Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Geologia

José Diamantino de Almeida Dourado

Risco e oportunidades na exploração de petróleo no Brasil e Atlântico Sul

Rio de Janeiro
2007

José Diamantino de Almeida Dourado

Risco e oportunidades na exploração de petróleo no Brasil e Atlântico Sul

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica e Petrologia e Recursos Minerais

Orientador: Prof. Dr. Hernani Aquini Fernandes Chaves

Rio de Janeiro

2007

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/C

D739 Dourado, José Diamantino de Almeida.
Risco e oportunidades na exploração de petróleo no Brasil e Atlântico Sul / José Diamantino de Almeida Dourado.- 2007.
150 f.

Orientador: Hernani Aquini Fernandes Chaves
Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia: f.139-150

1. Petróleo - Geologia - Teses. 2. Petróleo - Prospecção - Teses. I. Chaves, Hernani Aquini Fernandes. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 553.982

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

José Diamantino de Almeida Dourado

Risco e oportunidades na exploração de petróleo no Brasil e Atlântico Sul

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tectônica e Petrologia e Recursos Minerais

Aprovado em 30 de março de 2007

Banca Examinadora:

_____
Prof. Dr. Hernani Aquini Fernandes Chaves (Orientador)
Faculdade de Geologia da UERJ

_____
Profª. Drª. Nely Palermo
Faculdade de Geologia da UERJ

_____
Prof. Dr. Sérgio Bergamaschi
Faculdade de Geologia da UERJ

_____
Prof. Dr. José Mário Coelho
Faculdade de Geologia da UFRJ

_____
Prof. Dr. Wilson Luiz Lanzarini
Petrobrás

Rio de Janeiro
2007

AGRADECIMENTOS

À D. Fátima (minha mãe), por tudo que tem representado na minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Hernani Aquini Fernandes Chaves, pelo apoio em todas as horas, a força necessária para que eu chegasse até o fim.

A Cleveland Maximino Jones, meu quase irmão, pelas parcerias.

Ao colega Flávio Yuan Gouvêa, pelo o apoio, sem o qual a pesquisa não teria sido a mesma.

Ao corpo docente e discente da Faculdade de Geologia da UERJ.

Às secretárias Regina (do Deptº. de Paleontologia e Estratigrafia), Edna (da Pós-graduação), pela competência e atenção no trato com as pessoas.

E à secretária da Graduação Selma (*in memoriam*)

RESUMO

DOURADO, José Diamantino de Almeida. *Risco e oportunidades na exploração de petróleo no Brasil e Atlântico Sul.* 2007. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências)–Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007 .

Esta pesquisa objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à análise de decisão de investimentos, na atividade de exploração e produção de bacias petrolíferas. Foi realizada uma pesquisa quantitativa, com utilização de recursos e de técnicas estatísticas, como percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, distribuição de probabilidade. Adotaram-se os seguintes procedimentos técnicos: pesquisa bibliográfica, levantamento de informações em congressos, e estudo de caso, através da modelagem dos dados selecionados, usando a mesma formulação empregada por solução computacional disponível no mercado. A procura proativa por oportunidades resulta em decisões estratégicas de forma a manter em foco os objetivos originais de uma organização. Como se preparar para enfrentar o negócio de exploração e descoberta de hidrocarbonetos? Primeiro reconhecendo que risco e oportunidades não devem ser enfrentados, mas sim aproveitados. Na comparação entre Angola, Venezuela e Brasil, em que pese as chances geológicas não serem mais favoráveis ao Brasil, o arcabouço jurídico e estável e um sistema fiscal com um grau reduzido de progressividade atraíram e continuam atraindo os investimentos necessários ao país, porque esses itens são uma vantagem comparativa.

Palavras-chave**:** Sistema petrolífero. Regimes fiscais. Análise de risco e Oportunidade.

ABSTRACT

This research project seeks to bring understanding for practical use, focused on the analysis of investment choices in exploration and production activities of oil basins. Quantitative research was carried out, utilizing statistical methods such as percent, mean, mode, median, standard deviation, correlation coefficient, regression analysis and probability distribution. The following technical procedures were employed: bibliographical search; mining for information from events; and case studies, through modeling of selected data using a full cycle computational simulation solution available in the marketplace. The proactive search for opportunities results in strategic decisions directed at keeping the original objectives of the organization in focus. How should one prepare to face the business of exploration and discovery of hydrocarbons? First, by recognizing that risk and opportunities should not be fought, instead, one should take advantage of them. In comparing Angola, Venezuela and Brazil, despite Brazil's less favorable geological chances, its underlying juridical stability and a fiscal system with a low progressivity have attracted, and continue to attract, the investments required by the country, since these items represent a comparative advantage.

Keywords: Petroleum system. Fiscal regimes. Risk and Opportunity analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Elementos e Processos que compõem o Sistema Petrolífero	9
Figura 2 -	Critério para nomear um Sistema Petrolífero	11
Figura 3 -	Diagrama geo-histórico mostrando: idade, momento crítico, e tempo de preservação	13
Figura 4 -	Extensão geográfica no momento critico 250 Ma do Sistema Petrolífero Deer-Board(.)	14
Figura 5 -	Seção transversal da extensão geográfica no momento critico 250 Ma do Sistema Petrolífero Deer-Boar(.)	15
Figura 6 -	Diagrama de eventos da história de soterramento	15
Figura 7 -	Mapas com as direções de fluxos ortogonais ao contorno estrutural	18
Figura 8 -	Tipos de trapas	19
Figura 9 -	Definição dos limites geográficos dos TPS e AU`s	22
Figura 10 -	Vista esquemática da compressão e extensão causada pela separação da América do Sul da África pela rotação no sentido horário em um pólo localizado ao longo da margem equatorial brasileira	31
Figura 11 -	Alguns estágios do desenvolvimento do *rift* entre o Leste do Brasil e o Oeste da África, e o desenvolvimento das bacias espelhadas	32
Figura 12 -	Seção esquemática, baseada em interpretação geológica de dados sísmicos, denotando a idade das unidades litológicas *pré-rift*, *sin-rift* e *pós-rift*, na Bacia de Cuanza, Angola	35
Figura 13 -	Coluna estratigráfica geral da Bacia de Cuanza *onshore* (ICB), reproduzindo suas litológias, idades, nomes das formações e estágios tectônicos	37
Figura 14 -	Proto-oceano do Caribe desenvolvido antes da separação da América do Sul e África	39
Figura 15 -	O abandono do espalhamento e o nascimento da Placa do Caribe	40
Figura 16 -	A colisão com Cuba muda a direção do movimento da Placa do Caribe para leste	41
Figura 17 -	Mapa gravimétrico do norte da Venezuela e Sul do Caribe	43
Figura 18 -	Coluna estratigráfica geral da Venezuela, comparando as maiores unidades a leste e a oeste do país	45

Figura 19 -	Seção esquemática atual, da Bacia de Granada ao Rio Orinoco, em relação a Sub-bacia de Maturin	46
Figura 20 -	Seção geológica contendo um resumo da evolução tectônica e estrutural da Bacia Oriental da Venezuela e seu impacto na maturação das rochas geradoras da Formação Querecua	48
Figura 21 -	Conceitos básicos de um sistema fiscal	50
Figura 22 -	Processo de decisão no desenvolvimento de um reservatório sob incertezas	84
Figura 23 -	Modelo de análise integrado e interativo orientado para decisão	87
Figura 24 -	Prospecto Gamma	88
Figura 25 -	Modelo de risco Prospecto *versus* Play	90
Figura 26 -	Tela de entrada dos fatores de riscos (traduzida)	91
Figura 27 -	Entidades geológicas e grupo de dependência de risco	92
Figura 28 -	Cenários de exploração e avaliação do Prospecto Gamma	95
Figura 29 -	Fluxograma dos módulos do GeoX usados pelo exemplo do Prospecto Gamma	97
Figura 30 -	Fatores de incerteza geológicos	98
Figura 31 -	Definição geológica de *Part-Play*	100
Figura 32 -	Quais os tamanhos de acumulações que são contados	101
Figura 33 -	*Plays* sobrepostos em Prospectos de multisegmentos	102
Figura 34 -	Dados requeridos pelo GeoX	103
Figura 35 -	Parâmetros de entrada de volume e suas distribuições (traduzido)	106
Figura 36 -	Concepção do ciclo completo de um empreendimento exploratório	108
Figura 37 -	Fluxo de caixa típico de um projeto de exploração e produção	109
Figura 38 -	A UNFC dividida em suas principais categorias. Os cubos claros são de pouco uso ou irrelevantes	112
Figura 39 -	Eixos para avaliação de recursos energéticos	113

Figura 40 - Mapa esquemático da margem do Atlântico Sul, mostrando as famílias de óleos e sua distribuição, os ambientes deposicionais das rochas geradoras, o nome das maiores bacias e as linhas das correlações possíveis 116

Figura 41 - Coluna estratigráfica generalizada da Bacia de Cuanza e a correspondência com as bacias brasileiras 117

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 -	Tabela de Importação e Exportação de Petróleo	2
Tabela 2 -	Campos descobertos do Sistema Petrolífero Deer-Boar(.)	16
Tabela 3 -	Total avaliado de óleo para o mundo, exceto EUA, em BBoe	27
Tabela 4 -	Valores dos fatores de risco do prospecto Gamma.	91
Tabela 5 -	Cálculo do valor de probabilidade dependente de cada segmento	93
Tabela 6 -	Resultado do VME do Prospecto Gamma	96
Tabela 7 -	Estimativa dos possíveis recursos de petróleo e gás das bacias selecionadas	115
Tabela 8 -	Estimativa dos possíveis recursos de petróleo e gás no *offshore* da África	118
Tabela 9 -	Comparação dos regimes fiscais de Brasil, Venezuela e Angola.	121
Tabela 10 -	Distribuição da área explorada no Brasil, situação em dezembro de 2006	122

Quadro 1 -	Conjunto de dados utilizados para comparar as oportunidades	4
Quadro 2 -	Definição de limites de lucratividade e os percentuais de partilha de lucros nos termos de referência da rodada de 2005/2006, Angola	70
Quadro 3 -	Probabilidade conjunta dos segmentos	93
Quadro 4 -	Índice geral de atratividade para investimento em E&P	125

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

∑	–	Somatório
AAPG	–	American Association of Petroleum Geologists
AMB	–	Anuário Mineral Brasileiro
ANP	–	Agência Nacional do Petróleo
API	–	American Petroleum Institute
AU	–	Assessment Unit
Barris" ou bbls	–	Barris de petróleo bruto
Bbl	–	Barril
BBoe	–	Bilhões de barris de óleo equivalente
Bcf	–	Bilhões de pés cúbicos
BNDES	–	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Boe	–	Barris de óleo equivalente
BP	–	British Petroleum
Bpd	–	Barris por dia
Capex	–	Capital Expenditure
Cf	–	Pés cúbicos
CIDE	–	Contribuição de intervenção no domínio econômico
CIF	–	Cost Insurance and Freight (custo, seguro e frete)
CNP	–	Conselho Nacional do Petróleo
COFINS	–	contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COT	–	Teor de Carbono Orgânico
CVM	–	Comissão de Valores Mobiliários
E&A	–	Exploration and Appraisal Cost
E&P	–	Exploração e Produção
ED&P	–	Exploração, Desenvolvimento e Produção
EIA	–	Energy International Agency
EOR	–	Enhanced Oil Recovery
Fm	–	Formação

FPSO – Floating Production Storage and Offloading

GNL – Gás Natural Líquido

GLP – Gás liquefeito de petróleo, que é uma mistura de hidrocarbonetos saturados e não saturados, com até cinco átomos de carbono, utilizado como combustível doméstico.

HC – Hidrocarbonetos

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IH – Índice de Hidrogênio

IOF – Imposto sobre Operações Financeiras

IPE – Integrated Prospect Evaluation

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IRPJ – Imposto de Renda de Pessoa Jurídica

IRR – Índice e Reposição de Reservas

ISS – Imposto Sobre Serviços

IVA – Imposto sobre Valor Agregado (Venezuela)

km – Quilômetro

km^2 – Quilômetros quadrados

LGNs – Líquidos de gás natural, que são hidrocarbonetos leves, produzidos juntamente com gás natural, que condensam em líquido em temperaturas e pressões normais.

m^2 – Metros quadrados

m^3 – Metros cúbicos

Ma – Milhões de anos

Mbbl – Milhares de barris

Mboe – Milhares de barris de óleo equivalente

Mbpd – Milhares de barris por dia

Mcf – Milhares pés cúbicos

Md – milidarcy (1 darcy = $1x10^{-12}$ m^2)

MEOR	–	Microbial enhanced oil recovery
MFD	–	Microbial Flow Diversion
MMbbl	–	Milhões de barris
MMboe	–	Milhões de barris de óleo equivalente
Mmbtu	–	Million British thermal units
MMcf	–	Milhões de pés cúbicos
MMcfpd	–	Milhões de pés cúbicos por dia
MMcmd	–	Milhões de metros cúbicos por dia
MMscfd	–	Milhões de pés cúbicos padrão por dia
ONIP	–	Organização Nacional das Indústrias de Petróleo
ONU	–	Organização das Nações Unidas
OPEC	–	Organization of Petroleum Exporting Countries
OPEP	–	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
Opex	–	Operational expenditure
OSA	–	Operating Service Agreements
P&D	–	Pesquisa e desenvolvimento
PCAOB	–	Public Company Accounting Oversight Board
PDVSA	–	Petroleo de Venezuela S/A
Petróleo bruto	–	Petróleo bruto, incluindo LGNs
Petróleo bruto leve	–	Petróleo bruto com densidade API maior que 27°
Petróleo bruto pesado	–	Petróleo bruto com densidade API menor ou igual a 27°
PIB	–	Produto Interno Bruto
PIS	–	Plano de Integração Social
PL	–	Projeto de Lei
prob	–	Estimativa de probabilidades
PSC	–	Production Sharing Contract
REPETRO	–	Regime Aduaneiro Especial de Exportação e Importação de Bens Destinados às Atividades de Pesquisa e de Lavra das Jazidas de Petróleo e de Gás Natural
SEC	–	Securities and Exchange Comission

SENIAT	–	Serviço Nacional Integrado de Alfândega e Impostos (Venezuela)
SPE	–	Society of Petroleum Engineers
SPF	–	Special Participation Fee (taxa especial de participação)
TIR	–	Taxa Interna de Retorno
TPS	–	Total Petroleum System (Sistema Petrolífero Total)
UN	–	United Nations (Nações Unidas)
UNFC	–	United Nations Framework Classification
URR	–	Últimas Reservas Recuperáveis
USGAAP	–	United States Generally Accepted Accountig Principles (Princípios de Contabilidade Geralmente Aceitos dos Estados Unidos)
USGS	–	United States Geologic Service
VAT	–	Value Added Tax
VME	–	Valor Monetário Esperado
VPL	–	Valor Presente Líquido
WPC	–	World Petroleum Concil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 SISTEMA PETROLÍFERO 7

2.1 CONCEITUAÇÃO CLÁSSICA 9

2.1.1 Identificação do Sistema Petrolífero 10

2.1.2 Horizontes Geográficos, Estratigráficos e Temporais 12

2.2 MAPEAMENTO E TAMANHO DE SISTEMA PETROLÍFERO 16

2.3 QUANTIFICAÇÃO 17

2.4 SISTEMA PETROLÍFERO NA VISÃO DO USGS NO ESTUDO *WORLD PETROLEUM ASSESSMENT 2000 (WE2000)* 20

3 GEOLOGIA E OPORTUNIDADES DE NEGÓCIOS NO ATLÂNTICO SUL – ANGOLA, VENEZUELA E BRASIL 28

3.1 EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DA SUB-BACIA DE CUANZA-NAMIBE EM ANGOLA 30

3.2 EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DA SUB-BACIA DE MATURIN NA VENEZUELA 38

3.3 REGIME FISCAL NO BRASIL 49

3.3.1 Ambiente Legal no Brasil e a evolução dos termos contratuais 51

3.3.2 Regras Fiscais no Brasil 56

3.4 REGIME FISCAL EM ANGOLA 62

3.4.1 Ambiente Legal em Angola e a evolução dos termos contratuais 63

3.4.2 Regras Fiscais em Angola 66

3.5 REGIME FISCAL NA VENEZUELA 72

3.5.1 Ambiente Legal na Venezuela e a evolução dos termos contratuais 74

3.5.2 Regras Fiscais na Venezuela 77

4 MODELAGEM DA INCERTEZA GEOLÓGICA E RISCO EXPLORATÓRIO UTILIZANDO O MÉTODO DO CICLO COMPLETO 83

4.1 POR QUE UM SISTEMA INTEGRADO DE MODELAGEM DO PROCESSO EXPLORATÓRIO 86

4.2 MODELAGEM DE *PLAY* 97

4.3 FATOR DE RECUPERAÇÃO 103

4.4 ANÁLISE DE CICLO COMPLETO 107

5 DISCUSSÃO DAS COMPARAÇÕES 114

5.1 DESCOMISSIONAMENTO 127

5.1.1 Descomissionamento em Angola 128
5.1.2 Descomissionamento na Venezuela 129
5.1.3 Descomissionamento no Brasil 130
6 CONCLUSÕES **133**
7 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES **137**
REFERÊNCIAS **139**
ANEXOS **151**