0.15957	0.6469
NukCon_5	0.45281	0.33949	1.334	0.1874	0.19040	0.6186
PIBUS	0.018025	0.095017	0.190	0.8502	0.13664	0.7107
PIBUS_1	0.018149	0.028051	0.647	0.5202	0.014848	0.5890
PIBUS_2	-0.024262	0.028313	-0.857	0.3949	0.015803	0.4489
PIBUS_3	-0.022811	0.028476	-0.801	0.4263	0.020350	0.4695
PIBUS_4	0.049011	0.029006	1.690	0.0964	0.022526	0.5836
PIBUS_6	-0.049920	0.023933	-2.086	0.0413	0.019149	0.6639
Indstr	0.014573	0.044781	0.325	0.7460	0.053231	0.7180
Indstr_1	-0.022271	0.031853	-0.699	0.4872	0.017807	0.7069
Indstr_3	0.036309	0.032211	1.127	0.2642	0.026422	0.6648
Indstr_4	-0.072118	0.033339	-2.163	0.0346	0.029693	0.6198
ProdVeic	-0.0074133	0.027950	-0.265	0.7918	0.040752	0.5773
ProdVeic_3	0.0019892	0.0039573	0.503	0.6171	0.0028140	0.5509
ProdVeic_4	-0.0057397	0.0040977	-1.401	0.1665	0.0029686	0.5468
PIBCEE	-0.0040586	0.014131	-0.287	0.7750	0.016066	0.6840
PIBCEE_3	0.017747	0.014807	1.199	0.2355	0.015033	0.6726
PIBCEE_4	-0.033577	0.015069	-2.228	0.0297	0.015255	0.6657
PIBJap	0.015068	0.080819	0.186	0.8527	0.11479	0.6435
PIBJap_3	-0.021760	0.018976	-1.147	0.2561	0.010510	0.6196
PIBJap_4	0.022406	0.019472	1.151	0.2545	0.012092	0.5938
Constant	20.201	33.372	0.605	0.5473	---	

Tabela 5.5. – Parâmetros do Modelo de Regressão Linear Dinâmica, Equação para Brent.

Equation 2 for WTI

Variable	Coefficient	Std.Error	t-value	t-prob	HCSE	PartR ²
Brent_1	0.18345	0.52372	0.350	0.7274	0.70529	0.9618
Brent_2	0.39895	0.49816	0.801	0.4264	0.75093	0.9424
Brent_3	-0.46761	0.50090	-0.934	0.3543	0.68837	0.8771
Brent_4	0.67089	0.50398	1.331	0.1882	0.62053	0.7453
Brent_5	-1.0393	0.51841	-2.005	0.0496	0.72967	0.6612
WTI_1	0.68270	0.57773	1.182	0.2421	0.68826	0.9533
WTI_2	-0.76450	0.56938	-1.343	0.1845	0.77994	0.9122
WTI_3	0.61084	0.58381	1.046	0.2997	0.74719	0.8876
WTI_4	-1.0806	0.56111	-1.926	0.0590	0.58345	0.8564
WTI_5	1.3513	0.56025	2.412	0.0190	0.79526	0.7009
OleoProd	-0.0078143	0.010099	-0.774	0.4422	0.012743	0.8998
OleoProd_1	0.0033218	0.0041969	0.791	0.4318	0.0026444	0.7622
OleoProd_3	-0.0047020	0.0041180	-1.142	0.2581	0.0033763	0.6754
OleoProd_4	0.0067484	0.0043407	1.555	0.1254	0.0036435	0.6118
OleoCons	0.026559	0.033369	0.796	0.4293	0.045844	0.7555
OleoCons_4	0.0041360	0.0053281	0.776	0.4407	0.0025046	0.6897
OleoCons_5	-0.0064345	0.0053340	-1.206	0.2325	0.0024038	0.6456
OleoCap	0.0043715	0.0054251	0.806	0.4236	0.0072564	0.7866
OleoCap_3	-0.0023097	0.0021343	-1.082	0.2836	0.0014989	0.7254
OleoCap_4	0.0036795	0.0022202	1.657	0.1028	0.0017564	0.7110
OleoRef	-0.010879	0.014506	-0.750	0.4562	0.019760	0.7534
OleoRef_3	0.0032670	0.0037354	0.875	0.3853	0.0023799	0.6886
OleoRef_4	-0.0048336	0.0038594	-1.252	0.2154	0.0026545	0.5997
OleoRsr	-0.22664	0.33221	-0.682	0.4978	0.45130	0.5455
OleoRsr_3	0.11863	0.10371	1.144	0.2573	0.082820	0.5067
OleoRsr_4	-0.16600	0.11028	-1.505	0.1376	0.089606	0.5004
OleoRsr_5	0.14591	0.11703	1.247	0.2174	0.094971	0.4956
GNCons	0.057515	0.066235	0.868	0.3887	0.069874	0.6788
GNCons_2	0.053044	0.058664	0.904	0.3696	0.024475	0.6601
CrvCon	0.073089	0.11199	0.653	0.5165	0.14160	0.7451
CrvCon_3	0.073113	0.060964	1.199	0.2352	0.034265	0.6656
NukCon	-1.3213	1.5992	-0.826	0.4120	2.2070	0.6804
NukCon_2	-0.21068	0.28105	-0.750	0.4565	0.13943	0.6355
NukCon_5	0.29456	0.30634	0.962	0.3402	0.18640	0.6077
PIBUS	0.056590	0.085739	0.660	0.5118	0.11717	0.6981
PIBUS_1	0.014431	0.025312	0.570	0.5708	0.013411	0.5786
PIBUS_2	-0.016439	0.025548	-0.643	0.5224	0.014166	0.4410
PIBUS_3	-0.027672	0.025696	-1.077	0.2859	0.017289	0.4612
PIBUS_4	0.036358	0.026174	1.389	0.1700	0.018351	0.5733
PIBUS_6	-0.055172	0.021596	-2.555	0.0132	0.017345	0.6522
Industr	0.024216	0.040409	0.599	0.5513	0.045626	0.7053
Industr_1	-0.015056	0.028743	-0.524	0.6024	0.015794	0.6944
Industr_3	0.041271	0.029066	1.420	0.1609	0.022113	0.6530
Industr_4	-0.056551	0.030084	-1.880	0.0651	0.024441	0.6088
ProdVeic	-0.019172	0.025221	-0.760	0.4502	0.034920	0.5671
ProdVeic_3	0.0030394	0.0035709	0.851	0.3981	0.0023815	0.5412
ProdVeic_4	-0.0043210	0.0036976	-1.169	0.2473	0.0024497	0.5371
PIBCEE	-0.010520	0.012751	-0.825	0.4127	0.014068	0.6719
PIBCEE_3	0.017942	0.013361	1.343	0.1845	0.012411	0.6607
PIBCEE_4	-0.026557	0.013598	-1.953	0.0556	0.012476	0.6539
PIBJap	0.050449	0.072927	0.692	0.4918	0.098551	0.6321
PIBJap_3	-0.017887	0.017123	-1.045	0.3005	0.0094613	0.6086
PIBJap_4	0.016257	0.017571	0.925	0.3586	0.010495	0.5833
Constant	48.441	30.114	1.609	0.1130	---	

Tabela 5.6. – Parâmetros do Modelo de Regressão Dinâmica, Equação para WTI.

Equação para WTI-Brent:

$$\begin{aligned}
& [WTI - Brent]_t = \\
& [b + \alpha'_1 Brent_{t-1} + \alpha'_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha'_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta'_1 WTI_{t-1} + \beta'_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta'_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi'_1 Oleo Pr od_{t-1} + \chi'_2 Oleo Pr od_{t-2} + \dots + \chi'_{k_3} Oleo Pr od_{t-k_3} + \\
& + \delta'_1 Oleo Cons_{t-1} + \delta'_2 Oleo Cons_{t-2} + \dots + \delta'_{k_4} Oleo Cons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon'_1 Oleo Cap_{t-1} + \varepsilon'_2 Oleo Cap_{t-2} + \dots + \varepsilon'_{k_5} Oleo Cap_{t-k_5} + \\
& + \phi'_1 Oleo Re f_{t-1} + \phi'_2 Oleo Re f_{t-2} + \dots + \phi'_{k_6} Oleo Re f_{t-k_6} + \\
& + \varphi'_1 Oleo Rsr_{t-1} + \varphi'_2 Oleo Rsr_{t-2} + \dots + \varphi'_{k_7} Oleo Rsr_{t-k_7} + \\
& + \eta'_1 GNCons_{t-1} + \eta'_2 GNCons_{t-2} + \dots + \eta'_{k_9} GNCons_{t-k_9} + \\
& + \varpi'_1 CrvCons_{t-1} + \varpi'_2 CrvCons_{t-2} + \dots + \varpi'_{k_{18}} CrvCons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta'_1 NukCons_{t-1} + \theta'_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta'_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma'_1 PIBUS_{t-1} + \sigma'_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma'_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta'_1 Indstr_{t-1} + \zeta'_2 Indstr_{t-2} + \dots + \zeta'_{k_{22}} Indstr_{t-k_{22}} + \\
& + \upsilon'_1 Pr odVeic_{t-1} + \upsilon'_2 Pr odVeic_{t-2} + \dots + \upsilon'_{k_{24}} Pr odVeic_{t-k_{24}} + \\
& + \omega'_1 PIBCEE_{t-1} + \omega'_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega'_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi'_1 PIBJap_{t-1} + \xi'_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi'_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}}] - \\
& [a + \alpha_1 Brent_{t-1} + \alpha_2 Brent_{t-2} + \dots + \alpha_{k_1} Brent_{t-k_1} + \\
& + \beta_1 WTI_{t-1} + \beta_2 WTI_{t-2} + \dots + \beta_{k_2} WTI_{t-k_2} + \\
& + \chi_1 Oleo Pr od_{t-1} + \chi_2 Oleo Pr od_{t-2} + \dots + \chi_{k_3} Oleo Pr od_{t-k_3} + \\
& + \delta_1 Oleo Cons_{t-1} + \delta_2 Oleo Cons_{t-2} + \dots + \delta_{k_4} Oleo Cons_{t-k_4} + \\
& + \varepsilon_1 Oleo Cap_{t-1} + \varepsilon_2 Oleo Cap_{t-2} + \dots + \varepsilon_{k_5} Oleo Cap_{t-k_5} + \\
& + \phi_1 Oleo Re f_{t-1} + \phi_2 Oleo Re f_{t-2} + \dots + \phi_{k_6} Oleo Re f_{t-k_6} + \\
& + \varphi_1 Oleo Rsr_{t-1} + \varphi_2 Oleo Rsr_{t-2} + \dots + \varphi_{k_7} Oleo Rsr_{t-k_7} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \eta_1 GNCons_{t-1} + \eta_2 GNCons_{t-2} + \dots + \eta_{k_9} GNCons_{t-k_9} + \\
& + \varpi_1 CrvCons_{t-1} + \varpi_2 CrvCons_{t-2} + \dots + \varpi_{k_{18}} CrvCons_{t-k_{18}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \theta_1 NukCons_{t-1} + \theta_2 NukCons_{t-2} + \dots + \theta_{k_{19}} NukCons_{t-k_{19}} + \\
& + \sigma_1 PIBUS_{t-1} + \sigma_2 PIBUS_{t-2} + \dots + \sigma_{k_{22}} PIBUS_{t-k_{22}} + \\
& + \zeta_1 Indstr_{t-1} + \zeta_2 Indstr_{t-2} + \dots + \zeta_{k_{22}} Indstr_{t-k_{22}} + \\
& + \upsilon_1 Pr odVeic_{t-1} + \upsilon_2 Pr odVeic_{t-2} + \dots + \upsilon_{k_{24}} Pr odVeic_{t-k_{24}} + \\
& + \omega_1 PIBCEE_{t-1} + \omega_2 PIBCEE_{t-2} + \dots + \omega_{k_{25}} PIBCEE_{t-k_{25}} + \\
& + \xi_1 PIBJap_{t-1} + \xi_2 PIBJap_{t-2} + \dots + \xi_{k_{26}} PIBJap_{t-k_{26}}] \quad \text{(Equação 5.15)}
\end{aligned}$$

As Equações 5.13., 5.14. e 5.15. acima referenciadas consubstanciam o modelo linear de regressão dinâmica cuja determinação constitui o escopo da presente dissertação de mestrado.

Nas Tabelas 5.5. e 5.6., os parâmetros do modelo para cada variável encontram-se listados na coluna “Coefficient”. Este modelo final, o de número 47, não considera algumas variáveis inicialmente incluídas, Produção Mundial de Gás Natural, Preço do Gás Natural nos EUA, Preço do Gás Natural na Europa, Preço do Gás Natural no Japão, Produção Mundial de Carvão, Preço do Carvão nos EUA, Preço do Carvão na Europa, Preço do Carvão no Japão, Consumo Mundial de Hidreletricidade, Inflação do dólar norte-americano, Venda de Veículos e PIB da OECD, cuja influência é considerada insignificante nas previsões em questão. Alguns lags pouco significantes também poderiam ser removidos do modelo; porém, tendo-se em consideração que o esforço computacional para formulação das previsões não se incrementa de modo significativo com a presença de tais lags, optou-se por mantê-los no modelo final.

A Figura 5.5. mostra os gráficos de Brent e WTI com os valores reais e os valores ajustados pelo modelo de regressão dinâmica.

A Figura 5.6. apresenta algumas análises relevantes do comportamento do modelo, quais sejam; da esquerda para a direita e de cima para baixo, primeiramente para o Brent e em seguida para o WTI:

1. Gráfico dos valores reais e dos valores ajustados pelo modelo;
2. Plotagem cruzada dos valores reais e dos valores ajustados;

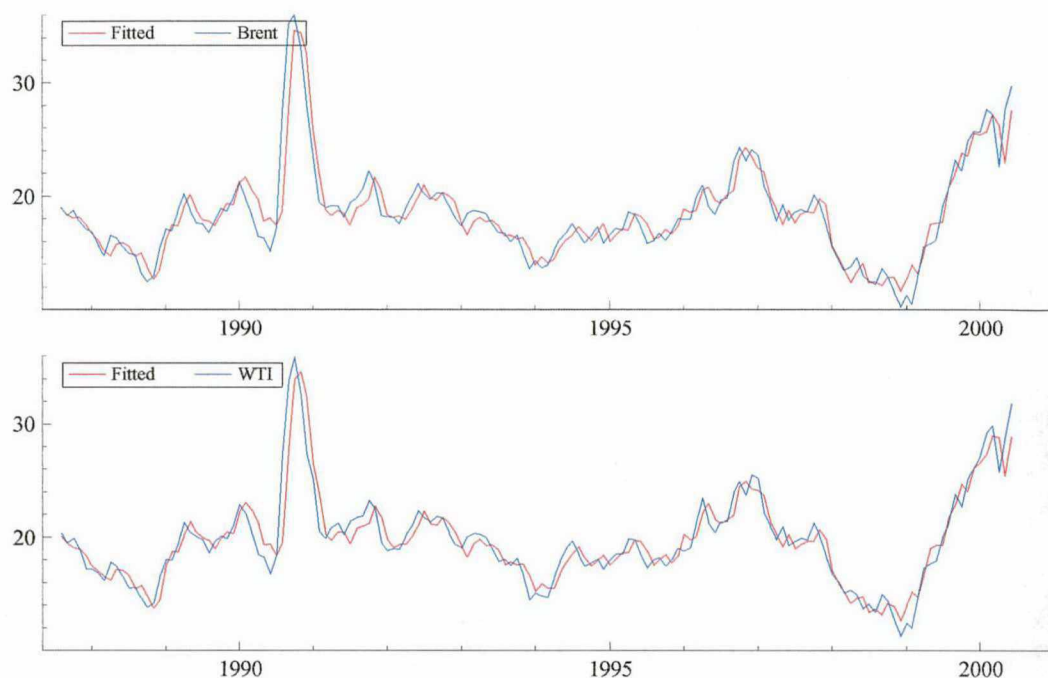


Figura 5.5. – Valores reais de Brent e WTI e valores ajustados pelo modelo de regressão dinâmica. Fonte: o autor.

3. Gráfico dos resíduos;
4. Correlograma dos resíduos com lag 12;
5. Densidade espectral dos resíduos;
6. Densidade dos resíduos; histograma e curva normal;
7. Plotagem QQ dos resíduos.

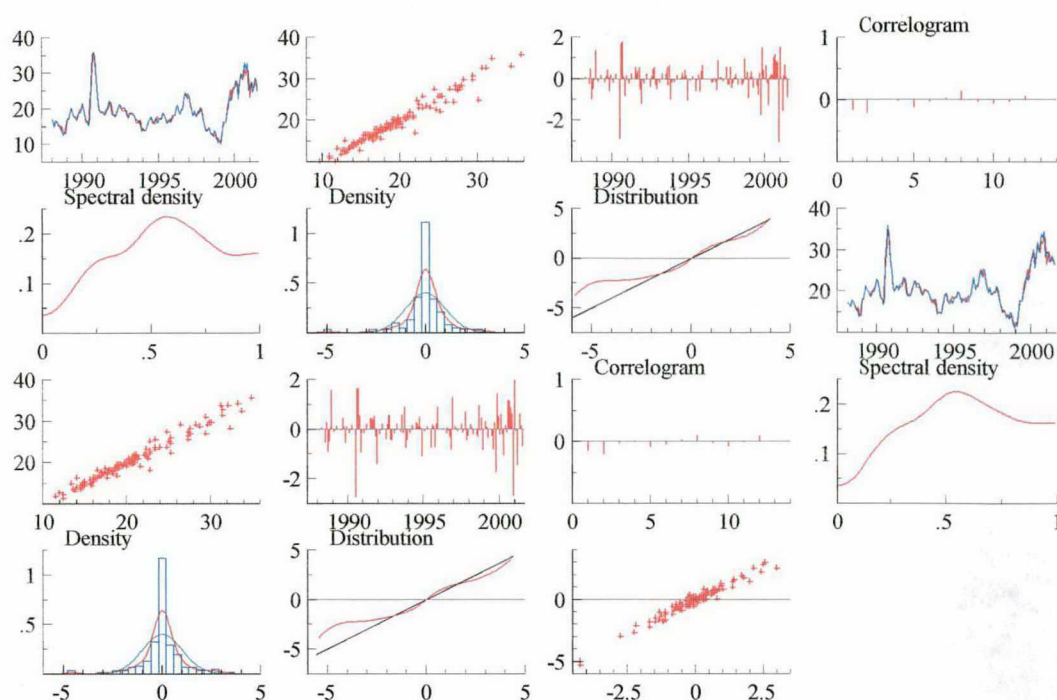


Figura 5.6.: Gráficos representativos do comportamento do modelo de regressão dinâmica. Fonte: o autor.

5.7.2. Análise Crítica do Modelo.

A análise do modelo de regressão linear dinâmica estabelecido em 5.6.1. à luz dos fundamentos da indústria do petróleo e do ponto de vista de diversas corporações da indústria conduz a uma série de conclusões e constatações relevantes.

Preliminarmente, observa-se, como seria de se esperar, que o modelo guarda forte dependência das variáveis relativas ao mercado internacional do petróleo. Assim, a correlação com a Produção Mundial de Petróleo, o Consumo Mundial de Petróleo, a Capacidade Mundial de Refino Instalada, o Throughput Mundial das Refinarias e as Reservas Mundiais Provadas de Petróleo é relevante no modelo estabelecido.

Por outro lado, no que tange às formas alternativas de energia Gás Natural e Carvão, tem-se que o modelo mantém correlação apenas com o Consumo Mundial destes produtos. Demais variáveis, como a Produção e os Preços internacionais, são irrelevantes para a modelagem em questão. Este fenômeno é explicável pelo fato de que, no que tange à sua influência sobre os preços dos petróleos, apenas o Consumo

destas formas alternativas de energia apresenta algum peso, sendo as demais variáveis virtualmente transparentes para o mecanismo de formação de preços de óleos.

Similar observação aplica-se ao Consumo Mundial de Energia Nuclear. Tendo-se em vista que, notadamente nos países desenvolvidos, a energia nuclear compete com a energia derivada do petróleo para finalidades domésticas, comerciais e industriais, tem-se que um incremento relativo de utilização daquela corresponde a uma redução concomitante no consumo de petróleo, contribuindo para a criação de uma pressão de baixa nas cotações dos óleos via redução de demanda.

Observa-se ainda que o Consumo de Energia Hidrelétrica tem influência extremamente reduzida nos preços dos óleos, creditando-se este fenômeno ao fato de que, principalmente no que diz respeito aos países em desenvolvimento, a hidroeletricidade dispõe de posição cativa na matriz energética, sendo o inter-relacionamento com a energia petróleo uma função de baixa correlação, e podendo, portanto, ser descartada do modelo, de acordo com o conceito de *Occam's Razor*.

A Inflação também desempenha um papel irrelevante na formação futura dos preços de Brent e WTI. Isto se explica pelo fato de as cotações dos óleos embutirem normalmente a componente inflacionária, como pode ser avaliado na Figura 5.8, onde se comparam, desde 1861, os preços dos óleos a dólares da época e a dólares constantes de 2000.

Ainda a notar que, entre duas variáveis fortemente correlacionadas entre si, a Venda Mundial de Veículos e a Produção Mundial de Veículos, apenas a Produção mostra alguma relevância para o modelo em questão. Explica-se esta ocorrência pelo fato de que a Venda é uma variável de medição relativamente difícil; os períodos em que se registra a venda não necessariamente coincidem com os períodos de produção, sendo, ao contrário, efetuadas em momentos aleatórios. A Produção guarda maior aderência e relação direta com os preços dos petróleos, sendo por este motivo retida no modelo, com a consequente retirada da Venda.

Com respeito às variáveis macroeconômicas representativas do comportamento da economia mundial, os Produtos Internos Brutos, observa-se que participam do modelo os PIB dos EUA, da CEE (Comunidade Econômica Européia) e do Japão. O PIB da OECD (*Organisation for Economic Co-Operation and Development*, Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento) foi

identificado como parâmetro de menor influência e retirado do modelo. A causa para este comportamento é basicamente a existência de fenômeno de multicolinearidade e cointegração entre os PIB analisados, o que, para efeitos de análise de regressão dinâmica, torna sua inclusão dispensável no modelo.

Além disso, os lags de menor significância (avaliados por R2 parcial, valor t e outros critérios) foram eliminados do modelo, tornando-o mais parcimonioso.

5.8. AVALIAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO DINÂMICA.

O modelo apresentado em 5.6.1. foi avaliado em suas características de aderência e representatividade sob diferentes enfoques.

Além dos critérios estatísticos mais comuns de determinação de erros, como ME (*Mean Error, Erro Médio*), MSE (*Mean Squared Error, Erro Médio Quadrático*) e MAPE (*Mean Absolute Percentual Error, Erro Médio Porcentual Absoluto*), a diretriz básica de comparação de diferentes modelos encontrados possíveis e adequados, sob o critério de aderência das previsões, foi estabelecido com base na seguinte sequência de julgamento:

1. Melhor aderência aos valores do passado (forecast ex-ante, com utilização do U de Theil);
2. Maior verossimilhança dos valores projetados a futuro (forecast ex-post) com relação ao julgamento qualitativo (análise fundamentalista) de uma equipe de especialistas em previsão de preços de petróleo da área de MFE (Mercado Futuro de Energia) da Petrobras.

No que tange ao item 2 acima, foram modeladas partes das séries históricas e aplicadas as previsões do modelo a períodos em que os valores já eram conhecidos. Por exemplo, em uma das simulações, aplicou-se o modelo de regressão dinâmica ao período correspondente a julho de 1987 até julho de 1999, e as previsões foram cotejadas com os valores reais, já disponíveis, correspondentes ao período de agosto de 1999 a julho de 2001. Diversas outras simulações de mesma natureza foram efetuadas, sempre modelando-se períodos no passado e comparando-se as previsões obtidas com valores reais já disponíveis.

Tendo-se em consideração os critérios acima descritos, o modelo de regressão linear dinâmica, desenvolvido em PCFiml®, que melhor desempenho apresentou,

entre as dezenas de modelos ensaiados, foi o modelo de número 47, exibido em 5.6.1. A Figura 5.7. apresenta alguns parâmetros relevantes do modelo, calculados pelo pacote computacional PCFiml®. O compromisso entre os dois critérios mencionados reside no fato de que, conforme observa [MAKRIDAKIS, 1998], nem sempre o modelo que ajusta melhor os valores do passado propicia a melhor previsão do futuro, e, no caso da presente dissertação, tal assertiva tem importância fundamental. A Figura 5.8. mostra os gráficos recursivos, a saber: soma dos quadrados dos resíduos, resíduos em um passo (± 2 desvios-padrão), o logaritmo da verossimilhança dividido pelo número de observações T, testes de contorno, teste de Chow de um passo, teste de Chow de ponto de ruptura, e forecast com valor p de 5%.

Por outro lado, a Figura 5.9. mostra o gráfico da previsão ex-ante dos valores de WTI e Brent no período de agosto de 2000 a julho de 2001, configurando um horizonte de um ano.

Progress to date							
model	T	p		log-likelihood	SC	HQ	AIC
47	157	138	FIML	159.08047	2.4178	0.82249	-1.0265
system	T	p		log-likelihood	SC	HQ	AIC
44	157	306	OLS	265.48562	6.4729	2.9354	-0.38198

Tests of model reduction
System 44 --> Model 47: $\chi^2(168) = 212.81$ [0.0110] *

Vector portmanteau statistic for 12 lags and 157 observations: 46.9

Testing for vector error autocorrelation from lags 1 to 1
 $\chi^2(4) = 12.494$ [0.0140] * and F-form(4,170) = 1.777 [0.1357]

Vector normality test for residuals
The present sample is: 1988 (7) to 2001 (7)

Skewness
0.044652 3.0858

Excess kurtosis
7.9111 3.3936

Vector normality $\chi^2(4) = 83.626$ [0.0000] **

Brent correlogram
Portmanteau statistic for 12 lags and 157 observations: 10.6
Autocorrelation coefficients

-0.030387	-0.0034147	0.060825	0.049683	-0.0037937	0.083449
-0.082795	0.15968	-0.10306	-0.060626	0.059027	0.0062745

WTI correlogram
Portmanteau statistic for 12 lags and 157 observations: 6.878
Autocorrelation coefficients

-0.010875	0.0057436	0.060415	0.050648	0.0088163	0.044861
-0.043545	0.12937	-0.091678	-0.064004	0.044023	0.011072

Normality test for Brent
Sample size 157: 1988 (7) to 2001 (7)

Mean	0.000028
Std.Devn.	1.519015
Skewness	0.435172
Excess Kurtosis	4.548432
Minimum	-6.500089
Maximum	6.906646

Normality $\chi^2(2) = 64.545$ [0.0000] **
(asymptotic form of normality test: 140.29)

Normality test for WTI
Sample size 157: 1988 (7) to 2001 (7)

Mean	0.000022
Std.Devn.	1.421896
Skewness	0.558717
Excess Kurtosis	3.758382
Minimum	-5.560118
Maximum	6.554742

Normality $\chi^2(2) = 44.018$ [0.0000] **
(asymptotic form of normality test: 100.57)

Testing Brent for ARCH from lags 1 to 1
 $\chi^2(1) = 14.084$ [0.0002] ** and F-form(1,2) = 0.19848 [0.6995]

ARCH Coefficients:

	Constant	Lag 1
Coeff.	1.623	0.3004
Std.Err	4.287	0.6743

RSS = 4977.32 \sigma = 49.8865

Testing WTI for ARCH from lags 1 to 1
 $\chi^2(1) = 14.476$ [0.0001] ** and F-form(1,2) = 0.20457 [0.6954]

Figura 5.7. – Alguns parâmetros relevantes do modelo de regressão dinâmica.

O U de Theil calculado para a previsão ex-ante no período de um ano é mostrado na Tabela 5.3. (valor 0,2451). Convém aduzir que o U de Theil calculado sobre o período de simulação dinâmica (valores reais versus valores ajustados pelo modelo de Brent e WTI) indicam um U de Theil de 0,2334.

A Figura 5.14. mostra o gráfico da previsão dos preços dos óleos para dois anos à frente (forecast ex-post), efetuada pelo PCFiml® com base no Modelo de Regressão Linear Dinâmica nº 47, conforme indicado em 5.6.1.

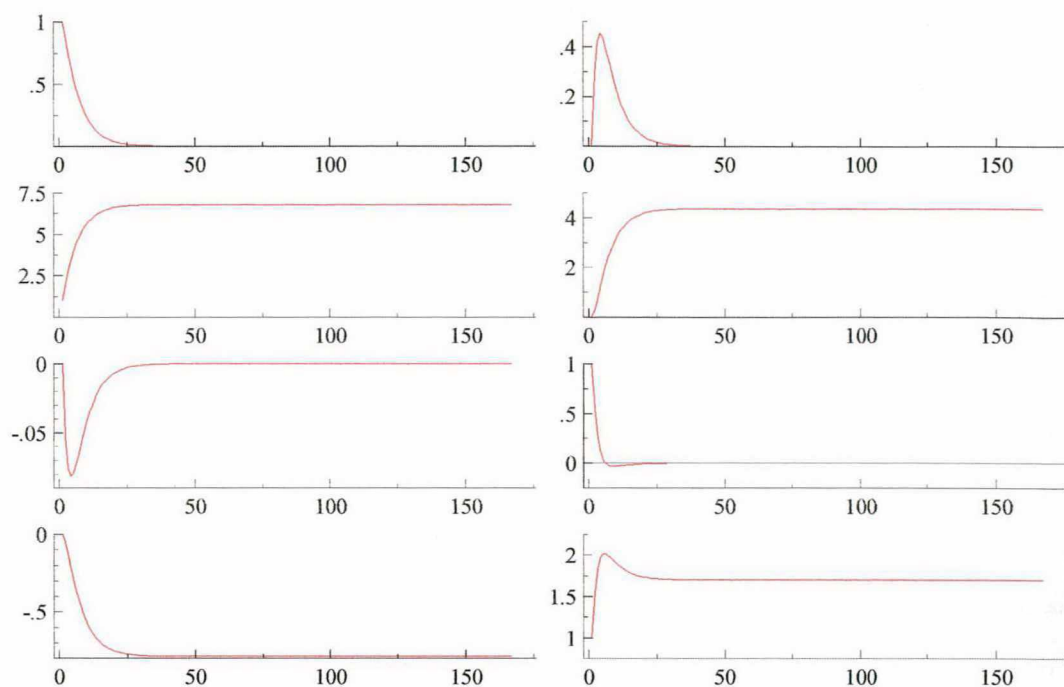


Figura 5.8. – Gráficos recursivos do modelo.

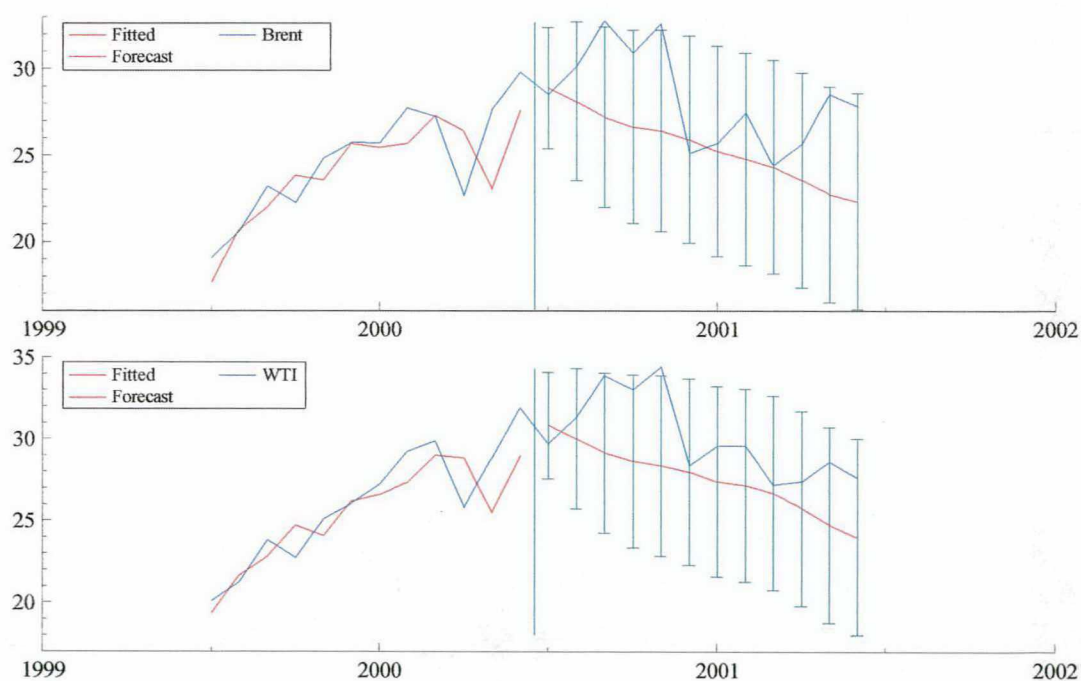


Figura 5.9. - Gráfico da previsão ex-ante dos valores de WTI e Brent no período de agosto de 2000 a julho de 2001.

Vale ainda ressaltar que as previsões indicam a continuação de um período de baixa, em termos gerais, das cotações dos óleos, iniciado em novembro de 2000, e

que se supõe prosseguir até pelo menos julho de 2003, exceto por spikes e rallies isolados que podem ocorrer em resposta a eventos imprevisíveis no cenário energético internacional e que devem ser, por sua própria natureza, eventos de curta duração e de impacto localizado no tempo.

5.9. CONCLUSÕES.

O modelo de regressão linear dinâmica apresentado em 5.6.1 e analisado criticamente em 5.6.2. representa o resultado da modelagem mais aderente que se obteve com a utilização das variáveis exógenas indicadas em 5.5., atendendo-se aos critérios técnicos, com a minimização dos erros normalmente calculados em estatística e do U de Theil, e aos critérios empresariais, envolvendo o julgamento de valor das previsões obtidas, e sendo tal julgamento efetuado por uma equipe de previsores de órgãos específicos da Petrobras.

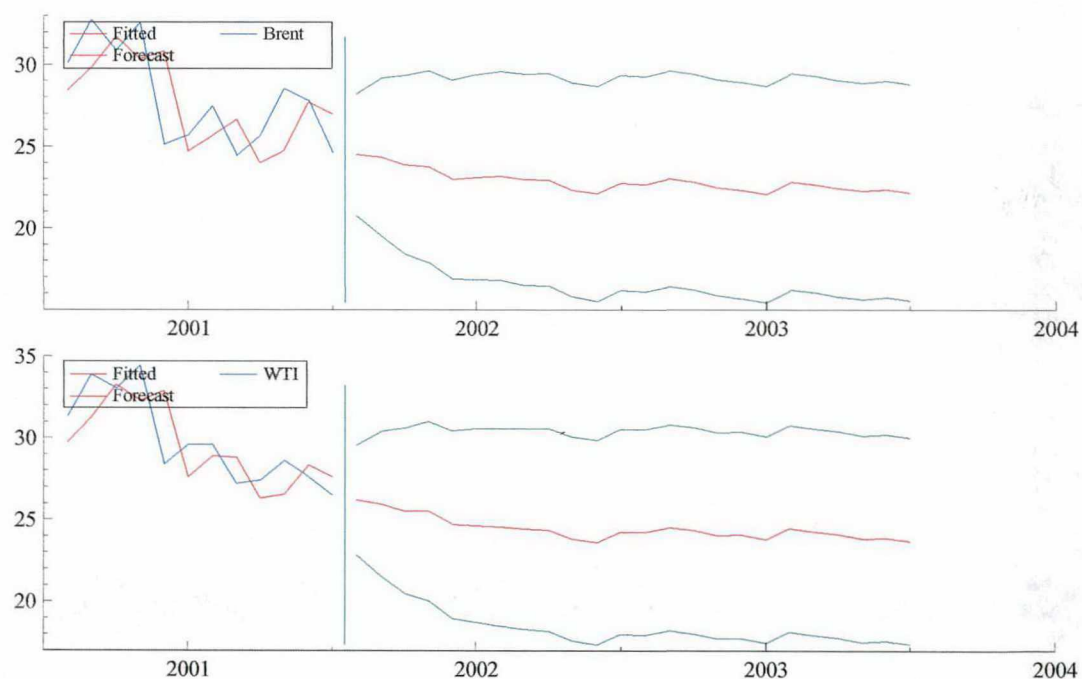


Figura 5.10. – Previsão dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent de agosto de 2001 a julho de 2003, utilizando-se o Modelo de Regressão Linear Dinâmica #47, com bandas de previsão com 95% de confiabilidade.

Month	actual Brent	actual WTI	actual WTI-Brent	Dynamic Forecast Brent	Dynamic Forecast WTI	Dynamic Forecast WTI-Brent
Jun-99	15.820	17.900	2.08000	15.17152	17.00657	1.83505
Jul-99	19.030	20.080	1.05000	18.87079	19.81276	0.94197
Aug-99	20.310	21.270	0.96000	20.11633	21.00883	0.89250
Sep-99	22.480	23.880	1.40000	22.18944	23.13651	0.94707
Oct-99	22.010	22.690	0.68000	21.64083	22.63106	0.99023
Nov-99	24.690	24.880	0.19000	24.39598	24.34894	-0.04704
Dec-99	25.570	26.110	0.54000	25.89665	27.97825	2.08160
...
Jan-01	25.66000	29.56000	3.90000	25.21787	28.37939	3.16152
Feb-01	27.45000	29.56000	2.11000	27.77561	29.15175	1.37614
Mar-01	24.42000	27.18000	2.76000	24.31813	27.67545	3.35732
Apr-01	25.66000	27.40000	1.74000	25.55154	27.73624	2.18470
May-01	28.51000	28.61000	0.10000	28.69832	28.73250	0.03418
Jun-01	27.83000	27.57000	-0.26000	27.32696	27.99779	0.67083
Jul-01	24.58000	26.44000	1.86000	24.33498	26.65210	2.31712
Theil's U				0.23433	0.24112	0.24541

Tabela 5.7. – Forecast ex-ante obtido pelo modelo de regressão dinâmica, cálculo de U de Theil.

O modelo foi construído em consonância com as técnicas mais aceitas na área de previsão de preços e submetido a uma análise prática “de campo”, estando em utilização na área de MFE (Mercado Futuro de Energia) do segmento de Comercialização Exterior da unidade de Abastecimento – Marketing e Comercialização da Petrobras. Apresenta, portanto, aplicação prática no âmbito da empresa, e, com sua utilização, admitindo-se uma precisão média da ordem de 75% na previsão dos valores dos óleos referenciais WTI e Brent, é esperada a obtenção de uma economia de cerca de US\$ 60 milhões mensais no orçamento de Logística Inbound de uma companhia do porte da Petrobras, nas atividades de aquisição de petróleo com preços referenciados aos óleos benchmarking WTI e Brent. Tal valor é calculado considerando-se a captura de aproximadamente 75% de acertos nas decisões de compra de petróleos, fixando-se o referencial mais adequado, para um valor de óleos referenciais da ordem de US\$ 35/bbl, e levando-se em consideração uma importação média de 400 mil barris por dia.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

Conforme visto ao longo da presente dissertação de mestrado, o problema logístico cuja solução se buscou foi a previsão dos preços dos óleos “benchmarking” no mercado internacional, WTI e Brent, visando obter maior confiabilidade no forecasting dos valores dos óleos e portanto fornecer maior suporte quanto à decisão logística envolvendo a aquisição de petróleo para processamento.

O Capítulo 2 fornece uma descrição sucinta da estrutura logística da indústria internacional do petróleo, mostrando os três grandes elos do supply chain, o “upstream”, ou área de exploração e produção de crus; o “midstream”, ou segmento de refino / processamento de óleos para a geração de derivados; e o “downstream”, ou atividade de distribuição dos produtos de petróleo. Esta descrição é necessária para o perfeito entendimento do problema de suprimento e abastecimento com que se defronta o logístico inbound na indústria internacional do petróleo ao decidir quanto à aquisição de óleos de similar qualidade submetidos a diferentes mecanismos de preços, vinculados a Brent ou WTI. Ainda neste capítulo, bem como no Capítulo 1, é demonstrada a importância financeira, para a empresa, da decisão correta quanto a qual vinculação de preço de óleo utilizar-se para a compra de petróleo a curto e médio prazos. Especificamente no caso da Petrobras, a diferença entre a decisão correta e uma decisão inadequada na vinculação referencial a preços de petróleos “benchmarking” pode representar uma economia (ou um gasto adicional) da ordem de US\$ 82 milhões mensais, ou quase US\$ 1 bilhão anuais, cerca de 20% do orçamento de aquisição de petróleo cru. Considerando-se, por outro lado, uma situação típica, como por exemplo o caso da empresa Coastal Corporation, que adquire e processa 100 mil barris por dia (bpd) de crus para sua refinaria de Corpus Christi, Texas, a diferença entre a decisão adequada e uma decisão insatisfatória, quanto ao referencial de preços a utilizar nos petróleos que esta adquire, pode vir a representar um montante da ordem de US\$ 20 milhões mensais num orçamento de US\$ 105 milhões mensais para a aquisição de petróleo, considerado ao preço básico de US\$ 35 por barril. Daí a importância financeira, no âmbito da indústria do petróleo, da previsão confiável e aderente dos preços dos óleos referenciais, ou marcadores, o que justifica a elaboração da presente dissertação.

No Capítulo 3 é resumida a história da evolução das técnicas de previsão, apresentam-se os métodos mais utilizados e faz-se uma revisão da literatura no que tange aos processos de forecasting.

O Capítulo 4 apresenta o tratamento do problema de previsão em diversas empresas da indústria do petróleo, em particular no caso da Petrobras, e avalia-se o estado da arte na teoria da previsão.

O modelo selecionado, de regressão dinâmica, ou função de transferência, é apresentado no Capítulo 5, com seus respectivos testes de aderência e comentários quanto às limitações e aplicabilidade da modelagem desenvolvida.

6.1. CONCLUSÕES.

As conclusões obtidas na presente dissertação são a seguir resumidas e sumarizadas.

6.1.1. Seleção do modelo de previsão.

De acordo com o exposto no Capítulo 5, e em consonância com [MAKRIDAKIS, 1998], tem-se que nem sempre um modelo de previsão sofisticado apresenta melhores resultados que um modelo simples. Por esta razão, o problema em tela, qual seja, a previsão dos preços dos óleos marcadores WTI e Brent, foi inicialmente analisado sob o enfoque univariado, sendo modelado segundo as técnicas de decomposição clássica, Holt-Winters e ARIMA. Um modelo ARIMA (1,0,1) é considerado adequado para a previsão dos preços dos petróleos; no entanto, o modelo multivariado de regressão dinâmica oferece maior aderência, sendo superior em termos de previsões tanto ex-post como ex-ante, apresentando ainda um U de Theil mais adequado, da ordem de 0,24 para a previsão da variável endógena WTI-Brent. Um modelo ARIMA (1,0,1) fornece, para a mesma previsão, um U de Theil da ordem de 0,33. Destarte, justifica-se, no caso presente, a utilização de um modelo mais sofisticado. [MAKRIDAKIS, 1998] apresenta uma tabela comparativa da aderência de previsões realizadas com diferentes modelos, como decomposição clássica, Holt, Holt-Winters, regressão linear e outros, e analisa a adequação dos modelos em termos de U de Theil, concluindo que um U de Theil inferior a 0,3 pode

ser considerado excelente em termos de aderência do modelo aos valores passados da série histórica.

Como já enfatizado nos Capítulos 3 e 4, a análise do problema globalmente considerado indica, para o presente caso, a utilização de uma abordagem linear para a previsão dos preços dos crus “benchmarking”, qual seja a modelagem através de regressão linear dinâmica, ou função de transferência.

O método linear de regressão dinâmica, conforme já discutido nos Capítulos 1, 3, 4 e 5, oferece uma grande vantagem em relação aos processos univariados: as previsões, além de estarem correlacionadas com valores anteriores observados dos preços dos óleos referenciais, também se correlacionam com outros parâmetros cuja influência sobre os preços dos petróleos se deseja investigar, tais como variáveis da indústria do petróleo, variáveis macroeconômicas e variáveis relativas a formas alternativas de energia, como a nuclear, hídrica, gás natural e carvão.

Sem embargo, conforme visto no Capítulo 4, a seleção de um modelo de regressão dinâmica está em linha com a prática de muitas corporações da indústria do petróleo, que, para efeitos de previsão, utilizam modelos de mesma natureza.

No estudo do problema em tela, dadas as variáveis endógenas ou explicadas Brent e WTI (sendo recorrente o diferencial WTI-Brent), foram selecionados inicialmente, como variáveis exógenas ou explicativas, cinco parâmetros da indústria do petróleo, oito parâmetros macroeconômicos a nível mundial e doze parâmetros correspondentes a fontes alternativas de energia, como indicado no Capítulo 5.

Posteriormente, a estimação do modelo, efetuada com os pacotes computacionais PCGive® e PCFiml®, demonstrou que os preços do Gás Natural, tanto nos EUA como na Europa e no Japão, eram irrelevantes para a modelagem pretendida, bem como o Consumo de Energia Hidrelétrica e a Inflação. Ficou-se, portanto, com um modelo de regressão dinâmica envolvendo duas variáveis endógenas e vinte variáveis exógenas.

6.1.2. Aplicabilidade do modelo.

O modelo desenvolvido na presente dissertação, em função de seu conceito, estrutura e dos níveis de aderência obtidos, é aplicável à previsão de preços de

petróleos a curto e médio prazos, aí entendidos horizontes desde um mês até dois anos à frente.

De acordo com [MAKRIDAKIS, 1998], inúmeros problemas afetam as previsões de longo prazo, principalmente tendo em vista as variáveis de intervenção que podem surgir e as mudanças de cenários que alteram as premissas em que se baseia o modelo de forecasting. Portanto, não se recomenda a extrapolação dos resultados de previsão a horizontes mais longos que dois anos.

Por outro lado, em horizontes bastante próximos no tempo (períodos inferiores a 30 dias), o modelo tende a não capturar adequadamente as componentes de curtíssimo prazo, uma vez que está fundamentado em variáveis cuja medição e efeito se desenrola no curto, médio e longo prazos, como os parâmetros macroeconômicos, e fatores inerentes à indústria do petróleo e ao mercado de energias alternativas. Deste modo, a aplicabilidade do modelo é definida em períodos de um a vinte e quatro meses à frente.

Os testes do modelo de função de transferência indicam uma aderência adequada dos valores ajustados pela função de transferência com os preços reais do passado (forecast ex-ante) e as previsões efetuadas para dois anos à frente também são julgadas consistentes por um grupo de especialistas em mercados futuros de energia da Petrobras. Os erros, medidos por MSE, MAPE e, principalmente, U de Theil, apresentam resultados satisfatórios para as finalidades a que se destina o modelo de função de transferência.

6.1.3. Restrições do modelo.

Apesar de os resultados de aderência terem sido considerados adequados e satisfatórios, o modelo apresentado nesta dissertação não deverá ser utilizado isoladamente na previsão de preços de petróleos. Considerando-se a cultura da Petrobras na área de previsões, conforme indicado no Capítulo 4, o modelo deve ser visto como uma ferramenta auxiliar ao processo subjetivo, ou qualitativo, de forecasting, funcionando como referência e suporte às conclusões da equipe de previsores da MFE (Área de Mercado Futuro de Energia) da Petrobras. Esta, aliás, é a tendência dominante entre as corporações da indústria do petróleo, onde normalmente as previsões quantitativas são cotejadas com previsões qualitativas, a

cargo de uma equipe de profissionais experientes, e a decisão final advém de um somatório de informações geradas por modelos técnicos de previsão e por conclusões baseadas na análise fundamentalista do mercado.

Além das restrições conceituais de utilização do modelo, devem-se mencionar ainda as restrições de horizonte das previsões. Pelos motivos aduzidos em 6.1.2., a aplicação adequada do modelo corresponde a horizontes de previsão de um a vinte e quatro meses à frente.

Cabe ainda destacar que o estudo efetuado, de natureza teórica, com base na revisão da literatura e da análise do estado da arte em técnicas avançadas de previsão, e de natureza prática, através da pesquisa a respeito do tratamento do problema em outras empresas da indústria do petróleo, não se completa com a utilização do modelo de regressão dinâmica ajustado nesta dissertação. Para uma análise mais abrangente da questão, o problema da previsão dos preços dos óleos “benchmarking” WTI e Brent deveria ainda ser modelado por uma técnica não linear, sendo o mais recomendado, no caso em pauta, o processo de redes neurais. A modelagem com esta técnica não foi desenvolvida no presente trabalho por questões de exiguidade de tempo para apresentação e defesa da dissertação; entretanto, recomenda-se, para o futuro, a utilização da modelagem por redes neurais para uma análise mais profunda e abrangente do problema.

6.2. RECOMENDAÇÕES.

As recomendações sugeridas pelo presente trabalho são basicamente de duas naturezas distintas: a primeira diz respeito às condições de utilização do modelo de regressão dinâmica no ambiente empresarial da Petrobras, enquanto que a segunda refere-se à continuidade do trabalho de previsão ora desenvolvido.

6.2.1. Utilização do modelo no ambiente empresarial da Petrobras.

O modelo de regressão dinâmica encontra-se em utilização, desde julho próximo passado, na Área de Mercado Futuro de Energia da Petrobras, sendo operado por pessoal especializado em análise de mercados e projeção de preços de óleos e derivados. Na atual estrutura organizacional da Companhia, tal área encontra-se

posicionada no segmento de Comércio Externo da unidade Abastecimento – Marketing e Comercialização, conforme mostra a Figura 6.1.



Figura 6.1. – Organograma da Unidade Organizacional Marketing e Comercialização da Petrobras.

Fonte: Petrobras, 2001.

As previsões geradas pelo modelo são cotejadas com as conclusões de analistas de preços e mercados que trabalham basicamente utilizando o feeling e a experiência no cenário internacional de energia e com fundamentos do mercado. Tais analistas são, na estrutura organizacional da empresa, os responsáveis pelas previsões oficiais da Petrobras em termos de preços de crus e produtos. Até o presente momento, as previsões obtidas com o modelo (médias mensais de cotações de WTI e Brent nos meses de julho e agosto) vem sendo consideradas satisfatórias pelos analistas da área.

O U de Theil obtido das previsões ex-post para o período de um ano, da ordem de 0,25, permite inferir que o modelo apresentado deverá auxiliar sobremaneira na política decisória do logístico inbound quanto à escolha da referência de preço a utilizar no processo de aquisição de petróleo. Como visto nos Capítulos 1 e 5, a diferença entre a decisão correta e uma decisão inadequada na

seleção da base referencial de compra de petróleo pode representar, no caso específico da Petrobras, uma economia de US\$ 82 milhões mensais no orçamento de aquisição de matéria prima. Transportada para a escala de uma companhia típica da indústria, como The Coastal Corporation, tal economia seria da ordem de US\$ 20 milhões mensais.

O processo de utilização prática do modelo é de gradual implementação no âmbito da Petrobras. Os dados de entrada referentes às variáveis exógenas vem sendo atualizados por pessoal especializado da MFE, bem como o emprego do pacote computacional PCFiml® e a análise das informações de saída (módulo Result do GiveWin® e módulos gráficos do PCFiml® e do GiveWin®). A comparação entre as previsões fornecidas pelo modelo, as previsões definidas, por critérios qualitativos, pela equipe de especialistas em mercado, e os resultados reais observados, vem sendo conduzida permanentemente pela MFE.

6.2.2. Extensão da análise.

De acordo com o exposto em capítulos anteriores, o problema logístico em tela, qual seja o problema de prever-se o comportamento num tempo futuro dos preços dos óleos referenciais WTI e Brent, e, por extensão, do diferencial de preços entre estes dois marcadores, foi analisado, no âmbito da presente dissertação, sob dois enfoques distintos.

O primeiro enfoque, ou aspecto técnico-científico, diz respeito à seleção de um modelo de previsão com base na revisão da literatura e no estado da arte dos processos de previsão. Mais acadêmico, este enfoque recomendou a adoção, como detalhadamente discutido no Capítulo 4, de um modelo de regressão linear dinâmica, função de transferência ou períodos distribuídos (distributed lags) para estudar o fenômeno.

O segundo enfoque, ou aspecto empresarial, concerne ao estudo do que, em matéria de previsão de preços de petróleos e derivados, é usualmente praticado por corporações típicas da indústria do petróleo, aí se incluindo a Petrobras. A pesquisa efetuada junto a um número representativo de companhias de petróleo, entidades de assessoria e consultoria e institutos de pesquisa na área de preços de energia no cenário internacional demonstrou que o método acima referenciado, de regressão

dinâmica, é largamente utilizado para previsão em empresas da indústria, embora não seja empregado por todas as companhias e algumas lancem mão de métodos diferentes (Capítulo 4). De modo geral, há um consenso na indústria de que tal método modela adequadamente a realidade, e apresenta uma satisfatória relação custo / benefício.

Outra recomendação diz respeito à continuidade necessária à análise de preços e mercados ora apresentada. Para que o trabalho tenha sua utilidade prática ampliada no âmbito do Sistema Petrobras, num ambiente empresarial, é importante desenvolver uma sistemática de procedimentos visando o gerenciamento do processo de previsão de preços para a Petrobras. O gerenciamento de previsões, vinculado a sistemas de informações gerenciais, constitui-se numa área científica de desenvolvimento muito recente. Encontra-se em fase de plena expansão, com um acervo de literatura já razoavelmente desenvolvido. Este tema pode vir a ser objeto de uma futura Tese de Doutorado, em continuação ao trabalho implementado na presente Dissertação de Mestrado, e, dentro de um enfoque empresarial moderno, seria de notável utilidade para o Sistema Petrobras.

Fontes Bibliográficas

AKAIKE, Hirotugu. The Practice of Time Series Analysis (Statistics for Engineering and Physical Science). New York: Springer-Verlag, 1999.

AKAIKE, Hirotugu. Selected Papers of Hirotugu Akaike (Springer Series in Statistics). New York: Springer Verlag, 1998.

AKAIKE, Hirotugu. Statistical Analysis and Control of Dynamic Systems (Mathematics and Its Applications). New York: Kluwer Academic Publishers, 1989.

ALLEN, Jonathan W. Practical Problems in Forecasting Economic Time Series. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999.

ANDERSON, Theodore W. The Statistical Analysis of Time Series. New York: Wiley-Interscience, 1999.

ANTHONY, Martin. Discrete Mathematics of Neural Networks : Selected Topics (Siam Monographs on Discrete Mathematics and Applications). New York: Springer Verlag, 1998.

BAGDASAROV, Sergei. Chebyshev Splines and Kolmogorov Inequalities (Operator Theory, Advances and Applications, Vol 105). New York: Springer Verlag, 1998.

BALLOU, Ronald H. Business Logistics Management. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1993.

BARTLETT, Peter L. Neural Network Learning: Theoretical Foundations. New York: Springer Verlag, 1998.

BECK, Robert J. Worldwide Petroleum Industry Outlook. (17th Ed). Londres: Pennwell Publications; 2000.

BECK, Robert J. Worldwide Petroleum Industry Outlook : 1999-2003 Projection to 2008. (15th Ed). Londres: Pennwell Publications; 1998.

BODINGTON, Charles C. Designing and Managing the Supply Chain : Concepts, Strategies, and Cases. New York: John Wiley & Sons, 2001.

BOSE, Deb. Neural Networks. Stamford: International Thomson Publishing, 2000.

BOWERSOX, Donald J. Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process. New York: McGraw Hill College Div, 1996.

BOX, George E. P. Time Series Analysis: Forecasting & Control. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1994.

BOX, George E. P. Bayesian Inference in Statistical Analysis (Wiley Classics Library). New York: John Wiley & Sons, 1994.

CHEN, C. H. Applied Time Series Analysis : Proceedings of the IEEE International Workshop, Beijing, 9 August 1998. Los Angeles:World Scientific Publishing Company, 1999.

CHUI, Charles K. Approximation Theory and Functional Analysis. San Francisco: Academic Press, 1999.

CHUI, Charles K. Multivariate Splines (Cbms-Nsf Regional Conference Series in Applied Mathematics, No 54). Philadelphia: Society for Industrial & Applied Mathematics, 1988.

CHUI, Charles K. Wavelets : A Tutorial in Theory and Applications (Wavelet Analysis and Its Applications, Vol 2). San Francisco: Academic Press, 1987.

CLEMENTS, Michael. Forecasting Economic Time Series. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999.

CLEMENTS, Michael. Forecasting Non-Stationary Economic Time Series (Zeuthen Lecture Series). Cambridge, MA: MIT Press, 1998.

COLITTI, Marcello. Perspectives of Oil and Gas : The Road to Interdependence. New York: Kluwer Academic Publishers, 1996.

DIKS, Cees. Nonlinear Time Series Analysis : Methods and Applications (Nonlinear Time Series and Chaos). Los Angeles:World Scientific Publishing Company, 2000.

DONALD, Bruce. Symbolic and Numerical Computation for Artificial Intelligence (Computational Mathematics and Applications Series). San Francisco: Academic Press, 1999.

ECONOMIDES, Michael. The Color of Oil : The History, the Money and the Politics of the World's Biggest Business. New York: Round Oak Publishing Company, 2000.

FINE, Terrence L. Feedforward Neural Network Methodology (Springer Series in Statistics). New York: Springer Verlag, 1999.

FOMBY, Thomas B. Advances in Econometrics : A Research Annual : Nonparametric and Robust Inference. New York: JAI Press, 1989.

FOMBY, Thomas B. Advances in Econometrics : A Research Annual : Computation and Simulation. New York: JAI Press, 1987.

FOMBY, Thomas B. Messy Data - Missing Observations, Outliers, and Mixed-Frequency Data. New York: JAI Press, 1998.

FRANSES, Philip Hans. **Time Series Models for Business and Economic Forecasting**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2000.

FRANSES, Philip Hans. **Non-Linear Time Series Models in Empirical Finance**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999.

GARDNER, William A. **Statistical Spectral Analysis : A Non-Probabilistic Theory (Prentice Hall Information and System Sciences Series)**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1985.

GATELY, Edward. **Forecasting Profits Using Price & Time (Wiley Trader's Exchange)**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GATELY, Edward. **Neural Networks for Financial Forecasting (Wiley Trader's Advantage Series)**. New York: John Wiley & Sons, 1995.

GHOSH, Subir. **Asymptotics, Nonparametrics, and Time Series : A Tribute to Madan Lal Puri (Statistics, Textbooks and Monographs, V. 158)**. Londres: Marcel Dekker, 1999.

GRANGER, C. W. J. **Empirical Modelling in Economics: Specification and Evaluation**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1977.

GRIFFITH, N. **Mathematics of Models : Continuous and Discrete Dynamical Systems**. New York: Springer Verlag, 1995.

HAMOUDA, O. F. **Probability Concepts, Dialogue and Beliefs (Foundations of Probability, Econometrics and Economic Games Series, 4)**. Londres: Edward Elgar Publications, 1999.

HAMOUDA, O. F. **Econometric Exploration and Diagnosis (Foundations of Probability, Econometrics and Economic Games Series, 6)**. Londres: Edward Elgar Publications, 1999.

HAMOUDA, O. F. **Time Series Models, Causality and Exogeneity (Foundations of Probability, Econometrics and Economic Games Series, 8)**. Londres: Edward Elgar Publications, 1999.

HANNESSON, Rognvaldur. **Investing for Sustainability : The Management of Mineral Wealth**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2001

HANNESSON, Rognvaldur. **Petroleum Economics**. Philadelphia: Quorum Books, 1998.

HENDRY, David F. **Forecasting Economic Time Series**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1998.

HENDRY, David F. **Forecasting Non-Stationary Economic Time Series (Zeuthen Lecture Series)**. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.

HILL, R. Carter. **Applying Kernel and Nonparametric Estimation to Economic Topics (Advances in Econometrics, Vol 14)**. New York: JAI Press, 2000.

HILL, R. Carter. **Advances in Econometrics : Bayesian Methods Applied to Time Series Data (Advances in Econometrics, Vol. 11 Part B)**. New York: JAI Press, 1984.

JOHNSON, Richard Arnold. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New York: Springer Verlag, 2001.

KANTZ, Holger. **Nonlinear Time Series Analysis (Cambridge Nonlinear Science Series, 7)**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999.

KEHAGIAS, Athanasios. **Predictive Modular Neural Networks : Applications to Time Series (Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, Secs 466)**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000.

KENDALL, W. S. **Current Trends in Stochastic Geometry; Likelihood and Computation**. Warwick, Coventry, UK: CRC Press, 1998.

KLEINER, Art. **Oil Change : Perspectives on Corporate Transformation (The Learning History Library)**. New Jersey: Getty Center for Education in the Arts, 2000.

KRYLOV, N. V. **Stochastic Pde's and Kolmogorov Equations in Infinite Dimensions : Lectures Given at the 2nd Session of the Centro Internazionale Matematico Estivo**. New York: Springer Verlag, 1999.

KUCHLER, Uwe. **Exponential Families of Stochastic Processes (Springer Series in Statistics)**. New York: Springer Verlag, 1997.

LAMBERT, Douglas M. **Strategic Logistics Management (The McGraw-Hill / Irwin Series in Marketing)**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2000.

LAMBERT, Douglas M. **Fundamentals of Logistics**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 1998.

LEE, Peter M. **Bayesian Statistics: An Introduction**. Berkeley: Edward Arnold, 1999.

LEONDES, Cornelius T. **Algorithms and Architectures (Neural Network Systems Techniques and Applications Series , Vol 1)**. San Francisco: Academic Press, 1998.

LEWIS, Adrian S. **Convex Analysis and Nonlinear Optimization : Theory and Examples (Cms Advanced Books in Mathematics)**. New York: Springer Verlag, 1999.

- MAKRIDAKIS, Spyros G. **Forecasting : Methods and Applications**. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- MAKRIDAKIS, Spyros G. **Forecasting, Planning and Strategy for the 21st Century**. New York: Free Press, 1993.
- MAKRIDAKIS, Spyros G. **The Forecasting Accuracy of Major Time Series Methods**. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- MARSHALL, I. N. **Who's Afraid of Schrodinger's Cat : An A-To-Z Guide to All the New Science Ideas You Need to Keep Up With the New Thinking**. Londres: Quill, 1998.
- McCLEARY, John. **A User's Guide to Spectral Sequences (Cambridge Studies in Advanced Mathematics , No 58)**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- McDOWALL, David. **Interrupted Time Series Analysis**. San Francisco: Academic Press, 1980.
- McGEE, M. **An Introduction to Time Series Analysis and Forecasting: with Applications of SAS and SPSS**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- MILLS, Terence C. **The Econometric Modelling of Financial Time Series**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999.
- MØLLER, Charles. **Logistics Concept Development – Toward a Theory for Designing Effective System**. A Ph. D. Thesis from the Department of Production, University of Aalborg. Aalborg: University of Aalborg, 1995.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to Linear Regression Analysis, 3rd Edition**. Wiley Series in Probability and Statistics. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- MUELLER, Alessandro. **Previsão de Preços de Algumas Ações Seleccionadas na Bolsa de Valores de São Paulo com a Utilização do Método de Redes Neurais**. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC, 1996.
- NASRABADI, Nasser M.; KATSAGGELOS, Aggelos K. **Applications of Artificial Neural Network**. Denver, CO: Society of Instrumentation Engineers, 1998.
- PANKRATZ, Alan. **Forecasting with Dynamic Regression Models**. New York: Wiley-Interscience, 1991.
- PANKRATZ, Alan. **Forecasting With Univariate Box-Jenkins Models : Concepts and Cases**. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- PARKS, T. W. **DFT/FFT and Convolution Algorithms and Implementation**. New York: Wiley-Interscience, 1998.

PARZEN, Emanuel. **Modern Probability Theory and Its Applications (Wiley Classics Library)**. New York: Wiley-Interscience, 1998.

PARZEN, Emanuel. **Stochastic Processes (Classics in Applied Mathematics, 24)**. Philadelphia: Society for Industrial & Applied Mathematics, 1999.

PETRIDIS, Vassilios. **Predictive Modular Neural Networks : Applications to Time Series (Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, Secs 466)**. New York: Kluwer Academic Publishers, 1998.

POLLOCK, D. S. G. **A Handbook of Time-Series Analysis, Signal Processing and Dynamics**. San Francisco: Academic Press, 1999.

PURI, Madan Lal. **Asymptotics, Nonparametrics, and Time Series**. Londres: Marcel Dekker, 1999.

ROSENBLATT, Murray. **Gaussian and Non-Gaussian Linear Time Series and Random Fields (Springer Series in Statistics)**. New York: Springer Verlag, 2000.

ROTHMAN, Philip. **Nonlinear Time Series Analysis of Economic and Financial Data (Dynamic Modeling and Econometrics in Economics and Finance, V. 1)**. New York: Kluwer Academic Publishers, 1999.

ROTHMAN, Philip. **Stationary Sequences and Random Fields**. New York: Springer Verlag, 1985.

ROWLEY, J. C. R. **Probability Concepts, Dialogue and Beliefs (Foundations of Probability, Econometrics and Economic Games Series, 4)**. Londres: Edward Elgar Publications, 1999.

ROWLEY, J. C. R. **Econometric Exploration and Diagnosis (Foundations of Probability, Econometrics and Economic Games Series, 6)**. Londres: Edward Elgar Publications, 1999.

ROWLEY, J. C. R. **Time Series Models, Causality and Exogeneity (Foundations of Probability, Econometrics and Economic Games Series, 8)**. Londres: Edward Elgar Publications, 1999.

SAATY, Thomas L. **The Brain: Unraveling the Mystery of How it Works (The Neural Network Process)**. Boston: RWS Publications, 1999.

SAATY, Thomas L. **Modern Nonlinear Equations**. Boston: Dover Publications, 1999.

SAMOHYL, Robert Wayne. **Introdução à Estatística Aplicada em Engenharia de Produção**. Apostila. Florianópolis: UFSC, 2001.

SAMOHYL, Robert Wayne. **Previsão em Engenharia de Produção – Regressão Dinâmica**. Apostila. Florianópolis: UFSC, 2001.

SCHREIBER, Thomas. **Nonlinear Time Series Analysis (Cambridge Nonlinear Science Series, 7)**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999.

SHUMWAY, Robert H. **Time Series Analysis and Its Applications (Springer Texts in Statistics)**. New York: Springer Verlag, 2000.

STEVENS, Paul. **Oil and Gas Dictionary**. Great Falls, MI: Nichols Publishing Company, 1998.

VAN DER LINDE, Coby. **The State and the International Oil Market : Competition and the Changing Ownership of Crude Oil Assets (Studies in Industrial Organization, Vol 23)**. New York: Kluwer Academic Publishers, 1999.

VAN DER LINDE, Coby. **Dynamic International Oil Markets : Oil Market Developments and Structure, 1860-1990 (Studies in Industrial Organizations, Vol. 15)**. New York: Kluwer Academic Publishers, 1992.

VANDAELE, Walter. **Applied Time Series and Box-Jenkins Models**. San Francisco: Academic Press, 1983.

VERE, D. **Introduction to the Theory of Point Processes (Springer Series in Statistics)**. New York: Springer Verlag, 1995.

VONK, E. **Automatic Generation of Neural Network Architecture Using Evolutionary Computation (Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory , Vol 14)**. Los Angeles: World Scientific Publishing Company, 1998.

WHEELWRIGHT, Steven C. **Forecasting : Methods and Applications**. New York: John Wiley & Sons, 1983.

WHITE, Halbert. **Cointegration, Causality, and Forecasting : A Festschrift in Honour of Clive W.J. Granger**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

YAFFEE, Robert A. **An Introduction to Time Series Analysis and Forecasting: with Applications of SAS and SPSS**. San Francisco: Academic Press, 2000.

YERGIN, Daniel. **The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power**. Baltimore: Touchstone Books, 1993.

YERGIN, Daniel. **The Commanding Heights: The Battle Between Government and the Marketplace That Is Remaking the Modern World**. New York: Simon & Schuster, 1999.

YERGIN, Daniel. **The Dependence Dilemma**. Lanham, MD: University Press of America, 1984.

Fontes da World Wide Web.

Fontes de dados estatísticos:

ANP - Agência Nacional do Petróleo: <http://www.anp.gov.br/>

API – American Petroleum Institute: <http://api-ec.api.org/frontpage.cfm>

BP-Amoco Corporation: <http://www.bp.com/index.asp>

Bureau of Transportation Statistics, US DOT:
<http://www.sddt.com/features/sourcebook>

Energy Information Administration: <http://www.eia.doe.gov/>

IEA - International Energy Agency: <http://www.iea.org/statist/index.htm>

IPAA - Independent Petroleum Association of America – Industry Statistics:
<http://www.ipaa.org/info/industrystats/>

Oak Ridge National Laboratory – Transportation Energy Data Book: <http://www-cta.ornl.gov/data/tedb20/Index.html>

Occupational Outlook Handbook: <http://stats.bls.gov/oco/ocoiaab.htm>

OECD: <http://webnet1.oecd.org/>

Pennsylvania Bureau of Research and Statistics:
<http://www.li.state.pa.us/brs/index.htm>

Petrobras: <http://www2.petrobras.com.br/index.htm>

SAE - Society of Automotive Engineers: <http://www.sae.org/servlets/index>

The Institute of Petroleum: <http://www.petroleum.co.uk/>

University of Bath: <http://www.bath.ac.uk/~masar/math0118/forecasting/node6.html>

US Census Bureau – Foreign Trade Statistics: <http://www.census.gov/foreign-trade/www/>

US Census Bureau International Database:
<http://www.bized.ac.uk/dataserv/idbsum.htm>

US Census Bureau Map Data: <http://www.gisdatadepot.com/>

US Census Bureau: <http://www.census.gov/>

US Department of Commerce, Economics and Statistics: <http://www.cdc.gov/>

US Department of Transportation – Federal Highway Administration:
<http://www.fhwa.dot.gov/ohim/ohimstat.htm>

WTO International Trade statistics: http://www.wto.org/res_e/statist_e/stat_toc_e.htm

Referências Gerais:

Chevron Corporation: <http://www.chevron.com/EXPLORE/>

Dissertation Express: <http://www.proquest.com/hp/Products/DisExpress.html>

Fortune Magazine: <http://www.fortune.com/>

Fossil Energy: <http://www.fe.doe.gov/>

L'Odissée: <http://www.elf.fr/odyssee/fr/index.htm>

MapBlast: <http://www.mapblast.com/myblast/index.mb>

Texas Oil & Gas Association: <http://www.txoga.org/>

United States Energy Association: <http://www.usea.org/>

WPC – World Petroleum Congress: <http://www.world-petroleum.org/>

Informações Complementares:

Exxon Corporation: http://www.exxon.com/index_flash.html

NPRA - National Petrochemical & Refiners Association: <http://www.npradc.org/>

Petroleum Industry Research Foundation, Inc.: <http://www.pirinc.org/>

Petroleum Industry Source Map:

http://www.lgcaltex.co.kr/source_map/petro/index.html

Petroleum.org - Industry Headquarters: <http://www.petroleum.org/>

Royal Dutch Shell: <http://www2.shell.com/home/Framework>

SIGMA - The Society of Independent Gasoline Marketers of America:

<http://www.sigma.org/>

TotalFinaElf: <http://www.totalfinaelf.com/ho/fr/science/index.htm>

Anexos

ANEXO I

What ^{is} crude OIL?

Step right up. In this bottle is a remedy of wonderful efficacy. Its curative powers are calculated to remove pain and alleviate human suffering and disease. Distilled 400 feet below the earth's surface, this remarkable liquid is Mother Nature's bounteous gift of healing. It is my pleasure - no, it is my duty - to bring this soothing restorative, this blessed ointment, this modern-day balm of Gilead to the public.

There were few takers of the 19th century elixir that came to be called "snake oil." It was one of the less successful uses of petroleum, but not the first to claim healing properties. Ancient Persians, 10th century Sumatrans and pre-Columbian Indians all believed that crude oil had medicinal benefits. Marco Polo found it used in the Caspian Sea region to treat camels for mange, and the first oil exported from Venezuela (in 1539) was intended as a gout treatment for the Holy Roman Emperor Charles V.



The mysterious oil that sometimes seeped to the earth's surface had other uses as well. In Mesopo-

tamia around 4000 B.C., bitumen - a tarry crude - was used as caulking for ships, a setting for jewels and mosaics, and an adhesive to secure weapon handles. Egyptians used it for embalming, and the walls of Babylon and the famed pyramids were held together with it. The Roman orator Cicero carried a crude-oil lamp. And, in North America, the Senecas and Iroquois used crude oil for body paint and for ceremonial fires.

Crude oil - as petroleum directly out of the ground is called - is a remarkably varied substance, both in its use and composition. It can be a straw-colored liquid or tar-black solid. Red, green and brown hues are not uncommon. The image of James Dean dripping with black oil from his Texas gusher in the 1956 movie "Giant" may have been compelling, but it's not descriptive of today's oil producers. For one thing, the days when a gusher signaled a big discovery are long gone. Since the 1930s, oil producers have used blowout preventers to stop gushers. In addition, not all crude oils behave in the Hollywood manner. Some flow about as well as cold peanut butter.

Until the late 19th century, an oil find often was met with disinterest or dismay. Pioneers who settled the American West dug wells to find water or brine, a source of salt; they were disappointed when they struck oil.



Several historical factors changed that. The kerosene lamp, invented in 1854, ultimately created the first large-scale demand for petroleum. (Kerosene first was made from coal, but by the late 1880s most was derived from crude oil.) In 1859, at Titusville, Penn., Col. Edwin Drake drilled the first successful well through rock and produced crude oil. What some called "Drake's Folly" was the birth of the modern petroleum industry. He sold his "black gold" for \$20 a barrel.

Petroleum was prized mostly for its yield of kerosene until the turn of the century. Gasoline was burned off, and bitumen and asphalt (the heavier parts of crude oil) were discarded. But gradually rising in importance were the incandescent light and the internal combustion engine. The former relied on oil-fired generating plants; the latter, on gasoline.

By the 1920s, crude oil as an energy source - not just as a curiosity - came into its own. But to many, it's still as mysterious as it was to ancient man. Even in the petroleum industry, most people never see crude oil.

Geologists generally agree that crude oil was formed over millions of years from the remains of tiny aquatic plants and animals that lived in ancient seas. There may be bits of brontosaurus thrown in for good measure, but petroleum owes its existence largely to one-celled marine organisms. As these organisms died, they sank to the sea bed. Usually buried with sand and mud, they formed an organic-rich layer that eventually turned to sedimentary rock. The process repeated itself, one layer covering another.

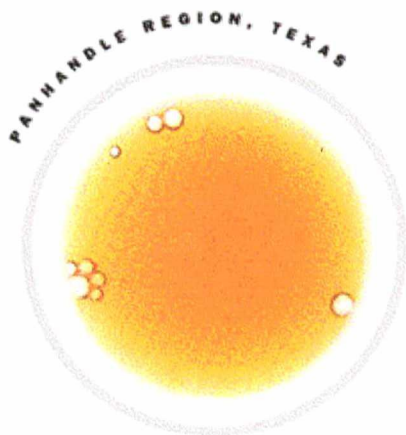


Then, over millions of years, the seas withdrew. In lakes and inland seas, a similar process took place with deposits formed of non-marine vegetation.

In some cases, the deposits that formed sedimentary rock didn't contain enough oxygen to completely decompose the organic material. Bacteria broke down the trapped and preserved residue, molecule by molecule, into substances rich in hydrogen and carbon. Increased pressure and heat

from the weight of the layers above then caused a partial distillation of the organic remnants, transforming them, ever so slowly, into crude oil and natural gas.

Although various types of hydrocarbons - molecules made of hydrogen and carbon atoms - form the basis of all petroleum, they differ in their configurations. The carbon atoms may be linked in a ring or a chain, each with a full or partial complement of hydrogen atoms. Some hydrocarbons combine easily with other materials, and some resist such bonding.



The number of carbon atoms determines the oil's relative "weight" or density. Gases generally have one to four carbon atoms, while heavy oils and waxes may have 50, and asphalts, hundreds.

Hydrocarbons also differ in their boiling temperatures - a key fact for refiners who separate the different components of crude oil by weight and boiling point. Gases, the lightest hydrocarbons, boil below atmospheric temperature. Crude oil components used to make gasoline boil in the range of

55 to 400 degrees Fahrenheit. Those used for jet fuel boil in the range of 300 to 550 degrees, and those for diesel, at about 700 degrees.

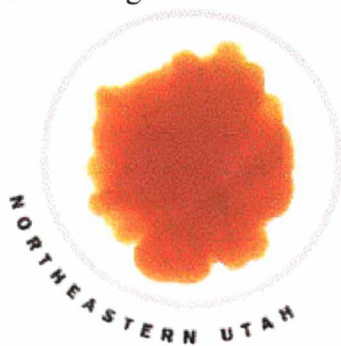
There are three essentials in the creation of a crude oil field:

- First, a "source rock" whose geologic history allowed the formation of crude oil. This usually is a fine-grained shale rich in organic matter.
- Second, migration of the oil from the source rock to a "reservoir rock," usually a sandstone or limestone that's thick and porous enough to hold a sizable accumulation of oil. A reservoir rock that's only a few feet thick may be commercially producible if it's at a relatively shallow depth and near other fields. However, to warrant the cost of producing in more challenging regions (the Arctic North Slope, for example) the reservoir may have to be several hundred feet thick.
- Third, entrapment. The earth is constantly creating irregular geologic structures through both sudden and gradual movements - earthquakes, volcanic eruptions and erosion caused by wind and water. Uplifted rock, for example, can result in domelike structures or arched folds called anticlines. These often serve as receptacles for hydrocarbons. The probability of discovering oil is greatest when such structures are formed near a source rock. In addition, an overlying, impermeable rock must be present to seal the migrating oil in the structure.

The oldest oil-bearing rocks date back more than 600 million years; the youngest, about 1 million. However, most oil fields have been found in rocks between 10 million and 270 million years old.

Subsurface temperature, which increases with depth, is a critical factor in the creation of oil. Petroleum hydrocarbons rarely are formed at temperatures less than 150 degrees Fahrenheit and generally are car-

bonized and destroyed at temperatures greater than 500 degrees. Most hydrocarbons are found at "moderate" temperatures ranging from 225 to 350 degrees.



It is the particular crude oil's geologic history that is most important in determining its characteristics. Some crudes from Louisiana and Nigeria are similar because both were formed in similar marine deposits. In parts of the Far East, crude oil generally is waxy, black or brown, and low in sulfur. It is similar to crudes found in central Africa because both were formed from nonmarine sources. In the Middle East, crude oil is black but less waxy and higher in sulfur.

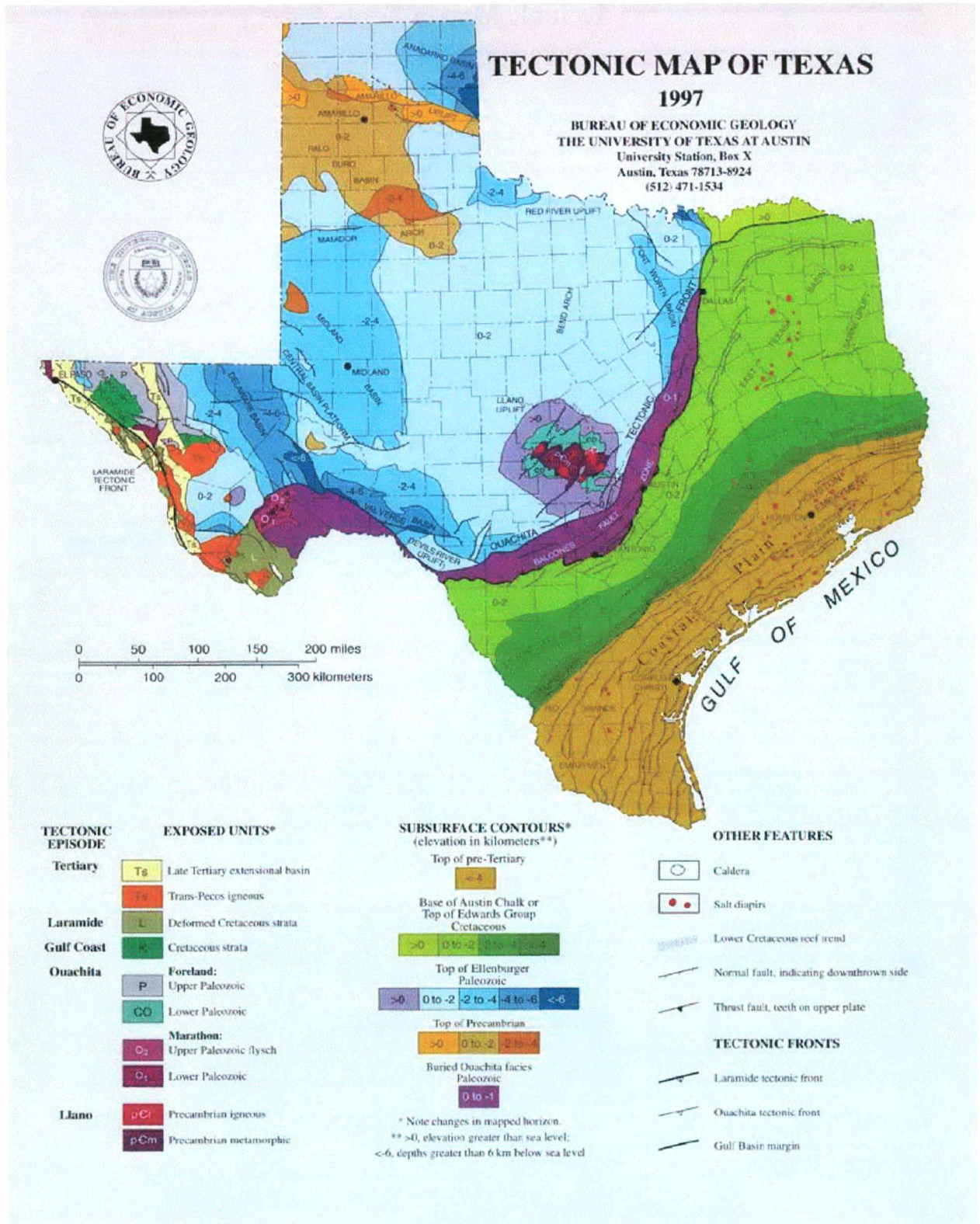
Crude oil from Western Australia can be a light, honey-colored liquid, while that from the North Sea typically is a waxy, greenish-black liquid. Many kinds of crudes are found in the United States because there is great variety in the geologic history of its different regions. Crude oil is a surprisingly abundant commodity. The world has produced some 650 billion barrels of oil, but another trillion barrels of proved reserves have yet to be produced. An additional 10 trillion barrels of oil resources await development, assuming the price of oil someday justifies production. These resources include bitumen, shale oil and oil in existing fields that might be produced through enhanced recovery methods.

Talk of crude oil oozes with superlatives. Not only was crude oil the basis of the world's first trillion-dollar industry, it also is the largest item in the balance of payments and exchanges between nations. And it employs most of the world's commercial shipping tonnage.

Crude oil may not be the panacea that snake oil claimed to be. But for 20th century industrialized nations, it has proved to be more than good medicine.

Copyright © 2000 Chevron Corp. All rights reserved.

ANEXO II



ANEXO III

