

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
Área de Concentração Transportes

RONALDO COVRE BASTOS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE
HIDROCARBONETOS COM UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DEA**

VITÓRIA – ES

2012

RONALDO COVRE BASTOS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE
HIDROCARBONETOS COM UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DEA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Transportes.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Monteiro da Costa Cruz

VITÓRIA – ES

2012

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

B327a Bastos, Ronaldo Covre, 1982-
Avaliação da eficiência do transporte dutoviário de
hidrocarbonetos com utilização da metodologia DEA / Ronaldo
Covre Bastos. - 2012.
95 f. : il.

Orientadora: Marta Monteiro da Costa Cruz.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Análise de envoltória de dados. 2. Pesquisa Operacional.
3. Logística. 4. Hidrocarbonetos. 5. Petróleo. 6. Gás natural. I.
Cruz, Marta Monteiro da Costa. II. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

RONALDO COVRE BASTOS

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE
HIDROCARBONETOS COM UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DEA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Transportes.

Aprovada em ____ de _____ de 2012.

Prof^a. Dr^a. Marta Monteiro da Costa Cruz
Doutora em Engenharia de Transportes
Orientadora - UFES

Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto
Doutor em Engenharia de Transportes
Examinador Interno - UFES

Prof^a. Dr^a. Lúcia Angulo Meza
Doutora em Engenharia de Produção
Examinadora Externa - UFF

“ ...

*Numa folha qualquer eu desenho um navio de partida
Com alguns bons amigos, bebendo de bem com a vida
De uma América a outra eu consigo passar num segundo
giro um simples compasso e num círculo eu faço o mundo*

*Um menino caminha e caminhando chega no muro
e ali logo em frente a esperar pela gente o futuro está.
E o futuro é uma astronave que tentamos pilotar
Não tem tempo nem piedade, nem tem hora de chegar
Sem pedir licença muda nossa vida e depois convida a rir ou a
chorar*

...”

Aos meus amados pais, Telmo e Marilene.

Ao meus pais, por terem me dado educação e princípios que me levaram a buscar este objetivo. Aos meus irmãos, Rodrigo e Patrícia, por todo apoio, incentivo e carinho. Sem vocês eu nunca teria chegado neste ponto.

À minha família por todo carinho e incentivo.

A Deus por me proteger e me dar sabedoria para alcançar meus objetivos.

À minha prima Ana Carolina, pela imensa ajuda na pesquisa dos artigos.

A Pierre Loupart, pela amizade, por acreditar no meu potencial e por me proporcionar a oportunidade de realizar o mestrado.

Aos meus padrinhos, Mario e Margarete, e seus filhos, Rafael e Erika, por estarem sempre próximos nos momentos importantes da minha vida.

A todos os meus amigos espalhados pelo mundo.

À Marta Cruz pela orientação e pela amizade.

Aos membros da banca, Prof^a. Dr^a. Lúcia Angulo Meza e Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto, por aceitarem o convite.

Obrigado a todos, de coração. Sem a ajuda de vocês, a realização deste trabalho seria impossível.

RESUMO

Ocupando o 1º lugar invicto na matriz energética durante toda história da indústria mundial, a importância dos hidrocarbonetos para o desenvolvimento da sociedade moderna é de difícil questionamento. O Petróleo e o Gás Natural estiveram sempre presentes em momentos importantes da história como revoluções industriais ou guerras. A extração de hidrocarbonetos nos solos marinhos é realizada com o auxílio de tubos flexíveis ou rígidos, *risers* ou *flowlines*, que realizarão a ligação entre o poço de petróleo e a plataforma. Da mesma maneira, o sistema dutoviário é primordial para a produção de hidrocarbonetos em solo terrestre, ou seja, existe uma relação direta entre a capacidade produtiva das empresas e a capacidade de transporte de fluidos pelo modal dutoviário. Grande parte das empresas produtoras de petróleo tem, por obrigação com seus acionistas, ou boa prática frente a sociedade, que tornar público diversos tipos de informações sobre a sua saúde financeira, o seu impacto no meio ambiente ou os seus indicadores de desempenho.

Esta dissertação busca avaliar a eficiência do transporte, com o uso da Análise Envoltória de Dados, de hidrocarbonetos de grandes operadoras do mercado de Óleo e Gás com a utilização de um modelo DEA, a partir de dados encontrados nos seus relatórios financeiros e de sustentabilidade entre os anos de 2006 e 2010. Os dados utilizados foram a produção média diária de barris de petróleo equivalente (BOE), à quantidade de barris derramados, o lucro líquido, o número de funcionários, o investimento em produção e exploração (E&P) e o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Espera-se medir a eficiência em relação à capacidade produtiva das empresas e a sua capacidade no transporte de fluidos pelo sistema dutoviário.

Palavras-chaves: DEA, Análise Envoltória de Dados, Petróleo, Gás Natural, Pesquisa Operacional, Logística, Hidrocarbonetos

ABSTRACT

In the first place at the worldwide energetic matrix during all the history of global industry, the importance of hydrocarbons for the development of the modern society is a common sense. Petrol and Natural Gas has always been subjects of important events in the history as industrial revolutions or wars. The extraction of hydrocarbons overseas is possible with the utilization of flexible or rigid pipes, called risers or flowlines, that will be responsible to link the producing wells to the platforms. The pipeline system is also a key point for the Onshore production so it's possible to say that there's a direct correlation between the levels of production and the capacity of transporting fluids over pipelines. Information regarding production, financial and environmental performance can be found at the financial or sustainability report that are available in the companies' websites at the investor's relationship section.

This dissertation evaluates the efficiency in transporting hydrocarbons with a Data Envelopment Analysis of major producers around the world as Shell, Total, Exxon, Petrobras ENI and BP using the data found in their financial and sustainability reports from 2006 to 2010. The data used was the average production per day of equivalent barrels (boe), the quantity of oil spills, the net profit, the number of employees, the investment in exploration and production (E&P) and the investment in research and development (R&D). It expects to measure the relation between the production of the companies and their capacity to transport fluids over using pipelines.

KeyWords: DEA, Data Envelopment Analysis, Petroleum, Natural Gas, Operational Research, Logistics, Hidrocarbons

RÉSUMÉ

Présent dès les premières heures de l'histoire mondiale de l'industrie de l'énergie, l'importance des hydrocarbures pour le développement de la société moderne n'est plus à démontrer. Pétrole et gaz naturel ont toujours été des éléments des événements historiques majeurs tels que les révolutions industrielles ou les guerres. L'extraction des hydrocarbures en mer est rendu possible par l'utilisation de conduites flexibles ou rigides, appelés "risers" ou "flowlines" qui assurent le lien entre les têtes des puits et les plateformes pétrolières. Les réseaux de conduites sont aussi essentiels pour la production de pétrole et de gaz dans les terres. Ainsi il est possible d'affirmer qu'il existe une corrélation directe entre le niveau de production pétrolière et la capacité de transport de cette production par conduites. Celle-ci ainsi que bien d'autres informations sur les performances de production sur les performances de production, financières et environnementales sont disponibles dans les rapports financiers ou environnementaux accessibles sur les sites internet des entreprises, dans la rubrique destinée aux relations avec les investisseurs.

Cette thèse évalue l'efficacité dans le transport des hydrocarbures avec une analyse d'enveloppement de données des principaux producteurs de pétrole du monde, tels que Shell, Total, Exxon, BP, ENI et Petrobras, en utilisant les données contenues dans leurs rapports financiers et environnementaux entre les années 2006 et 2010. Les données utilisées ont été la production moyenne par jour en équivalent barril(boe), la quantité de déversements d'hydrocarbures, le bénéfice net, le nombre d'employés, l'investissement dans l'exploration et la production (E&P) et l'investissement en recherche et développement (R&D). L'objectif est de mesurer la relation entre la production et la capacité de transporter les fluides par conduites.

Mots Clés – AED, Analyse d'Enveloppement des Données, Pétrole, Gas Natural, Recherche Opérationnelle, Logistique, hydrocarbures.

Índice

1	Introdução	17
1.1	Objetivo Geral	18
1.2	Objetivo Específico	18
1.3	Motivação	19
1.4	Estrutura da Dissertação.....	20
2	O Mercado de Óleo e Gás	21
2.1	Histórico e Formação	21
2.2	O Mercado Atual	23
2.3	Os Desafios Futuros	25
2.4	Produção de Hidrocarbonetos	27
2.4.1	Reservatórios e Prospecção	27
2.4.2	Perfuração e Completação	31
2.5	Sistemas Produtivos	32
2.5.2	Produção <i>Offshore</i>	36
2.5.3	Formas Não Tradicionais de Produção.....	39
2.6	Transporte Dutoviário de Hidrocarbonetos	41
3	Produtividade e Eficiência	43
3.1	Curvas de Produção	45
3.2	Data Envelopment Analysis – DEA.....	46
3.2.1	Histórico	47

3.2.2	Ferramenta de Apoio à Decisão	50
3.2.3	Etapas Propostas da Metodologia DEA.....	51
3.3	Modelos DEA	56
3.3.1	Modelo CCR Orientado a <i>Inputs</i> (Insumos).....	58
3.3.2	Modelo CCR orientado a <i>Outputs</i> (Produtos)	61
3.3.3	Modelo BCC.....	62
3.4	Fronteira Invertida	65
4	Aplicação da Metodologia, Desenvolvimento e Resultados da Pesquisa	67
4.1	Considerações Iniciais	67
4.2	Identificação das DMUs	67
4.3	Identificação das Variáveis do Modelo.....	71
4.4	Identificação do Modelo	74
5	Análise de Eficiência Composta	80
5.1.1	Análise de Eficiência Composta Orientada ao <i>Output</i>	80
6	Conclusões	86
7	Bibliografia	89

Índice de Figuras

Figura 1 - Reservatório com Mecanismo de Capa de Gás	28
Figura 2 - Interpretação Fotogeológica Mostrando os Diferentes Tipos de Rochas .	29
Figura 3 - Representação do Solo Submarino por Gravimetria.	30
Figura 4 - Mapa Gerado por uma Análise Sísmica.	30
Figura 5 - Levantamento Sísmico.	31
Figura 6 - Extração de Petróleo <i>Onshore</i> em 1859.....	34
Figura 7 - Bomba para Produção de Petróleo <i>Onshore</i>	35
Figura 8 - Árvore de Natal para Produção <i>Onshore</i>	35
Figura 9 - Facilidade para Separação de Hidrocarbonetos.....	36
Figura 10 - Exploração <i>Offshore</i>	37
Figura 11 - Arranjos produtivos <i>Offshore</i>	37
Figura 12 - Sistema de Escoamento de Óleo Cru Norte Americano.....	41
Figura 13 - Retornos em Escala.....	46
Figura 14 - DEA como Componente de um Ciclo de Gerenciamento.....	55
Figura 15 – Classificação entre Ganhos de Escala e Orientação.....	58

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classificação das DMUs	70
Tabela 2 - DMUs	70
Tabela 3 - Base de Variáveis para Avaliação de Empresas	71
Tabela 4 - Taxas de Conversão de Moedas	73
Tabela 5 - Classificação Geral das DMUs	81
Tabela 6 - Comparativo das Variáveis – EXXON_2006.....	82
Tabela 7 - Folgas e Alvos - EXXON_2007	82
Tabela 8 - Folgas e Alvos - BP_2009.....	83
Tabela 9 - Folgas e Alvos.....	83

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Produção de Óleo Mundial(Adaptado de EIA, 2011)	23
Gráfico 2 - Matriz Energética Mundial(Adaptado de EIA, 2011)	24
Gráfico 3 - 10 Maiores Setores Mundiais(Adaptado de FT500,2011).....	24
Gráfico 4 - Produção de Óleo na Noruega - Visão Poço por Poço	32
Gráfico 5 - Fronteiras de Produção para os Modelos BCC e CCR	57
Gráfico 6 – Representação Gráfica do Modelo CCR(<i>Input</i>).....	61
Gráfico 7 – Representação Gráfica do Modelo CCR(<i>Output</i>)	62
Gráfico 8 – Representação Gráfica do Modelo BCC(<i>Input</i>)	64
Gráfico 9 – Representação Gráfica do Modelo BCC(<i>Output</i>)	65
Gráfico 10 - Produção Diária x Investimento em EP.....	74
Gráfico 11 - Produção Diária x Investimento em Pesquisa.....	75
Gráfico 12 - Produção Diária x Número de Empregados.....	76
Gráfico 13 - Lucro Líquido x Investimento em EP.....	76
Gráfico 14 - Lucro Líquido x Investimento em RD	77
Gráfico 15 - Lucro Líquido x Número de Funcionários.....	77
Gráfico 16 - 1/Vazamentos x Investimento em EP.....	78
Gráfico 17 - 1/Vazamentos x Investimento em RD	78
Gráfico 18 - 1/Vazamentos x Número de Empregados.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

OECD - Organization for Economic Co-Operation and Development

Boe - Unidade de medida para produção de Hidrocarbonetos - Barrels of Oil Equivalent

CCR - Modelo DEA criado por Charnes, Cooper e Rhodes

BCC - Modelo DEA criado por Banker, Charnes e Cooper

VCR - Variable Returns to Scale

CRS - Constant Returns to Scale

Pré-Sal - Camada do subsolo onde podem ser encontradas grandes reservas de hidrocarbonetos

Oil Sands - Região onde se encontram hidrocarbonetos em forma de betume

DEA - Data Envelopment Analysis

DMU - Decision Making Unit

1 Introdução

Energia é um item vital para as sociedades. Sem energia comercial (Eletricidade, Gás Natural, Óleo Cru e seus produtos refinados ou carvão) as sociedades, tal qual conhecemos hoje em dia, entrariam em decadência. As energias fósseis são particularmente essenciais para a geração de eletricidade e como fonte de energia para a grande maioria dos meios de transporte dos tempos modernos. Entretanto, nos últimos anos, muito se tem falado sobre o futuro da utilização de combustíveis não renováveis.

Em particular, a produção de óleo cru se mostra insustentável ao longo do tempo e mesmo considerando as atuais descobertas, o crescimento não será suficiente para cobrir a demanda de países em crescimento como China, Índia, Iran ou Arábia Saudita (SILVA, 2009).

A previsão de crescimento da economia mundial até 2015 é de 3% ao ano. Isso demandaria um crescimento de 1,3% ao ano, na produção de óleo, entretanto, a previsão é de apenas 0,8% a.a., 0,5% a.a. menor do que o necessário. Desta forma, a demanda prevista para 2030 é de 106,4 milhões de barris por dia (Mb/d), e a previsão de produção é de aproximadamente 80 Mb/d (SÖDERBERGH et al, 2010).

Considerando as formas alternativas de energia atuais e a baixa previsão de desenvolvimento em massa para os próximos anos, a chegada ao pico máximo de produção de hidrocarbonetos virá acompanhada de uma crise no sistema energético e também de uma alta considerável no preço do petróleo (SILVA, 2009).

Neste contexto, o aumento da eficiência na elevação e produção de fluidos é um fator de extrema importância para que as empresas continuem competitivas num mercado em que o produto tende a acabar, os preços tendem a aumentar e novas tecnologias deverão ganhar cada vez mais espaço como fonte de geração de energia.

1.1 Objetivo Geral

São objetivos deste trabalho:

Avaliar a relação entre dados relativos aos níveis de produção, transporte de fluidos e saúde financeira das grandes operadoras de petróleo mundiais com o uso da metodologia de análise por envoltória de dados (DEA).

Serão escolhidas apenas empresas de capital aberto, uma vez que elas são obrigadas a disponibilizar informações sobre sua saúde financeira e operações aos seus investidores possibilitando, assim, a coleta de dados.

Num segundo momento, espera-se gerar uma classificação entre as empresas escolhidas, de acordo com o nível de eficiência calculado para cada uma.

Finalmente, será possível realizar uma análise crítica dos resultados encontrados, com a identificação das empresas que obtiveram os melhores escores de eficiência dentro do grupo pesquisado.

1.2 Objetivo Específico

Este trabalho tem como objetivo específico determinar a eficiência no transporte de hidrocarbonetos das grandes operadoras de petróleo mundiais, a partir de dados encontrados em seus relatórios financeiros e de sustentabilidade.

Duas informações chaves para o trabalho serão a quantidade de barris produzidos por dia e os volumes derramados, sendo que o ano de referência para coleta de dados será 2010, uma vez que as empresas costumam lançar os seus balanços anuais até o final do primeiro trimestre do ano posterior.

As etapas do trabalho estão listadas abaixo:

- Identificar as variáveis a serem usadas no modelo;
- Identificar o modelo DEA a ser aplicado;
- Aplicar o modelo;
- Identificar as unidades com melhores resultados de eficiência;
- Realizar uma análise crítica dos resultados .

1.3 Motivação

Alguns indivíduos são mais produtivos que outros; alguns negócios pequenos encontram e exploram um nicho de mercado lucrativo que outros esquecem; algumas grandes empresas são mais rentáveis que outras, e algumas instituições públicas oferecem melhores serviços que outros. Em cada caso, a performance pode melhorar ou piorar durante o tempo. O sucesso no curto prazo pode ser associado à falha no longo prazo; falha no curto prazo pode levar à morte ou será a precursora do sucesso no longo prazo (FRIED *et al*, 2008).

Esta realidade também se aplica ao mercado de Óleo e Gás, principalmente tendo em vista a previsão de redução dos níveis de produção de petróleo e gás natural para os próximos anos. Assim, é possível afirmar que a eficiência produtiva das empresas será um ponto chave para o sucesso de suas operações.

Adicionalmente, outros pontos podem ser citados como agravantes para o futuro do mercado, como por exemplo: a necessidade de exploração de hidrocarbonetos em profundidades cada vez maiores, a exemplo da exploração pré-sal; a exploração de óleo em ambientes alternativos, a exemplo dos *Oil Sands*; a expectativa de um grande desenvolvimento da economia mundial, impulsionada pelos países emergentes e a crise nos países desenvolvidos; e o desenvolvimento de fontes de energias alternativas, uma vez que os hidrocarbonetos são fontes de energias não renováveis e é fato que um dia se extinguirão.

Os pontos citados terão forte impacto no mercado de Óleo e Gás, restando às empresas aumentarem a sua eficiência exploratória e também avaliarem com critério o seu planejamento estratégico de longo prazo para que estejam preparadas para sobreviverem em um cenário onde as reservas e disponibilidade de hidrocarbonetos no mundo tomarão uma tendência decrescente.

1.4 Estrutura da Dissertação

Com o objetivo de atingir os objetivos propostos anteriormente, este trabalho está dividido em 5 capítulos conforme abaixo discriminado.

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução sobre o tema pesquisado, introduzindo o DEA como ferramenta de apoio à decisão, contextualizando o mercado de Óleo e Gás, a importância da eficiência das empresas no seu desenvolvimento e apresentando o objetivo da dissertação.

No capítulo 2 é realizado um histórico da indústria do petróleo, até a formação do mercado de cifras astronômicas dos tempos atuais. Também são objetos deste capítulo uma análise dos riscos futuros para esta indústria e também uma revisão sobre os diversos processos produtivos aplicáveis aos hidrocarbonetos.

No terceiro capítulo, são apresentados os conceitos de produtividade, eficiência e os métodos utilizados para medi-las, assim como a fundamentação teórica do modelo DEA e algumas definições sobre as etapas necessárias para realização de um estudo de eficiência.

O capítulo 4 consiste no desenvolvimento pleno da pesquisa com o detalhamento das etapas da metodologia. Também serão apresentadas as análises realizadas a partir dos dados observados e os resultados obtidos.

O capítulo 5 apresenta as conclusões sobre o desenvolvimento da pesquisa e recomendações para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

2 O Mercado de Óleo e Gás

2.1 Histórico e Formação

O ano de 1859 marca o início da exploração de petróleo nos Estados Unidos, a partir da descoberta do Coronel Drake, em Tittusville/Pensilvânia, onde um poço de 21 metros de profundidade foi perfurado com um sistema movido a vapor e que tinha a produção de 2m³ de óleo por dia. A importância desta descoberta está no fato de que, finalmente, foi possível extrair petróleo de forma produtiva com perfuração e não a partir da escavação ou coleta, como feito anteriormente (THOMAS, 2001).

Apesar da descoberta na metade do século 19, a indústria demorou algum tempo para tomar forma. No seu início, o mercado baseava-se essencialmente na produção de querosene para iluminação, dada a iminente extinção das baleias por caça excessiva, que gerou uma escassez de óleos animais para iluminação, graxas e lubrificantes.

Naquele tempo, a exploração de petróleo era muito mais simples que a indústria atual com seus processos e tecnologias de ponta. Não existia a exploração no mar. A identificação dos poços era feita de forma visual e o refino do petróleo era realizado sem uma preocupação com a qualidade (CANELAS, 2007).

A indústria do petróleo começou a se organizar como uma grande indústria a partir da companhia *Standard Oil*, de John Rockefeller, que foi a primeira a buscar um padrão de empresa multinacional para o novo mercado que se anunciava e que, posteriormente, se tornou fundamental para o desenvolvimento da economia capitalista moderna no século XX (GALBRAITH, 1982).

A *Standard Oil* carregava em seu nome o diferencial da empresa. Por *Standard*, do inglês – Padrão, esta empresa tinha o conceito de oferecer um produto padronizado e de alta qualidade ao seu cliente. Na época de sua criação, havia diversas refinarias e empresas de exploração e produção. A *Standard Oil* conseguiu dominar o mercado a partir de aquisições e controle do transporte dos derivados. Além disto, o seu modelo de produção buscava economias em escala, escopo e integração na indústria de Petróleo. Esta empresa alcançou um alto grau produtivo e criou um

monopólio tal que em 1911 a suprema corte dos Estados Unidos a desmembrou em 33 companhias com base no Sherman Act, o que é hoje conhecido como aparato jurídico para defesa da concorrência. É importante notar que, naquela época, outras empresas como Shell, Texaco e Sun já haviam entrado no mercado (CANELAS, 2007).

A partir do início do século XX, a indústria do petróleo teve o seu desenvolvimento marcado por dois pontos principais. O primeiro foi a internacionalização de empresas exploradoras, saindo da fase de organizações industriais para grandes corporações. Este crescimento foi direcionado, principalmente para Indonésia, Índia, América Latina e Oriente Médio. O segundo ponto foi a criação de empresas estatais ou estatizadas, a exemplo do Brasil, Venezuela, Nigéria e alguns países do Oriente Médio.

Na segunda metade da década de 1920, o mercado foi marcado por uma forte queda nos preços do petróleo, resultado da grande disputa por fronteiras de exploração, e especialmente da guerra de preços na Índia entre a Shell e a *Standard Oil of New York*, situação que resultou na formação de um cartel, formalizado pelo Acordo de Achnacarry, entre as grandes empresas produtoras, chamadas de *majors*, e extrapolando para o nível mundial o modelo de negócios criado pela *Standard Oil* algumas décadas atrás. Este acordo teve grande importância na sustentabilidade do crescimento da indústria e vigorou até os anos 60, quando foi criada a OPEP (Organização dos Países Exploradores de Petróleo), o que transformou o cartel das *majors* num exemplo de regulação corporativa privada (YERGIN, 1994).

A OPEP (em inglês – OPEC) é composta pelos seguintes países: quatro africanos: Angola, Argélia, Líbia e Nigéria; dois sul-americanos: Venezuela e Equador; um do Sudeste Asiático: Indonésia; e seis do Oriente Médio: Arábia Saudita, Emirados Árabes, Irã, Iraque, Kuwait e Qatar.

Em contrapartida, no mesmo ano de 1960, houve a criação de uma outra organização reguladora de petróleo, chamada OECD e composta por 34 países

como os Estados Unidos, Canadá, Chile, Japão, Coreia, México, Israel e outros 27 países europeus.

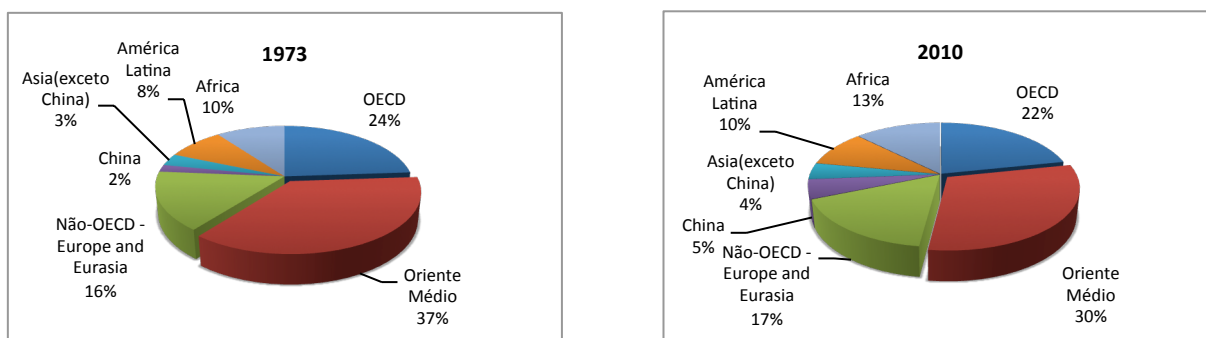


Gráfico 1 - Produção de Óleo Mundial

FONTE: Adaptado de EIA, 2011

No Gráfico 1, é possível ver a distribuição e a evolução da produção de óleo pelos blocos produtivos mundiais ao longo do tempo, onde em 2010, os países integrantes da OCEDE tiveram participação de 22% e os países integrantes da OPEP tiveram, aproximadamente, 50% da produção mundial.

2.2 O Mercado Atual

Atualmente, o mercado do Óleo e Gás é muito bem segmentado, com empresas de atuação mundial posicionadas em cada fase da cadeia produtiva. Neste contexto, ressaltam as grandes produtoras de óleo com faturamentos anuais em torno de dezenas de milhares de dólares e sua imensa massa operária que, em alguns casos, podem passar da faixa dos 100 mil trabalhadores ao redor do mundo.

Uma característica da indústria mundial que reforça a importância deste mercado e do seu desenvolvimento é a matriz energética global, bastante dependente da energia gerada pelos hidrocarbonetos, conforme mostrado no Gráfico 2.

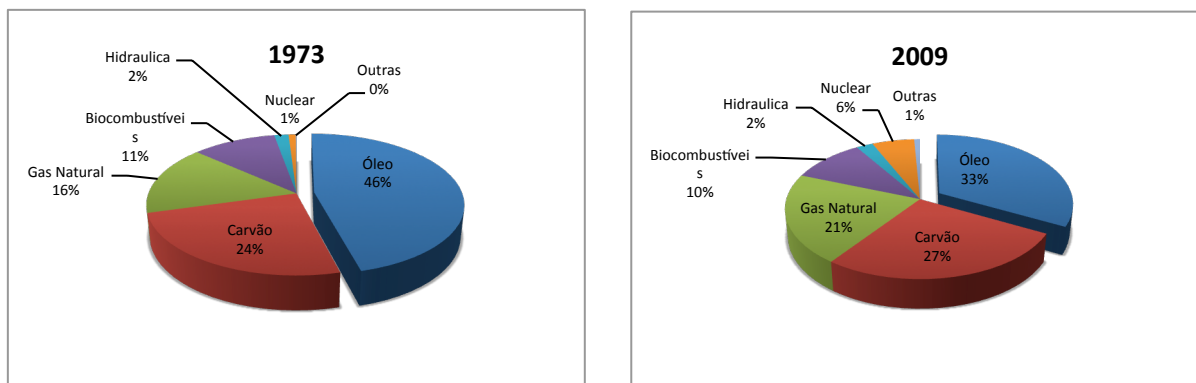


Gráfico 2 - Matriz Energética Mundial

FONTE: Adaptado de EIA, 2011

As empresas deste mercado figuram, constantemente, em altas posições, nas listagens comparativas de empresas ao redor do mundo, realizadas por revistas de negócios e institutos financeiros.

O relatório FT500 da revista *Financial Times* elenca as 500 maiores empresas do mundo, a respeito do seu valor de mercado.

Em 2011, nas 500 empresas listadas, o setor “Produtores de Óleo e Gás” teve a segunda maior presença (46 empresas), perdendo apenas para o setor de Bancos (75 empresas).

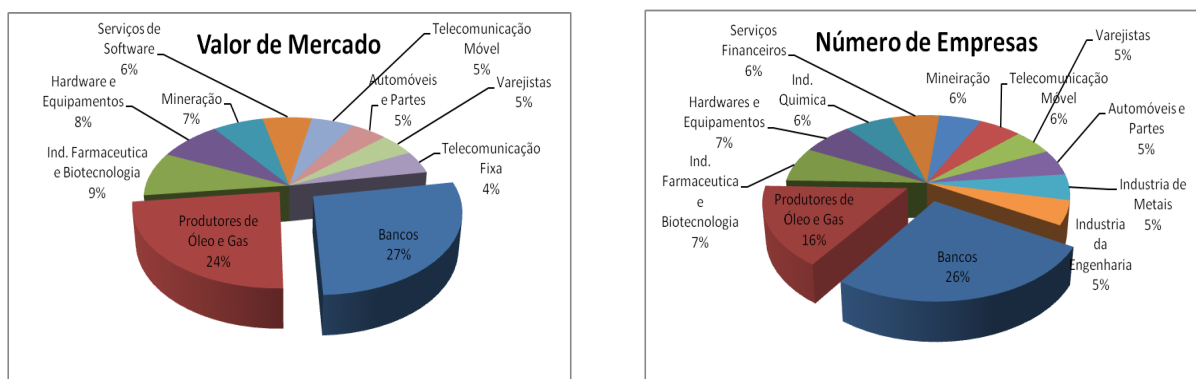


Gráfico 3 - 10 Maiores Setores Mundiais

FONTE: Adaptado de FT500, 2011

O Gráfico 3 é um resumo dos 10 maiores setores considerados na listagem FT500. É possível ver que, em relação ao valor de mercado os Produtores de Óleo e Gás constituem o segundo mercado mais valioso do mundo, com 24% (aproximadamente 4 trilhões de dólares) do total dos 10 maiores setores, com o setor bancário em primeiro lugar. Em relação à quantidade de empresas de um setor

na lista, a figura é a mesma. Produtores de Óleo e Gás e Bancos disputam a liderança. É interessante notar que, nos 10 maiores setores do mundo os Bancos têm 10% a mais de empresas listadas do que os Produtores de Óleo e Gás. Entretanto, com relação ao valor de mercado, o setor bancário é apenas 3% mais valioso do que os Produtores de Óleo e Gás que, apesar de menor número, possuem empresas mais valiosas.

Outro exemplo é a lista FORTUNE 500, da revista FORTUNE, com as 500 maiores empresas americanas classificadas pela capitalização de mercado. Neste caso, dentre as 10 maiores empresas americanas, 3 são do setor de Produção de Petróleo com um valor aproximado de 735 bilhões de dólares.

A revista FORBES, na sua lista das 100 maiores empresas do mundo em 2012, apresenta 4 empresas do mercado de Óleo e Gás entre as 10 maiores do mundo, com um valor aproximado de 1,1 trilhão de dólares.

Além do impacto econômico, é importante ressaltar a importância das empresas de Óleo e Gás na geração de empregos ao redor do mundo. De acordo com o relatório FT500, as empresas deste ramo empregam, aproximadamente, 3 bilhões de pessoas, considerando apenas os empregos diretos.

2.3 Os Desafios Futuros

A indústria do petróleo tem um grande desafio pela frente para se manter nos mesmos níveis atuais de participação na economia mundial.

No curto e médio prazo, a reposição das reservas de petróleo globais e a aproximação do pico de produção são os dois pontos mais preocupantes. Eventos geopolíticos ocorridos ao redor do mundo têm trazido à tona a discussão sobre o setor em embargos econômicos, sanções e bloqueios comerciais em países como Venezuela, Rússia, Iran e Iraque. O pico de produção de petróleo é um assunto que já é pesquisado há algum tempo e ainda continua sendo objetivo de vários estudos, que estimam que o início do declínio da produção de petróleo mundial aconteceria nas primeiras 3 décadas do século 21 (WOOD *et al*, 2004; WITZE, 2007; CAMPBELL E LAHÉRRERE, 1998; SÖDERBERGH *et al*, 2010; SILVA, 2009; HOOK

ET AL, 2009; SILVA, 2005), fato que seria seguido de uma elevação no seu preço, diminuindo a competitividade do Petróleo frente a outras fontes de energia (SILVA, 2005).

Este fato inclui o petróleo na evidência histórica de que a exaustão de ciclos econômicos associados a recursos naturais não ocorrem pela exaustão do recurso em si (ou pela falta de acesso a ele), mas pelo fim das vantagens competitivas associadas a cada ciclo, assim como na substituição da lenha pelo carvão, como fonte principal de energia, a partir da revolução industrial, e na substituição do carvão pelo petróleo no início do século 20, principalmente a partir da invenção dos motores de combustão elétrica. Em nenhum dos casos citados anteriormente, a causa da substituição foi a exaustão da disponibilidade de lenha ou carvão, mas sim a exaustão das suas vantagens econômicas (WITZE, 2007). Em outras palavras, a maior possibilidade para o fim da “Era do Petróleo” é que o petróleo seja substituído por uma outra fonte de energia que apresente mais vantagens em relação a seu preço, disponibilidade de reservas futuras e impacto ao meio ambiente e não pela extinção das suas reservas.

Nos médio e longo prazos, o desafio está no impacto que o petróleo e seus derivados causam no meio ambiente, principalmente pelos gases e partículas geradas pela sua queima, o que pode ser considerado mesmo como uma ameaça para o ser humano. Muitas ações têm sido tomadas no sentido de minimizar o impacto ao meio ambiente com a redução da emissão de gases, o que implica na redução no padrão de consumo de energia pela sociedade, num aumento da consciência ambiental das pessoas, mudando a visão sobre o petróleo e numa maior busca por energias alternativas (DE OLIVEIRA, 1998; PEARCE e TURNER, 1990; TIETENBERG, 1996, MEADOWS, 1992).

Todas estas ameaças à indústria do petróleo também podem ser vistas como oportunidades de renovação e desenvolvimento para as empresas do mercado. Grandes empresas como Shell, Exxon, BP e Petrobras já têm tomado ações para não sucumbir ao fim da “era do petróleo” com uma mudança de filosofia, passando de empresas de petróleo para empresas de energia. Estas empresas passariam a investir cada vez mais em fontes alternativas de energia, diversificando a sua

carteira de produtos. Esta transição duraria até o ponto em que as fontes alternativas sejam mais economicamente viáveis do que o petróleo. Neste momento, as fontes que um dia foram alternativas passam a ser normais e, ao petróleo, restarão algumas aplicações específicas (SZKLO, 2005).

2.4 Produção de Hidrocarbonetos

O processo global de produção de hidrocarbonetos envolve uma série de atividades que começam na identificação das reservas e terminam na separação dos hidrocarbonetos nas unidades produtoras, seguido do envio para as unidades de refino.

2.4.1 Reservatórios e Prospecção

O petróleo tem origem a partir da matéria orgânica depositada junto com os sedimentos. A matéria orgânica é, basicamente, originada de microrganismos e algas que formam o fitoplâncton e a interação dos fatores – Matéria Orgânica, Sedimentos e Condições Termoquímicas apropriadas – que são fundamentais para o início da cadeia de processos que leva à formação do petróleo.

O tipo de hidrocarboneto gerado, óleo ou gás, é determinado pela constituição da matéria orgânica original e pela intensidade do processo térmico atuante sobre ela. Por exemplo: em condições térmicas adequadas, o fitoplâncton resulta em hidrocarboneto líquido, porém a matéria orgânica vegetal lenhosa poderá gerar hidrocarboneto gasoso.

Após a sua criação, o hidrocarboneto vai migrar do seu local de origem até lugares apropriados (rochas porosas de naturezas diversas) onde serão formados os reservatórios, o que possibilitará a sua extração de maneira industrial (BARRILAS, 2005).

Estes lugares apropriados são chamados de reservatórios, e a Figura 1 mostra um exemplo de um reservatório contendo hidrocarboneto líquido e em vapor, alocado na parte superior do reservatório, formando o que se denomina “Capa de Gás”.

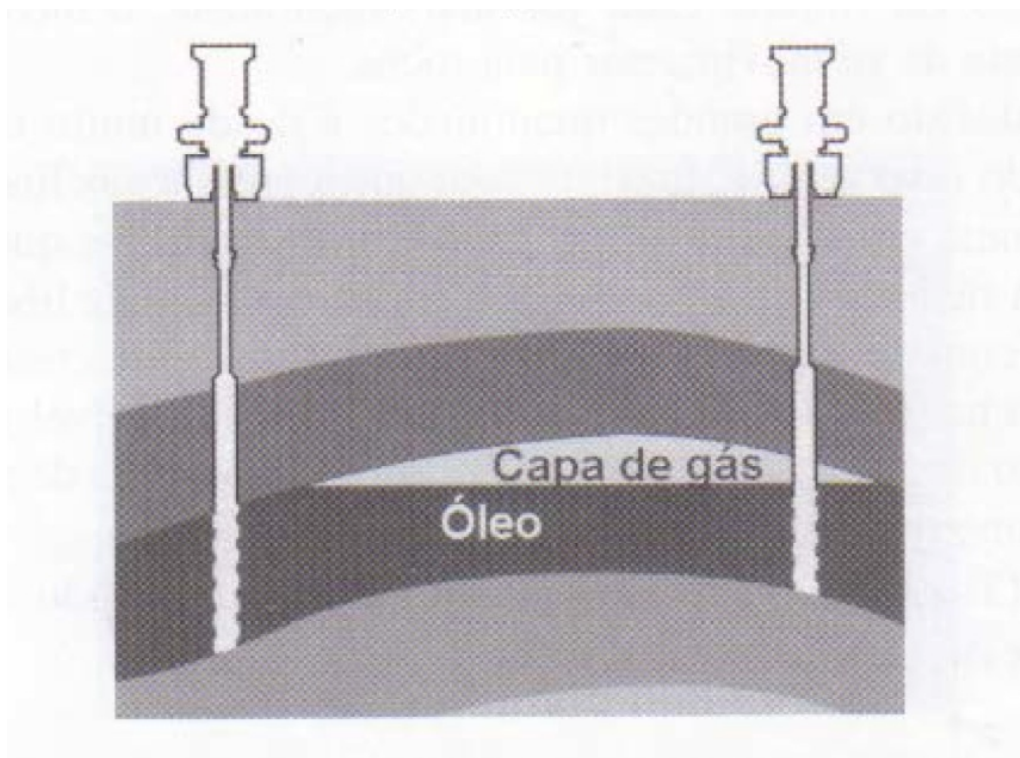


Figura 1 - Reservatório com Mecanismo de Capa de Gás

Fonte: THOMAS, 2001

Como é possível observar, os hidrocarbonetos não se encontram em bolsões livres no subsolo, mas incrustados em rochas e sob condições bastante específicas.

O programa de prospecção de hidrocarbonetos visa, fundamentalmente localizar, dentro de uma bacia sedimentar, as situações geológicas que tenham condições para acumulação de petróleo e verificar qual, dentre estas situações, possui mais chances de conter petróleo. É importante notar o fator probabilístico na localização dos hidrocarbonetos, uma vez que não é possível prever se será encontrado óleo em uma determinada área, mas determinar locais favoráveis para sua ocorrência.

Nestes estudos há um conjunto de técnicas e métodos que, utilizados em conjunto, auxiliam a avaliação do subsolo e o seu potencial de produção (THOMAS, 2001):

- Métodos Geológicos
 - Geologia de superfície
 - Aerofotogrametria
 - Fotogeologia (Figura 2)
 - Geologia de Subsuperfície

- Métodos Potenciais
 - Gravimetria (Figura 3), onde os pontos vermelhos representam maior profundidade.
 - Magnetometria
- Métodos Sísmicos
 - Método Sísmico de Refração
 - Método Sísmico de Reflexão (Figura 4), onde as cores quentes (roxo, vermelho e amarelo) indicam a presença de hidrocarbonetos.

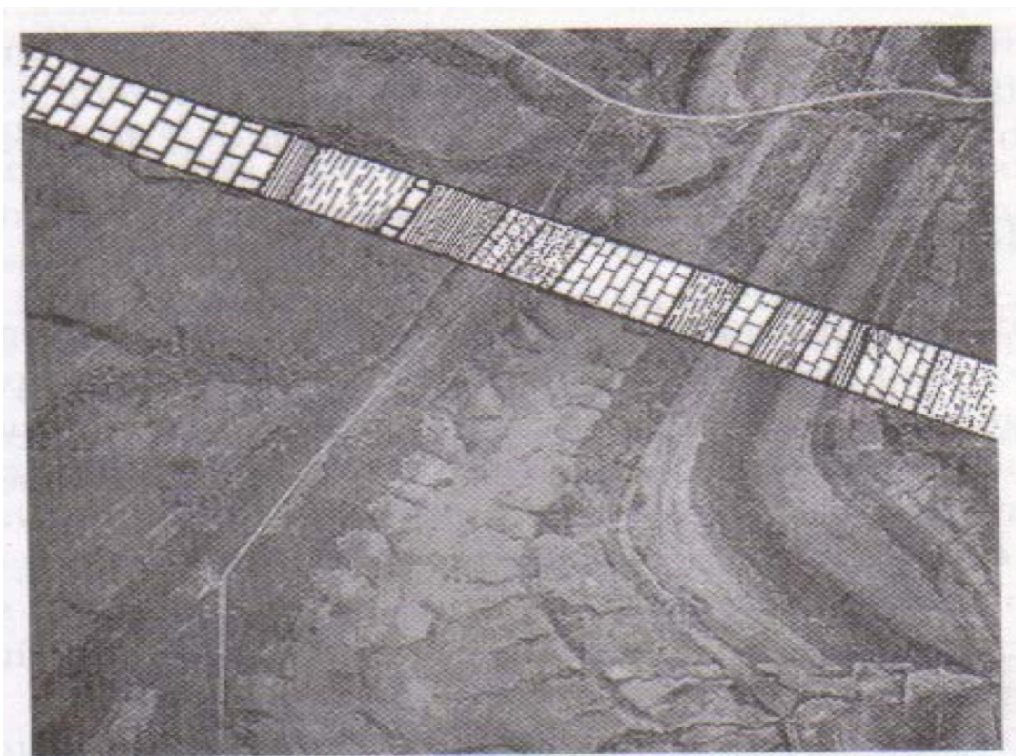


Figura 2 - Interpretação Fotogeológica Mostrando os Diferentes Tipos de Rochas
FONTE: THOMAS, 2001

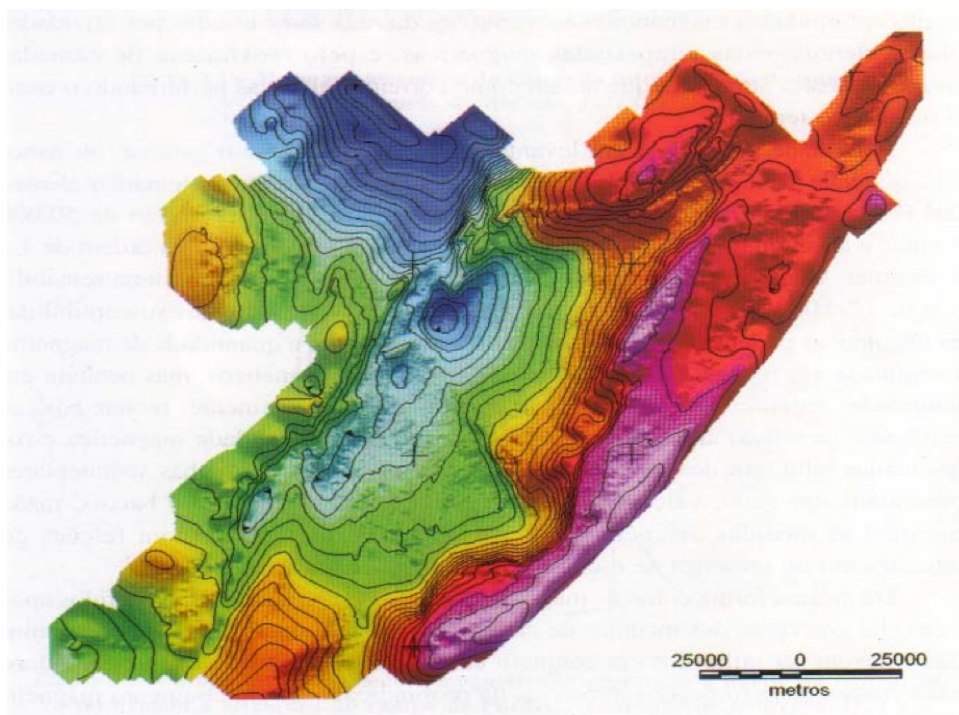


Figura 3 - Representação do Solo Submarino por Gravimetria.
FONTE: THOMAS, 2001

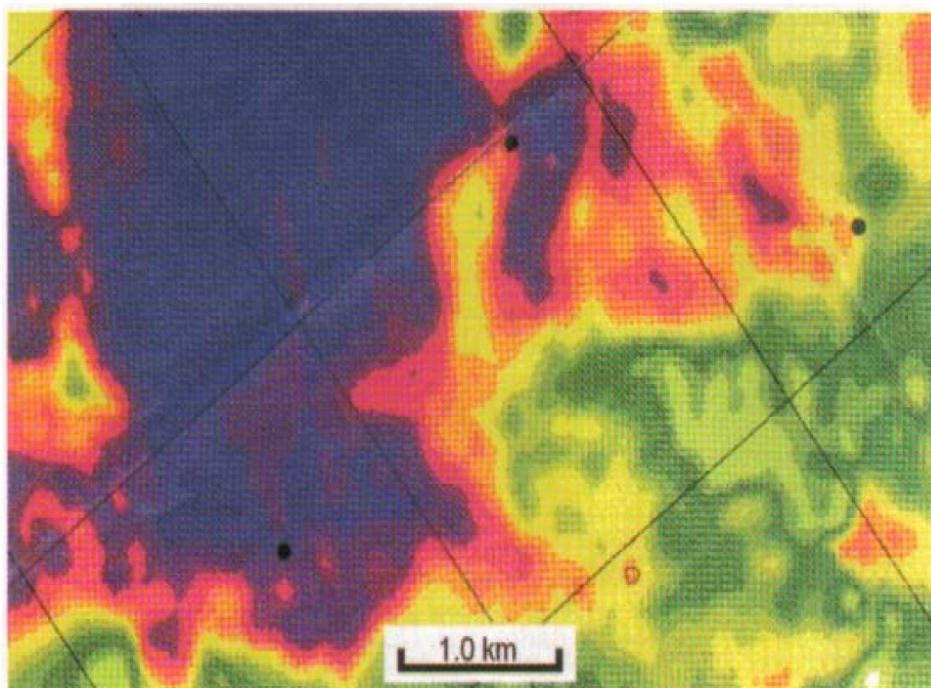


Figura 4 - Mapa Gerado por uma Análise Sísmica.
FONTE: THOMAS, 2001

Mais de 90% dos investimentos em prospecção são aplicados em sísmica de reflexão, sendo o método de prospecção mais utilizado na indústria do petróleo por fornecer alta definição das feições geológicas em subsuperfícies propícias à

acumulação de hidrocarbonetos, a um custo relativamente baixo (THOMAS, 2001; CANELAS, 2007).

O levantamento sísmico inicia-se com a geração de ondas elásticas, através de fontes artificiais (Figura 5), que se propagam pelo interior da terra, onde são refletidas e refratadas nas interfaces que separam rochas de diferentes constituições e retornam à superfície, onde são captadas por equipamentos de registro. Este método pode ser utilizado tanto em meio marinho quanto em meio terrestre.

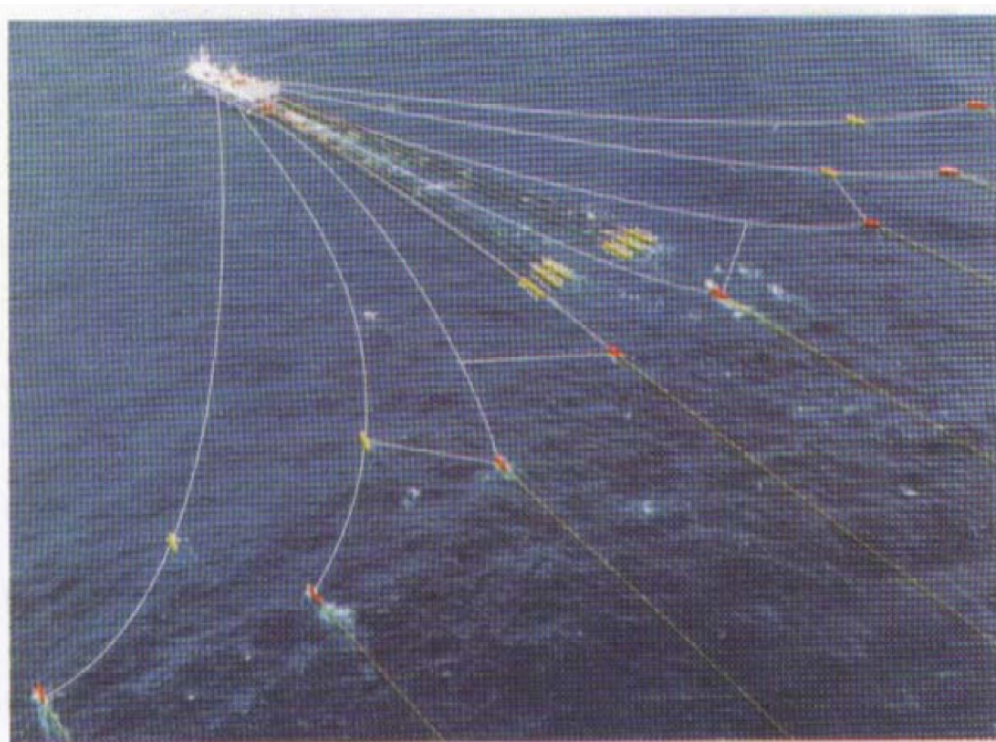


Figura 5 - Levantamento Sísmico.

FONTE: THOMAS, 2001

2.4.2 Perfuração e Completação

A fase de perfuração é aquela na qual realmente se confirma, ou não, as suspeitas de existência de hidrocarbonetos na região avaliada com a efetiva perfuração do subsolo em busca de petróleo. Caso não se confirme a existência de óleo ou gás, as amostras retiradas são analisadas em laboratório, fornecendo dados sobre a história e a natureza do perfil geológico da região. Estas análises podem ser utilizadas como indicativos para novas explorações (BRAÑA, 2008).

A fase de completação refere-se ao conjunto de operações destinadas a equipar o poço para a produção de óleo ou gás. A completação de um poço de petróleo permite que o reservatório de hidrocarbonetos seja conectado e controlado de maneira segura pela unidade estacionária de produção, e consiste na instalação de diversos equipamentos no interior e exterior do poço. Estes equipamentos são responsáveis pelo controle de vazão dos fluidos, elevação artificial, aquisição de dados e controle da produção de dejetos (VILLELA, 2004).

2.5 Sistemas Produtivos

Durante os mais de 150 anos de produção industrial de óleo e gás, os níveis produtivos aumentaram de maneira impressionante. Um exemplo desse aumento, é a produção de óleo na Noruega, representada no gráfico 4. Entre 1970 e 1980 a produção chegou a 500 mil barris por dia. Em 2005, 25 anos depois, a produção estava alcançando o nível dos 3,5 milhões de barris por dia, somando todos os poços produtores neste país (SÖDERBERG et al, 2010).

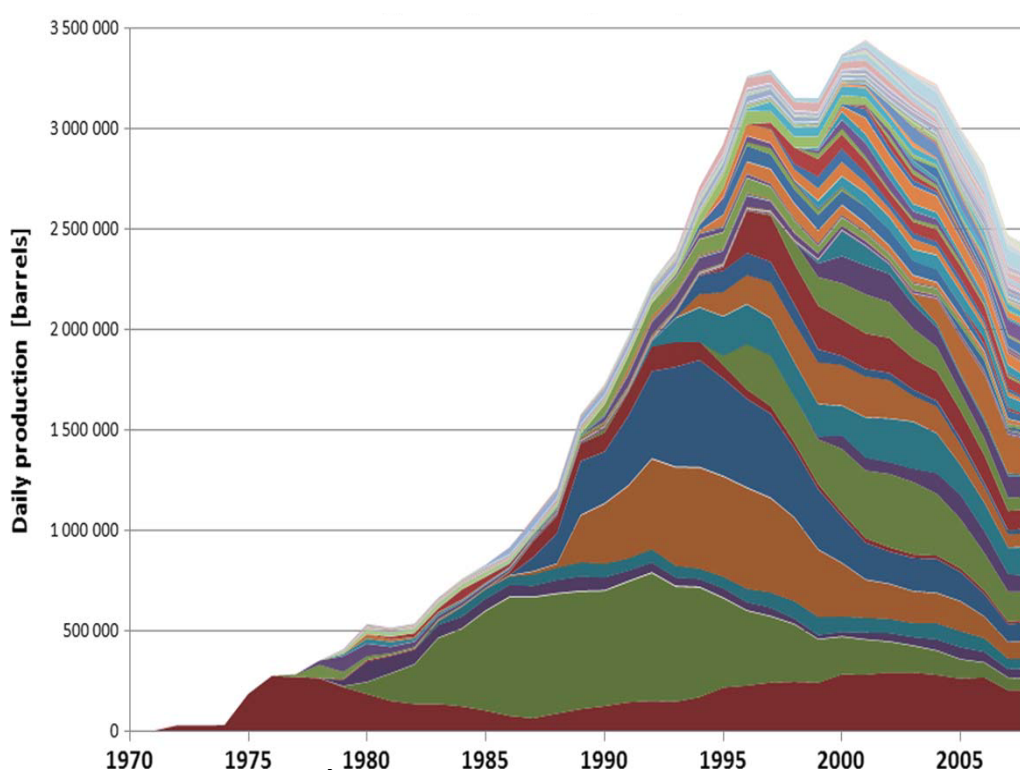


Gráfico 4 - Produção de Óleo na Noruega - Visão Poço por Poço

FONTE: SÖDERBERG et al, 2010.

Em 1859, a produção atingida pelo Coronel Drake era de 2000m³ por dia (aproximadamente, 300 barris/dia). Em 2010, a maior produtora de petróleo do mundo extraiu 4,4 milhões de barris por dia. Somando a produção das 8 maiores exploradoras do mundo, temos uma produção diária de aproximadamente 22 milhões de barris por dia.

Hidrocarbonetos podem ser extraídos, basicamente, de duas formas. A produção *Onshore* está relacionada ao produto retirado em meio terrestre seguindo o modelo tradicional, criado pelo Cel. Drake. A produção *Offshore* está relacionada com a produção em meio marinho, onde também é seguido o modelo criado em 1850, porém com uma série de adaptações para permitir a produção de maneira industrial em meio marinho.

Existem também as formas não tradicionais de produção de óleo, como os *oil sands*, o óleo extra pesado, transformação de gás para líquidos, transformação de carvão para líquidos. Estes processos constituem 8% da produção mundial de hidrocarbonetos, porém, representam as maiores reservas de hidrocarbonetos do mundo (SÖDERBERG et al, 2010).

2.5.1 Produção *Onshore*

Foi no modelo de produção *Onshore*, onde teve início a indústria de exploração de hidrocarbonetos. A Figura 6 mostra o poço produtor do Coronel Drake, em 1859 com sua produção de 300 barris por dia. Naquela época, os poços eram escavados em profundidades de 50m (DEVOLD, 2006).



Figura 6 - Extração de Petróleo *Onshore* em 1859

FONTE: DEVOLD, 2006

As facilidades para produção de hidrocarbonetos *Onshore* consistem, basicamente, de uma bomba, conforme mostrada na Figura 7, para os casos em que o óleo não tem força suficiente para se elevar naturalmente. As árvores de natal são usadas nos casos onde não há a necessidade de um método de elevação artificial e elas têm a função de controlar o fluxo do fluido e garantir a funcionalidade do poço escavado. Um exemplo de árvore de natal para produção *Onshore* é mostrado na Figura 8.



Figura 7 - Bomba para Produção de Petróleo Onshore

FONTE: DEVOLD, 2006



Figura 8 - Árvore de Natal para Produção Onshore

FONTE: DEVOLD, 2006

É importante lembrar que, antes da etapa de extração, existem várias outras etapas preparatórias, conforme descritas no início deste capítulo.

Em alguns casos, o hidrocarboneto pode ser encontrado em seu estado puro, sem mistura com outro componente. Porém, na maioria dos casos o material extraído é constituído de uma mistura de óleo, gás e outros materiais contaminantes como areia, água ou lama. Com o objetivo de separar os materiais produzidos, existe a etapa de separação que ocorre logo após a sua extração. A Figura 9 representa uma facilidade de separação de hidrocarbonetos *Onshore*.



Figura 9 - Facilidade para Separação de Hidrocarbonetos
FONTE: DEVOLD, 2006

O hidrocarboneto extraído será enviado para reservatórios via dutos onde será transportado para unidades de beneficiamento por caminhões tanque ou oleodutos/gasodutos.

A exploração de *Onshore* se torna economicamente viável a partir de uma produção de poucos barris por dia, sendo a modalidade mais barata de se produzir petróleo (DEVOLD, 2006).

2.5.2 Produção *Offshore*

As facilidades de produção *Offshore* vão variar de acordo com as características do solo submarino, configuração dos poços e condições do mar na região a ser

explorada. Neste processo, existirão 3 tipos de componentes principais: a unidade exploradora, o arranjo submarino e as facilidades de exportação.

Estes três itens são representados na Figura 10.

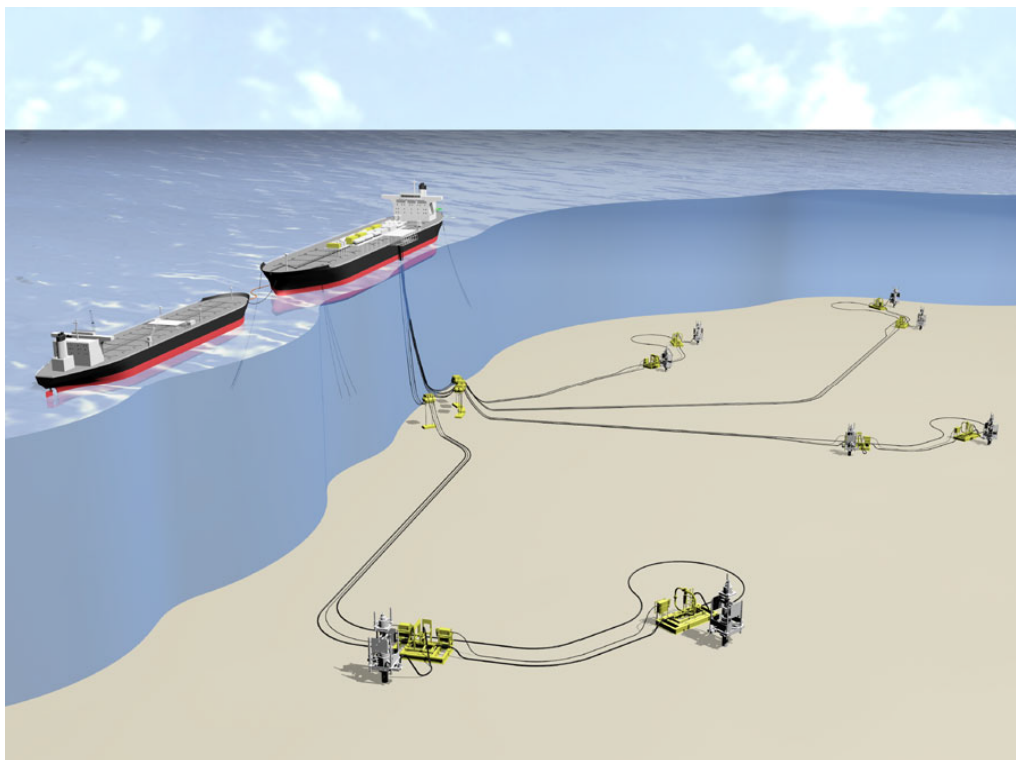


Figura 10 - Exploração Offshore

FONTE: MMS, 2002

A Figura 11 mostra outras possibilidades de produção de petróleo no meio *Offshore*.

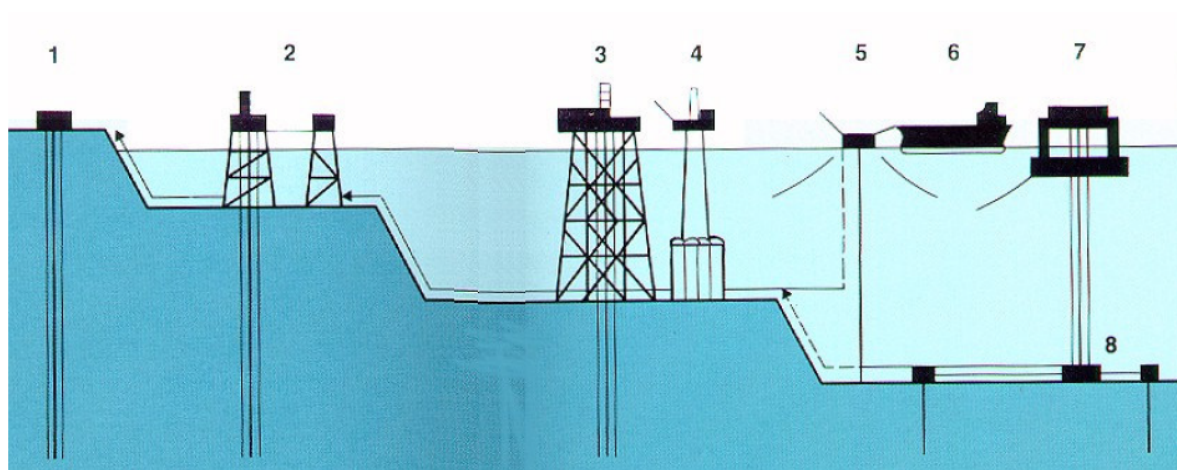


Figura 11 - Arranjos produtivos Offshore

FONTE: DEVOLD, 2006

(1) Poço Onshore

- (2) Produção *Offshore* com plataformas fixas e combinadas
- (3) Produção *Offshore* com plataforma fixa e independente
- (4) Produção *Offshore* com plataforma com base de concreto e independente
- (5) Ponto *Offshore* de ancoragem e distribuição de fluidos
- (6) Navio de estocagem
- (7) Produção *Offshore* com plataforma flutuante “*Tension Leg*”
- (8) *Manifolds* submarinos

É importante notar que, apesar das diferentes configurações e tipos de plataformas, o óleo sempre será extraído e transportado por meio de tubulações.

A quantidade de tubos necessários irá variar de acordo com arranjo utilizado. Mas o fato é que, com as tecnologias atuais, é impossível de se extrair petróleo em meio *Offshore* sem a utilização de tubos.

Neste modelo de produção, os tubos podem ter diferentes aplicações, conforme listado abaixo (API17A, 1996):

- (1) *Flowlines* – São tubos utilizados para o transporte dos hidrocarbonetos a partir do poço e estendidos no leito do mar, sem aplicação de esforços dinâmicos;
- (2) Linhas de Coleta – Utilizadas para transportar fluidos de dois ou mais poços de produção a um ponto central;
- (3) Linhas de Injeção – Utilizadas para a injeção de água, gás, metanol ou outros produtos químicos em um determinado poço;
- (4) Linhas de Serviço – Utilizadas para realização de testes e controle do poço;
- (5) *Risers* – São tubos ligados aos flowlines, com o objetivo de fazer com que o hidrocarboneto suba até a unidade produtora. A diferença está no fato que os risers são estruturas preparadas para sofrer esforços dinâmicos.

A utilização de *manifolds* submarinos é de extrema importância, uma vez que são usados como *hubs* submarinos, ligando vários poços a uma mesma unidade produtiva (plataforma). Neste tipo de configuração, a utilização de dutos é vital para

a produção de hidrocarbonetos, permitindo a elevação dos fluidos do leito marinho à superfície e também o escoamento dos produtos por até 250 km (DEVOLD, 2006).

2.5.3 Formas Não Tradicionais de Produção

A eficiência produtiva e retorno econômico da produção de óleo pesado e betume dos reservatórios ao redor do mundo representa um grande desafio técnico, baseado em dois aspectos: retirar o óleo dos seus reservatórios e a conversão destes materiais em produtos utilizáveis.

Estes dois produtos contêm uma proporção muito maior de resíduos materiais, principalmente os de natureza asfáltica, o que os torna muito viscosos. Em termos das características do produto, a dificuldade produtiva está diretamente ligada a sua alta viscosidade.

A conversão destes produtos envolve processos de fracionamento residual como coqueificação ou hidrofracionamento. O alto teor de enxofre e nitrogênio demanda uma alta utilização de água nestes processos.

Com a disponibilidade de óleo cru em declínio, se desenvolve cada vez mais um incentivo para o aumento e melhoria dos processos de exploração dos reservatórios. Os métodos mais importantes são:

- Exploração térmica
 - *Steam Stimulation*
 - *Steam Flooding*
 - *Hot Waterflooding*
 - *In situ Combustion*
- Processos Químicos
 - *Surfactant Floods*
 - *Polymer Floods*
 - *Alkaline Floods*
- Deslocamento Miscível
 - *Light Hydrocarbon Floods*
 - *Carbon Dioxide Floods*

Mesmo com o aumento no incentivo do desenvolvimento destes processos produtivos, eles ainda são extremamente caros em relação aos processos convencionais, o que limita o desenvolvimento pleno das tecnologias (BULTER, 1991). Apesar disso, a previsão é que até 2030, a produção não convencional de hidrocarbonetos se desenvolva 8% ao ano, podendo ser considerado como um *boom* tal como o ocorrido após a segunda guerra mundial (SÖDERBERGH et al, 2010).

Para o escoamento da produção destes produtos, a utilização do transporte dutoviário é de suma importância. Nos Estados Unidos, os dutos começaram a ser usados a partir da segunda guerra mundial, quando submarinos alemães atacavam navios tanque no golfo do México, Costa do Atlântico e Caribe. Com investimento privado e do governo, o transporte em grandes distâncias com a utilização de tubos de grande diâmetro se tornou possível. A capacidade de transporte adquirida foi de tamanha importância que ajudou a impulsionar o *boom* econômico do pós guerra e mudou o formato da indústria do petróleo (TRENCH, 2001).

No mercado americano, o sistema dutoviário está no coração do transporte do Petróleo e representa a maneira mais eficiente para atendimento da demanda. Considerando apenas a distribuição de hidrocarbonetos, o sistema dutoviário transporta dois terços de todo óleo americano (TRENCH, 2001). A Figura 12 representa a malha dutoviária norte americana, que é utilizada para escoamento do óleo produzido *Onshore*, *Offshore* e também do óleo bruto encontrado nos *oil sands*, no Canadá.

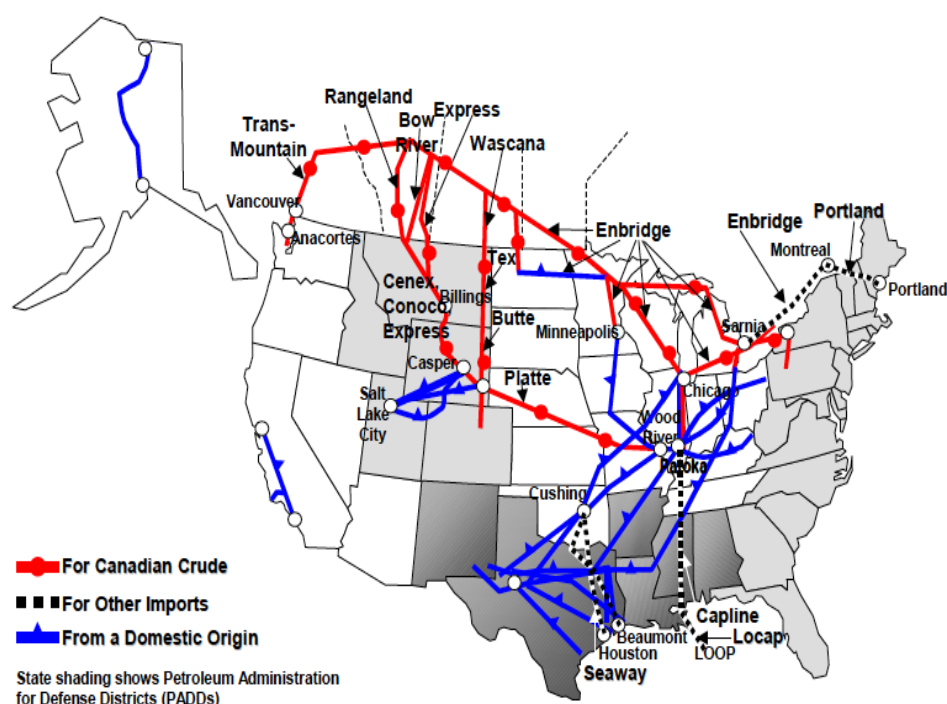


Figura 12 - Sistema de Escoamento de Óleo Cru Norte Americano
 FONTE: TRENCH, 2001

2.6 Transporte Dutoviário de Hidrocarbonetos

Conforme apresentado em 2.5.1, 2.5.2 e 2.5.3, independente do modo produtivo, o sistema dutoviário é vital para a produção de hidrocarbonetos.

Na produção *Onshore*, os dutos são usados logo na saída do poço levando o hidrocarboneto à unidade de separação.

No modelo *Offshore*, os dutos também têm a função de levar o hidrocarboneto da cabeça do poço à unidade de separação. Porém, neste caso, estes são utilizados em maior quantidade, tendo em vista as grandes distâncias entre as unidades produtoras e o leito marinho.

Finalmente, para as formas de produção não tradicionais, os dutos estão presentes no processo de produção dos hidrocarbonetos, com uma grande participação na distribuição dos produtos até as unidades de refino.

A partir da avaliação dos processos produtivos, é possível perceber a forte ligação entre a utilização do sistema dutoviário e a produção de hidrocarbonetos. Nos

modelos atuais de produção, todo barril de óleo produzido em qualquer meio que seja, passará por tubulações em algum ponto da sua cadeia produtiva, antes de se tornar um produto refinado.

Esta ligação resulta em uma relação direta entre a capacidade produtiva e a capacidade de transporte de fluidos. Quanto maior a capacidade de uma empresa em transportar os fluidos extraídos, maior será a sua capacidade produtiva.

3 Produtividade e Eficiência

Numa discussão sobre a performance econômica de produtores, é comum que sejam descritos como mais ou menos “eficientes” ou mais ou menos “produtivos”. Por trás disto, existe a discussão entre os conceitos de eficiência e produtividade que são consideradas algumas hipóteses relacionadas aos determinantes da performance produtiva e às consequências financeiras desta performance.

Segundo FRIED et al, 2008, entende-se por produtividade a razão entre os *outputs* (produtos) e seu *inputs* (insumos) de uma determinada entidade. Esta razão pode ser calculada facilmente, se o produtor usar apenas um *input* que resultará em um único *output*. Entretanto, geralmente são usados diversos *inputs* para produzir diversos *outputs*. Os *outputs* serão colocados no numerador de uma maneira agregada, assim como os *inputs* no denominador. Logo, a produtividade será a razão de duas escalas. O crescimento produtivo se torna, então, a diferença entre o crescimento dos *outputs* em relação ao crescimento dos *inputs*, considerando que os *inputs* representam todos os fatores agregados que resultam nos *outputs*.

A variação da produtividade, seja entre produtores ou através do tempo, é então um resíduo, o qual foi caracterizado como “a medida da nossa ignorância” (ABRAMOVITZ, 1956). A princípio, este resíduo pode ser atribuído a diferenças tecnológicas de produção, na escala de operação, na eficiência da operação ou no ambiente no qual a operação ocorre (BLS, 2005; OECD, 2001). A correta atribuição dos desvios é importante para a adoção de práticas gerenciais ou políticas públicas com o objetivo de aumento de performance. A tendência natural é que haja um interesse maior nos três primeiros componentes, que têm maior controle gerencial. Apesar disto, o interesse está centrado nos componentes de eficiência e na medição da sua contribuição na variação da produtividade e na contribuição intertemporal na mudança da produtividade (FRIED et al, 2008).

Ainda segundo FRIED et al, 2008, por eficiência de um produtor entende-se a comparação entre os valores observados e os valores ótimos. A análise pode envolver a comparação do *output* máximo potencial em relação ao *output* máximo obtido dos *inputs*, ou a comparação do *input* observado com a quantidade mínima

de *inputs* necessários para realizar os *outputs* ou alguma combinação dos dois. Nestas duas comparações, o ótimo é definido em termos das possibilidades produtivas e a eficiência é um fator técnico. Também é possível a definição do ótimo em termos do objetivo de um produtor. Neste caso, a eficiência é medida pela comparação entre observado e o ótimo custo, lucro ou qualquer outro objetivo que o produtor queira atingir. Neste segundo caso, o ótimo é expressado em termos de valores e a eficiência é econômica.

A medição da eficiência envolve uma comparação da performance atual com a performance ótima, delimitando uma fronteira. Considerando que a fronteira real é desconhecida, um modelo empírico se faz necessário. Esta aproximação é, frequentemente, chamada de fronteira de “Melhor Prática”.

A teoria econômica de produção é baseada em fronteiras de produção e em valores de chaves, como o custo, lucro ou investimentos resultando em análises de demanda com o objetivo de minimização de custos ou de suprimento para maximização de lucros. A ênfase é dada na otimização de um item em relação às suas restrições. Apesar da teoria das fronteiras ter sido objetivo de estudo por longo tempo, o interesse em envolver dados com fronteiras tem sido substituído pelo cruzamento de dados e funções.

Esta medição pode ser feita a partir de uma análise econométrica, onde o objetivo é a análise das fronteiras econômicas e a medição da eficiência relativa a estas curvas. Para isto, são usadas técnicas econométricas não convencionais como os modelos *single-equation cross section*, *single-equation panel-data*, *Multiple equations* ou *Shadow price*.

Em contraste, existem as técnicas de programação matemática que têm como base o envolvimento de dados de forma que podem ser aplicadas mais diretamente à análise de eficiência, o que as tornam atraentes, porém não são aceitas por muitos profissionais do meio econômico, tendo em vista a sua desvantagem prática de incorporar erros estatísticos dos dados em seus resultados. Apesar disso, estas técnicas continuam sendo largamente utilizadas nas ciências de gerenciamento e

pesquisa operacional. A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*) é um dos maiores exemplos destas técnicas (FRIED et al, 2008).

3.1 Curvas de Produção

A relação entre insumos e produtos está diretamente ligada à análise de eficiência e é denominada de retorno de escala (BRUNETTA, 2004).

Podendo ser consideradas as bases da análise da eficiência, de maneira geral, as curvas de produção visam definir uma relação entre recursos e produtos. As hipóteses a serem consideradas para esta relação, determinam que:

- (1) Há retornos constantes de escala quando o acréscimo no consumo de recursos resulta em aumentos proporcionais na quantidade de produtos obtidos. Se o insumo aumentar ou diminuir num fator λ , sendo λ um escalar positivo, a produção irá aumentar ou diminuir por este mesmo fator λ (Figura 13, Gráfico A) (KASSAI, 2002;BRUNETTA, 2004).
- (2) Há retornos decrescentes (ou não crescentes) de escala na situação em que acréscimos no consumo de insumos acarretam aumentos menos que proporcionais na geração de produtos. Ao multiplicar a quantidade de insumos por um fator $\lambda > 1$, os produtos serão multiplicados por um fator $\lambda' \leq \lambda$ (Figura 13, Gráfico B) (KASSAI, 2002; BRUNETTA, 2004).
- (3) Há retornos crescentes (ou não decrescentes) de escala se um acréscimo no consumo de recursos implica em um aumento mais que proporcional na quantidade de produtos obtidos. Ao multiplicar a quantidade de insumos por um fator $\lambda > 1$, os produtos serão multiplicados por um fator $\lambda' \geq \lambda$ (Figura 13, Gráfico C) (KASSAI, 2002;BRUNETTA, 2004). Há retornos variáveis de escala quando o produtor não segue nenhum dos padrões anteriores, ou seja, quando os insumos são multiplicados por um fator λ a produção pode seguir qualquer comportamento em relação a este fator λ (Figura 13, Gráfico D) (BRUNETTA, 2004).

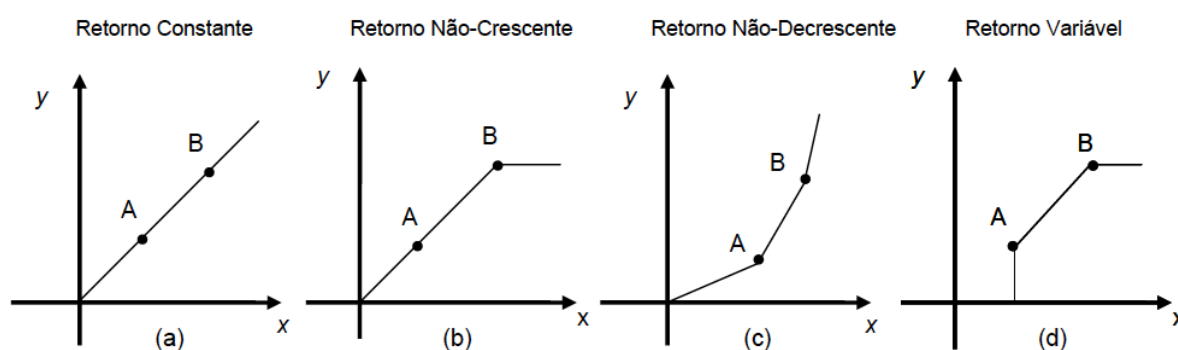


Figura 13 - Retornos em Escala

Fonte: BRUNETTA, 2004

3.2 Data Envelopment Analysis – DEA

Como citado anteriormente, o DEA é uma técnica de programação matemática que tem o objetivo de avaliar a performance de um conjunto de entidades chamadas DMU (*Decision Making Units*), as quais usam múltiplos *inputs* em múltiplos *outputs* (FRIED et al, 2008; ZHU et al, 2011). A definição de DMU é genérica e flexível. Recentemente tem sido visto uma grande variedade de aplicações para o DEA na avaliação de performance das mais variadas entidades envolvidas nos mais variados contextos ao redor do mundo. Estas aplicações DEA têm usado DMUs de várias formas para avaliar a performance de entidades como hospitais, Força Aérea Americana, universidades, cidades, empresas privadas, entre outras, podendo incluir a performance de países e regiões mundiais. Por se tratar de um modelo que demanda poucas premissas, DEA tem aberto possibilidades para o tratamento de casos que não poderiam ser tratados por outros modelos, tendo em vista a complexidade do relacionamento entre vários *inputs* e vários *outputs* atribuídos a um conjunto de DMUs (ZHU, 2011).

Introduzido em 1978, o modelo DEA tem sido reconhecido ao longo do tempo pela sua excelência e facilidade de uso na modelagem de processos e avaliações de performance. A sua orientação empírica e a ausência da necessidade de numerosas premissas, assim como em outros modelos, têm ajudado na sua aplicação em análises em setores públicos, privados e não-lucrativos. No seu artigo original, Charnes et al descrevem DEA como um modelo de programação matemática aplicada a dados observacionais que fornece uma nova maneira de obter relações

empíricas estimadas – como as funções de produção e/ou planos produtivos de eficiência – que são as pedras fundamentais da economia moderna (CHARNES et al, 1978).

DEA é uma metodologia direcionada às fronteiras, ao invés de tendências centrais. A partir desta perspectiva, DEA prova estar adequado a cobrir relacionamentos que ficariam escondidos em outras metodologias. Por exemplo, considerando a definição de eficiência, ou mais, o significado de dizer que uma DMU é mais eficiente que outra DMU, temos uma associação direta ao modelo, sem a necessidade da definição de restrições explícitas ou variações que são pedidas por outros modelos como por exemplo os de regressão linear e não linear (ZHU, 2011).

ANDRIES, 2010, aponta um aspecto negativo no modelo que é a consideração de que a ineficiência seria constante e estável durante o tempo, ignorando a existência de uma curva de experiência. Este fato é de difícil aceitação, principalmente quando aplicado a longos períodos. Com o passar do tempo, é esperado que as entidades pudessem aprender com os erros do passado, modificando suas decisões, de forma que a ineficiência não seria constante durante o tempo.

3.2.1 Histórico

É razoável pensar que as origens do DEA estejam relacionadas com o desenvolvimento da teoria da produção. Acredita-se que os precursores desta teoria foram o fazendeiro alemão Heinrich Von Thünen (1873-1850) e o filósofo francês Antoine Agustín Cournot (1801-1877). Durante aproximadamente dez anos, Heinrich coletou dados de sua fazenda no Norte da Alemanha e os aplicou no desenvolvimento de suas teorias que são consideradas as primeiras sobre produtividade marginal, princípio da substituição e localização ótima de vários tipos de atividades agrícolas. Cournot, por sua vez, seguindo a influência de matemáticos como Lagrange e Laplace, criou os princípios da matemática social, ou seja, a ideia de que as ciências sociais assim como as naturais devem ser tratadas matematicamente. A primeira função de demanda foi construída por Cournot e a sua obra *Researches Into the Mathematical Principles of Wealth*, publicada em 1838 foi sua maior contribuição à economia com a introdução de vários conceitos base da

economia moderna como a função de demanda, funções de custo e algumas ideias sobre retornos em escala e maximização de lucros (SHIMONISHI, 2005).

A partir dos estudos destes dois autores, várias contribuições significativas foram geradas, como por exemplo, a obra *Elements of Pure Economic*, publicada em 1874, onde Marie-Éspirit Léon Walras (1834-1910) apresentava seu conceito de demanda e oferta relacionado com o processo de maximização da unidade. Porém, em 1893, as ideias de Walras começaram a ser substituídas pelo pensamento de Pareto. Vilfredo Pareto (1848 – 1923) foi o substituto de Walras na cadeira de economia política na Universidade de Lausanne/Suíça. Algumas ideias básicas do DEA surgem então com Pareto, quando ele estabelece a noção de Otimalidade-Pareto no seu *Manual of Political Economy*, dizendo que uma sociedade somente atinge a otimalidade quando nada pode ser melhorado sem que algo possa ser piorado (SHIMONISHI, 2005).

O manual de Pareto foi adaptado e editado por Koopmans em 1951, no livro *Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities*. Pareto e Koopman estavam preocupados com uma análise global da economia. Em tal contexto, é razoável permitir que o valor e quantidade dos *inputs* sejam determinadas a partir da sua capacidade em satisfazer demandas finais. Entretanto, Farrell estendeu a propriedade de Pareto-Koopmans também para os *outputs* e, explicitamente, negou o uso de preços e mecanismos de troca. Ainda mais importante que isso, ele usou performances de outras DMUs para avaliar o comportamento de cada DMU em relação aos seus *inputs* e *outputs*, tornando possível a determinação empírica de suas eficiências relativas. Este resultado de medida de eficiência foi definido como eficiência técnica, ou a quantidade de gastos que poderiam ser eliminados sem prejuízo para os *Outputs* ou *Inputs*. (ZHU, 2011)

Em 1978, em um artigo escrito por Charnes, Cooper e Rhodes, é proposto um modelo de pesquisa operacional, CCR, que generaliza o modelo criado por Farrel, sugerindo a utilização de múltiplas entradas e saídas com a comparação de diferentes DMUs. O propósito do estudo era a utilização em programas públicos. Estes programas seriam considerados uma composição de diferentes DMUs com

entradas e saídas em comum não sendo limitados à unidade (CHARNES et al., 1978).

O artigo cita o programa *Follow Through*, que foi um grande programa educacional implantado nos EUA, que teve seu auge nos anos 60 e 70, mas que continuou recebendo investimentos do governo americano até 1995. O objetivo do programa era de acompanhar o desenvolvimento acadêmico de estudantes americanos para uma posterior avaliação do sistema educacional como um todo. Naquela época acreditava-se que crianças pobres teriam pior desempenho escolar, e essa era a afirmação a ser desmistificada (EGBERT, 1981).

É nesse contexto que se inicia o estudo de Charnes, Cooper e Rhodes, quando cada escola é considerada uma DMU que teria sua eficiência comparada com base nos *outputs* padrões do meio educacional como, por exemplo, habilidades psicomotoras, afetivas e cognitivas, com a utilização de *inputs* como testes psicológicos, avaliação de atitudes e avaliação matemática, entre outros.

Segundo o estudo, todas estas entradas e saídas seriam consideradas valiosas para a comparação, mesmo que algumas possam não ter relação direta com o assunto. Em relação aos dados de entrada, haveria dados de fácil verificação e mensuração, como o número de professores por hora, ou dados de difícil levantamento como, por exemplo, o tempo gasto em atividades na comunidade ou com seus pais.

A utilização do termo DMU foi escolhida para reforçar que o interesse central do artigo era a tomada de decisão por unidades sem fins lucrativos, deixando claro que as variáveis de entrada do modelo não são somente valores utilizados no mercado, como por exemplo, preços de venda, custo de produção ou outros dados de mercado (CHARNES et al, 1978).

Em 1984, uma nova abordagem para o problema é proposta. Um estudo de Banker, Charnes e Cooper (BCC), para a definição da fronteira de eficiência, abrindo a possibilidade para o tratamento de dados num ambiente de retorno de escalas variáveis, enquanto o modelo CCR, criado por Charnes em 1978, considera que os retornos em escala seriam constantes.

Atualmente, DEA engloba uma variedade de abordagens para avaliação de performance. O modelo inicial(CCR) foi aprofundado para modelos que consideram a estrutura dual do problema e passou a incorporar propriedades como isotonicidade, não-concavidade, economias de escala, linearidade por partes, formas Cobb-Douglas Loglineares, *inputs* discretos e não discretos e variáveis categóricas de forma a aumentar ainda mais a aplicabilidade e versatilidade da metodologia (ZHU, 2011).

3.2.2 Ferramenta de Apoio à Decisão

Apesar da sua larga utilização, o uso do DEA deve ser feito com cautela para que os resultados fornecidos sejam consistentes. É considerado como boa prática que o DEA não seja usado isoladamente, e sim como uma ferramenta dentro de um ciclo completo de gerenciamento.

Como forma de contornar estes problemas, DYSON *et al.* (2001), sugerem protocolos para evitar falhas e guiar a sua aplicação com a identificação de três ítems de foco durante a aplicação da ferramenta, sendo eles: homogeneidade, seleção dos *inputs* e *outputs* e fatores de medida.

Como exemplos destes protocolos, é possível citar a utilização de análise por cluster nos casos onde se deseja utilizar DMUs não homogêneas em um mesmo modelo. Na seleção dos *inputs* e *outputs*, pode-se atingir um maior grau de discriminação, quando o número de variáveis é muito grande, com a utilização, apenas, dos *inputs* que podem ser precificados e a eliminação dos *outputs* que não estejam diretamente ligados à atividade da DMU. Em relação aos fatores de medida, a aplicação de escalas multiplicadoras pré-definidas possibilita a normalização de valores representados em percentuais ou em valores com escalas discrepantes.

Num contexto mais amplo, os resultados fornecidos por DEA podem ser analisados em busca da consistência e consequente validação, mesmo porque modelos matemáticos nunca fazem uma representação exata do mundo, embora sendo consistentes e apresentando bons resultados. Desta forma, ao comparar organizações com funções similares e definir as que são tecnicamente eficientes dentro do grupo, DEA permite a definição de metas eficientes tomando por base a

organização eficiente, consolidando-se assim como uma importante ferramenta de apoio à decisão (SHIMONISHI, 2005).

3.2.3 Etapas Propostas da Metodologia DEA

Para a aplicação dos modelos DEA, são necessárias as seguintes etapas:

- (1) Seleção e definição das DMUs a entrarem na análise;
- (2) Seleção e manipulação das variáveis(*inputs* e *outputs*) que são relevantes e apropriadas para estabelecer a eficiência relativa das DMUs selecionadas;
- (3) Definição e aplicação dos modelos;
- (4) Interpretação dos resultados.

3.2.3.1 Definição e Seleção das DMUs

Numa análise de eficiência, um produtor é definido como um agente econômico que pode transformar uma série de *inputs* em um conjunto de *outputs*. Numa análise DEA, estes agentes econômicos são chamados de *Decision Making Units* (DMU) de acordo com a noção de que estão sendo avaliadas entidades que têm controle sobre o processo de forma a realizar a transformação de *inputs* em *outputs* (FRIED *et al.* 2008).

O conjunto adotado de DMUs deve ter a mesma utilização de entradas e saídas, variando apenas em intensidade. Deve ser homogêneo, isto é, realizar as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, trabalhar nas mesmas condições e ter autonomia na tomada de decisões. Além disso, é necessário determinar o número de DMUs a serem avaliadas de acordo com o número de variáveis do problema (OLIVEIRA, 2008).

Um modelo com grande número de variáveis pode fazer com que as DMUs sejam bem avaliadas, com o resultado de várias DMUs 100% eficientes. Há uma recomendação empírica não comprovada que o número de DMUs seja pelo menos o dobro ou o triplo do número de variáveis. Alguns estudos indicam que essa relação deve ser entre quatro e cinco vezes maior, principalmente quando se deseja fazer

um comparativo da eficiência entre as unidades, além do cálculo do índice de eficiência (SOARES DE MELLO *et al*, 2004).

3.2.3.2 Seleção e Manipulação das Variáveis

A seleção de variáveis é um ponto amplamente discutido em DEA, podendo ser identificado como a consideração-chave na utilização do modelo e impactando na interpretação, utilização e aceitação dos resultados da análise pelos gestores e partes afetadas. Tendo em vista sua importância, alguns cuidados se fazem necessários durante a seleção das variáveis (KASSAI, 2002):

- (1) deve haver alguma base para acreditar que o relacionamento entre *inputs* e *outputs* é tal que um aumento de *inputs* pode causar aumento em um ou mais *outputs*;
- (2) as variáveis devem ser baseadas em dados correntemente disponíveis ou novas medidas desenvolvidas;
- (3) é desejável que as variáveis sejam medidas conhecidas, garantindo que os gestores já estejam familiarizados com as medidas;
- (4) os gestores devem ser envolvidos na seleção das variáveis;
- (5) as variáveis devem medir integralmente as atividades da organização sob avaliação (extensivas) e devem ser operacionalmente significativas, de utilização corrente;
- (6) devem ser controladas de maneira a não poderem ser facilmente manipuladas ou descuidadamente reportadas, sem possibilidade de detecção e correção;
- (7) consulta a estudos anteriores.

Outros procedimentos podem ser adotados, como por exemplo, a seleção criterial, que procura fazer uma seleção nas variáveis de forma a eliminar as que não agregam valor à análise, a utilização de regressões estatísticas e a análise de correlação e também a análise das variáveis a partir dos resultados do modelo para verificar a pertinência da inclusão ou exclusão de determinadas variáveis para compor o modelo.

3.2.3.3 Considerações sobre *Outputs* Indesejáveis

Em alguns casos a definição das variáveis pode levar a considerações fora dos padrões do modelo.

A descrição do modelo clássico, considera que os *inputs* devem ser minimizados e *outputs* maximizados. Entretanto, desde o trabalho de Koopmans em 1951, que existe a consideração de que o processo produtivo também pode gerar *outputs* indesejáveis como fumaça ou lixo industrial. A aplicação do modelo à saúde e negócios também pode gerar *outputs* desta natureza, como complicações geradas por intervenções médicas e pagamento de impostos, respectivamente (SCHEEL, 2001).

O caso simétrico onde os *inputs* devam ser maximizados também pode acontecer. Por exemplo, nos processos de reciclagem, o objetivo é maximizar a quantidade de *inputs* (lixo).

A presença de variáveis indesejáveis no modelo torna necessário prover o correto tratamento de tais variáveis para que a eficiência das unidades produtivas seja calculada da forma correta. A seguir são apresentadas algumas abordagens que podem ser utilizadas na estruturação do modelo DEA para incorporar tais valores, como (ANGULO MEZA e TSCHAFFON, 2011):

- (1) *Additive Inverse* (ADD) – Neste método os *outputs* indesejáveis são transformados em *outputs* desejáveis através da troca de sinal dos valores dos *outputs*.
- (2) *Incorporating Undesirable Outputs and Inputs* (INP) – Este método considera os *outputs* indesejáveis como *inputs* na estrutura do problema.
- (3) *Multiplicative Inverse* (MLT) – Para incorporar *outputs* indesejáveis ao problema, estes são transformados em seu inverso. Ou seja, tal abordagem utiliza o inverso do *outputs* indesejável como *outputs*. Entretanto, quando o *output* indesejável possuir valor zero, esta abordagem não pode ser usada.
- (4) *Translation* ($TR\beta$) – Esta alternativa de tratamento trata de transladar os valores, ou seja, significa adicionar à abordagem ADD um escalar positivo

(β_i) suficientemente grande para que os valores resultantes sejam positivos para cada DMU. Esta abordagem possui algumas restrições e não pode ser aplicada a todos os modelos DEA.

Como exemplos práticos na literatura, SCHEEL (2001) faz uma análise da emissão de NO_x de algumas economias europeias. O trabalho de ANGULO MEZA e TSCHAFFON (2011) realiza um comparativo entre vinte distribuidoras brasileiras de energia elétrica. Dois *outputs* indesejáveis foram considerados neste caso: a duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC) e a frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC).

Segundo o teorema de SCHEEL (2001) as abordagens de tratamento de *outputs* indesejáveis ADD, TRb e INP resultam em um mesmo grupo de DMUs eficientes, ou seja, seus resultados são equivalentes. A abordagem MLT é considerada mais restritiva, sendo que o grupo de DMUs eficientes com a utilização desta abordagem está contido no grupo gerado com a utilização das abordagens anteriores.

3.2.3.4 Definição e Aplicação do Modelo

A compreensão da tecnologia da DMU, a forma que a DMU transforma seus *inputs* em *outputs*, é de vital importância na definição do modelo. O decisor deverá ser capaz de escolher o modelo que traduza a realidade dos dados em termos de *inputs* e *outputs*, ou seja, o fator disponibilidade de dados e experiência do decisor também são de grande importância (BRUNETTA, 2004).

O modelo poderá ter duas diferentes orientações que indicarão a maneira que uma DMU irá atingir a fronteira de eficiência. Se um modelo é orientado a *inputs*, a sua formulação irá fazer com que as DMUs se aproximem da fronteira produtiva a partir de uma diminuição de recursos, sem que os *outputs* sejam alterados. Na orientação para *outputs*, a formulação irá fazer com que as DMUs se aproximem da fronteira produtiva pela maximização de resultados, mantendo constantes os recursos disponíveis.

Como dito anteriormente, para um número grande de DMUs, é esperado que o modelo retorne um grande número de DMUs eficientes. Este ponto também deve ser

levado em consideração no modelo, uma vez que o DEA considera apenas algumas variáveis para o cálculo de eficiência das DMUs, sendo certo que as variáveis mais favoráveis a cada DMU são geralmente exaltadas, enquanto que as variáveis desfavoráveis ganham pesos bem menores, inclusive podendo ser anuladas para o cálculo da eficiência (ANGULO MEZA e TSCHAFFON, 2011).

3.2.3.5 Interpretação e Análise dos Resultados

Conforme dito anteriormente, o modelo DEA é mais generalista e demanda dados menos específicos do que os modelos econométricos de análise de eficiência, gerando uma grande vantagem em relação ao tempo de processamento, aquisição dos dados e apresentação de dados.

Apesar das vantagens supracitadas, estas duas características do modelo tornam necessários alguns cuidados especiais com a análise dos resultados. Normalmente, os dados de entrada serão baseados, principalmente, na sua disponibilidade e possibilidade de gerenciamento do que na aplicabilidade ao processo produtivo. Ficará a cargo de gestor ou analista, a ponderação sobre os resultados encontrados e a opção de gerar outras simulações de forma a confirmar os resultados gerados.

De maneira geral, o DEA deve ser incluído dentro de um ciclo de gerenciamento como ferramenta de tomada de decisão, conforme mostrado na Figura 14.

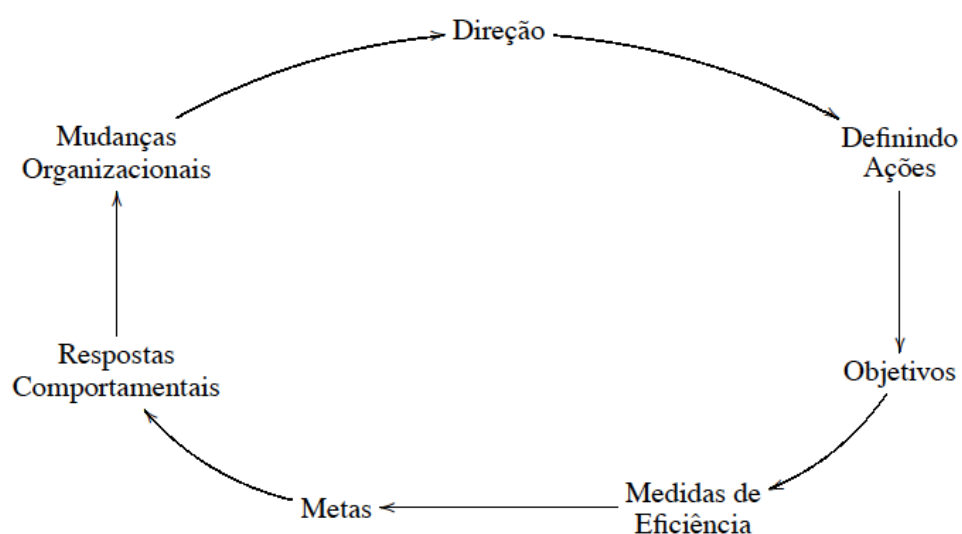


Figura 14 - DEA como Componente de um Ciclo de Gerenciamento
 Fonte: SHIMOSHINI, 2005

3.3 Modelos DEA

Os modelos CCR, criado por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978, e BCC, criado por Banker, Charnes e Cooper em 1984, são os dois modelos tracionais de DEA. De maneira geral, o primeiro considera que os retornos em escala serão constantes, ou seja, um aumento nos *inputs* gera um aumento equivalente nos *outputs*, qualquer que seja a escala de produção, enquanto o segundo admite o retorno variável, ou seja, um aumento nos *inputs* não se refletirá de maneira proporcional nos *outputs*.

Aprofundando a diferença entre estes dois modelos, é necessário nos reportar aos distintos conceitos de eficiência abordados pela Análise por Envoltória de Dados. Esses conceitos são assim apresentados por BELLONI (2000):

- (1) Eficiência produtiva se refere à habilidade de evitar desperdícios produzindo tantos resultados quanto os recursos utilizados permitem, ou utilizando o mínimo de recursos possível para aquela produção. Tradicionalmente, a eficiência produtiva é decomposta em dois componentes: eficiência de escala e eficiência técnica;
- (2) Eficiência de escala é o componente da eficiência produtiva associado às variações da produtividade decorrentes de mudanças na escala de operação;
- (3) Eficiência técnica é o componente da eficiência produtiva que resulta quando são isolados os efeitos da eficiência de escala. A ineficiência técnica está associada à habilidade gerencial dos administradores;

Uma vez definidos esses conceitos, pode-se relacioná-los com os modelos CCR e BCC da análise por envoltória de dados.

O modelo CCR é utilizado para calcular o indicador da eficiência produtiva. Se uma unidade é considerada eficiente do ponto de vista da eficiência produtiva, ela servirá de referência para as demais unidades.

Quando uma unidade é considerada produtivamente ineficiente, a DEA possibilita a decomposição dessa ineficiência em dois componentes: ineficiência de escala e

ineficiência técnica, permitindo identificar suas fontes e mensurar suas magnitudes relativas (BANKER *et al*, 1984).

No gráfico 5, são apresentados os conceitos anteriormente citados.

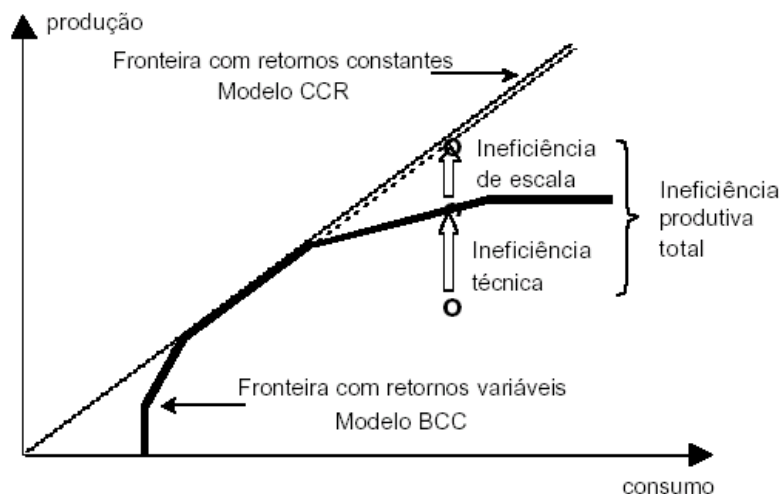


Gráfico 5 - Fronteiras de Produção para os Modelos BCC e CCR

Fonte: BELLONI, 2000

A fronteira de retornos variáveis – modelo BCC – corresponde à eficiência técnica e, portanto, as unidades (DMUs) situadas abaixo dessa fronteira são consideradas ineficientes tanto do ponto de vista da eficiência de escala, quanto do ponto de vista da eficiência técnica.

Por sua vez, a fronteira com retornos constantes – modelo CCR – caracteriza a eficiência produtiva. Assim sendo, as unidades (DMU) situadas entre essa fronteira e a fronteira de retornos variáveis, possuem o que é chamado de ineficiência de escala. Isto quer dizer que, mudanças na sua escala de operações, tornariam essa unidade eficiente do produtivo. Essas unidades possuem eficiência técnica. Finalmente, as unidades situadas no limite da fronteira de eficiência possuem a chamada eficiência produtiva total.

De maneira geral, os modelos DEA e suas aplicações podem ser resumidos de acordo com a Figura 15.

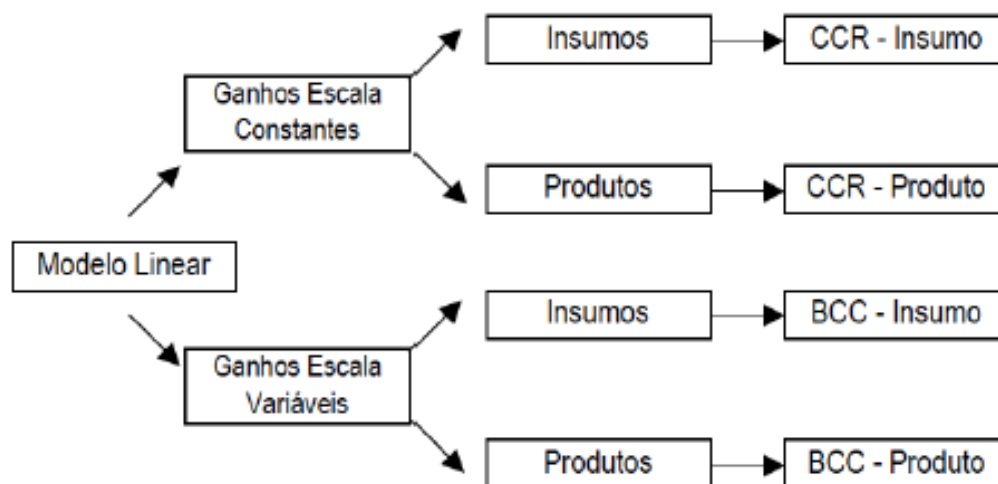


Figura 15 – Classificação entre Ganhos de Escala e Orientação
 Fonte: KASSAI, 2002

3.3.1 Modelo CCR Orientado a *Inputs* (Insumos)

Proposto em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes, como uma generalização do estudo de Farrel (1957), este modelo prevê que, para comparar a eficiência de um grupo de DMU, considera-se a utilização de múltiplas entradas e saídas, conforme dito anteriormente. O modelo tem seu nome baseado nas iniciais dos nomes de seus criadores.

Por considerar retornos constantes em escala, qualquer variação em uma de suas entradas gera uma variação proporcional nas suas saídas. Alternativamente, este modelo também pode ser chamado de CRS – *Constant Returns to Scale*, o qual é representado na Equação (1) (SOARES DE MELLO, *et al.*, 2005).

Para sua formulação matemática, considere n empresas, produzindo m quantidades de saídas ou *outputs*, utilizando s quantidades de *inputs* ou entradas. Neste contexto, uma empresa k qualquer produz y_{rk} quantidades de *outputs*, a partir da utilização de x_{ir} quantidades de *inputs*. (CHARNES *et al*, 1978)

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; j = 1, \dots, n,$$

$$v_r u_i \geq 0; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m.$$

Onde, os y_{rj} e x_{ij} (todos não negativos) são as saídas (produtos) e entradas (insumos) conhecidas para a j -ésima DMU e $v_i, u_r \geq 0$ são os pesos que serão determinados com a solução dos problemas.

Um dos inconvenientes desta formulação é que, por se tratar de uma equação não linear, pode ter infinitas soluções. Como forma de contorno, Charnes, Cooper e Rhodes a transformaram em um problema de programação linear, fixando um valor constante para o denominador da função objetivo, sendo que $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$, com sua formulação demonstrada na Equação (2).

$$\text{Max } h_0 = \sum_{j=1}^n u_j y_{j0} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^n u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall i, j$$

O modelo apresentado acima é chamado de modelo dos multiplicadores, com orientação a *inputs*. A explicação para termos este tipo de orientação é o fato da eficiência ser atingida com redução de recursos, o que é mais bem visualizado no dual deste modelo, apresentado na Equação (3) e conhecido como modelo do envelope.

$$\text{Min } h_0 \quad (3)$$

Sujeito a

$$h_0 x_{j0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

No modelo apresentado, h_0 e λ_k são os pesos aplicados às variáveis de decisão.

O gráfico 6 representa a formulação apresentada, onde A , B , C , D , E e F são DMUs e suas posições relativas entre a fronteira de eficiência, que é representada pela curva vermelha. As linhas mostram o alvo das DMU não eficientes sob a fronteira de eficiência.

Este gráfico representa em seu eixo horizontal, um primeiro *input* dividido pelo *output*. No seu eixo vertical, está representado um segundo *input* dividido pelo *output*. Os pontos A e B representam DMUs ineficientes e as retas que as ligam ao ponto de origem do gráfico representam, no ponto em que interceptam a fronteira, o alvo de cada DMU. É possível também identificar o *benchmarking* de cada DMU não eficientes, a exemplo das DMUs E e D que são consideradas *benchmarking* para a DMU A , uma vez que formam o segmento de reta cortado pela reta alvo que liga a origem ao ponto A . De maneira similar, as DMUs C e D são os *benchmankings* para a DMU B , porém a DMU D é mais importante do que a DMU C , por estar situada mais próxima do ponto de intercessão.

A região limitada pelas DMUs C , D e F formam a fronteira chamada de Pareto eficiente ou fortemente eficiente. As DMUs C , D e E são os ótimos de Pareto ou não dominadas. O segmento CF e o segmento vertical acima da DMU E são chamados de não Pareto eficiente ou fronteira fracamente eficiente.

Uma particularidade é encontrada na DMU F , pois é possível diminuir o *input* 1 mantendo constante o *input* 2 e, ainda assim, ela continuar na região viável de produção. Esta quantidade é conhecida como folga e, por causa desta particularidade, apesar de se encontrar na fronteira de eficiência, ela pode ser considerada menos eficiente que as outras unidades eficientes.

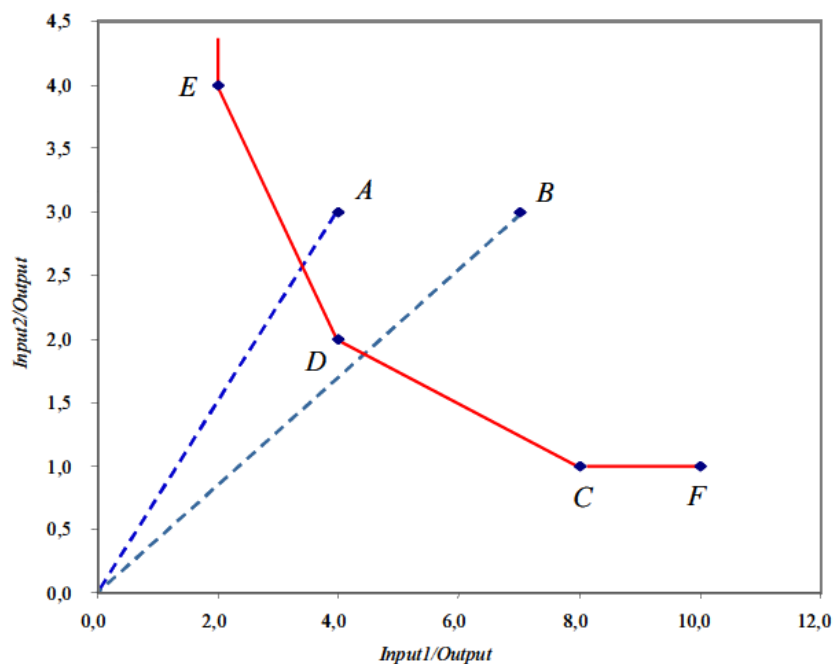


Gráfico 6 – Representação Gráfica do Modelo CCR (*Input*)
FONTE: SOARES DE MELLO *et al.*, 2005

3.3.2 Modelo CCR orientado a *Outputs* (Produtos)

Nesta abordagem do modelo CCR com orientação aos *outputs*, considera-se a maximização das saídas com as entradas ficando inalteradas. Na Equação (4), é demonstrado o modelo do envelope.

$$\text{Max } h_0 \quad (4)$$

Sujeito a:

$$x_{j0} - \sum_{k=1}^n x_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-h_0 y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$\lambda \geq 0, \forall k$$

O modelo dos multiplicadores na abordagem voltada para o *output* é representado na Equação (6).

$$\text{Min } h_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall j, i$$

O Gráfico 7 traz a representação gráfica desta abordagem onde é possível ver que a curva tem um comportamento diferente, dada a mudança nos quocientes dos seus eixos. Neste caso o eixo horizontal é representado pelo *output* 1 dividido pelo *input* e o eixo vertical é representado pelo *output* 2 dividido pelo *input*. É possível identificar a fronteira de eficiência delimitada pelos pontos A e E.

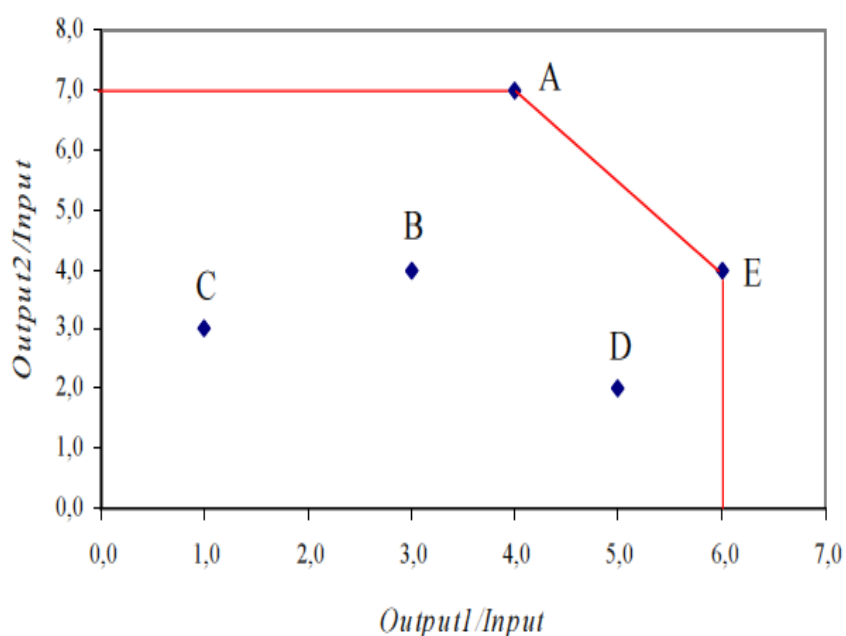


Gráfico 7 – Representação gráfica do Modelo CCR (Output)

FONTE: SOARES DE MELLO *et al.*, 2005

3.3.3 Modelo BCC

Proposto por Banker et al (1984), o modelo BCC se diferencia do apresentado anteriormente por considerar que os retornos podem ser variáveis em escala, e a relação entre *input* e *output* passa a ter um comportamento não linear. Neste

momento, ocorre, então, a substituição do axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005). Este modelo também é conhecido como VRS, *Variable Return to Scale* e tem sua formulação matemática com orientação aos *inputs*, demonstrada na Equação (7).

Matematicamente, a convexidade da fronteira é levada em consideração com a adição de uma restrição ao modelo do envelope linear.

$$\text{Min } h_0 \quad (7)$$

Sujeito a:

$$h_0 x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n x_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

Na Equação (8) é apresentado o modelo BCC com orientação aos *outputs*.

$$\text{Max } h_0 \quad (8)$$

Sujeito a:

$$x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-h_0 y_{j0} + \sum_{k=1}^n x_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

O modelo BCC dos multiplicadores pode ser gerados pelos duais das formulações apresentadas acima. Neste modelo v^* e ν^* são as variáveis duais associadas à condição $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ e são interpretadas como fatores de escala. Os modelos

orientados aos *inputs* e *outputs* são apresentados nas Equações (9) e (10), respectivamente.

$$Max\ Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u_* \quad (9)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$$

$$-\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - u_* \leq 0, \forall k$$

$$v_i, u_j \geq 0, u_* \in \Re$$

$$Max\ Eff_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} + v_* \quad (10)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{sr} u_j y_{j0} = 1$$

$$-\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v_* \leq 0, \forall k$$

$$v_i, u_j \geq 0, v_* \in \Re$$

O modelo BCC tem sua representação gráfica mostrada nos Gráficos 8 e 9, com orientações para o *input* e *output*, respectivamente.

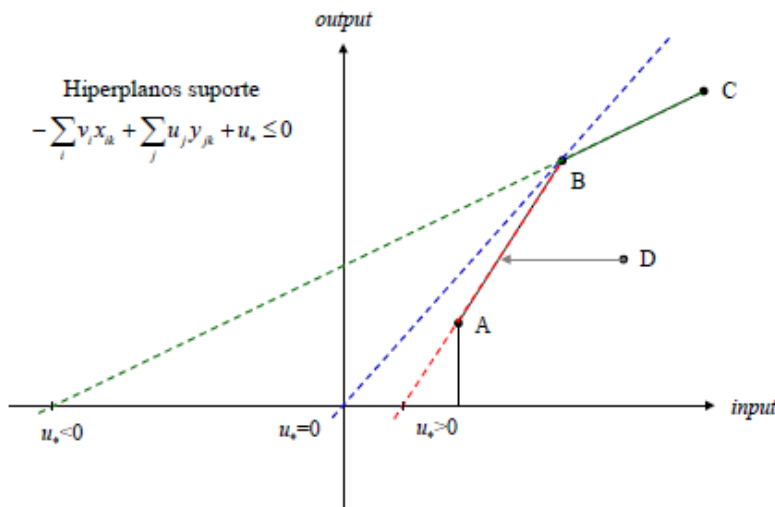


Gráfico 8 – Representação Gráfica do Modelo BCC (Input)

FONTE: SOARES DE MELLO *et al.*, 2005

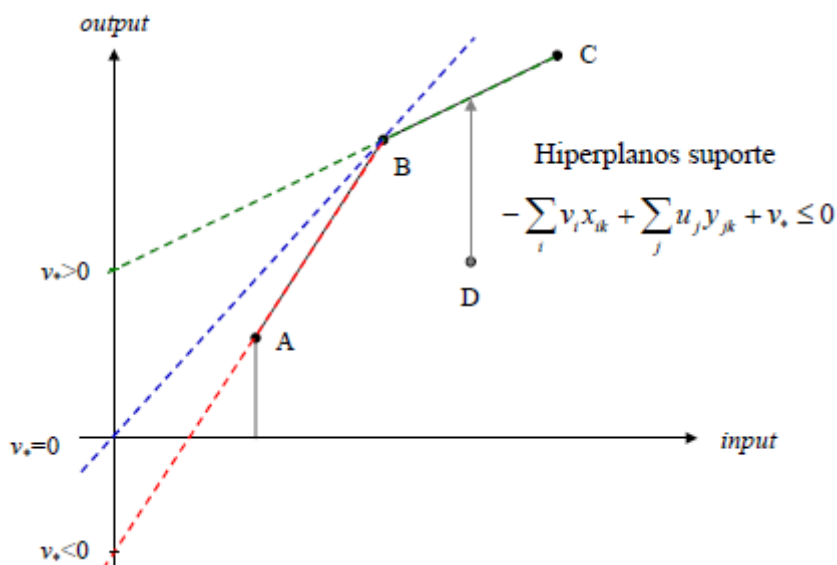


Gráfico 9 – Representação Gráfica do Modelo BCC (Output)

Fonte: SOARES DE MELLO *et al.*, 2005

É possível notar que os fatores de escala representam os interceptos dos hiperplanos suporte das faces da fronteira de eficiência. Planos positivos em modelos orientados ao *input*, indicam retornos crescentes em escala. Por outro lado, planos negativos indicam retornos decrescentes de escala. Caso sejam nulos, o retorno é constante em escala.

3.4 Fronteira Invertida

A fronteira invertida é um método que objetiva aumentar a discriminação entre as DMUs eficientes, tendo em vista o alto número de DMUs eficientes, geralmente, geradas pelo modelo (ANGULO MEZA e TSCHAFFON, 2011).

Este tipo de fronteira é baseada na inversão dos *inputs* e *outputs*, de maneira a construir uma fronteira composta pelas unidades com as piores práticas gerenciais, chamada fronteira ineficiente, conforme apresentado ENTANI *et al.* (2002).

O DEA pode ser considerado um modelo de excelência, uma vez que premia as DMUs com as melhores práticas observadas, através da fronteira de eficiência padrão. A fronteira invertida, permite a análise das DMUs com pior desempenho. Combinando estes dois índices, é possível realizar uma classificação mais acurada das unidades como eficientes ou ineficientes, impedindo que uma DMU seja avaliada apenas pelos seus resultados mais favoráveis, sem que seja necessária a

atribuição de pesos subjetivos aos critérios (SOARES DE MELLO et al., 2005; PIMENTA, 2005).

Desta modo, o problema pode ser analisado de uma maneira mais sofisticada, a partir de uma avaliação dos pontos de ineficiência das DMUs, ou seja, a DMU deverá ser especializada nos seus pontos fortes e não deve possuir um desempenho ruim em outras tarefas. A fronteira invertida permite, também, a identificação de DMUs consideradas “falsa eficientes”, ou seja, DMUs que são avaliadas como eficientes através da fronteira padrão e consideradas ineficientes através da fronteira invertida, caracterizando uma falsa eficiência (SOARES DE MELLO et al. 2003).

A eficiência invertida é utilizada no cálculo da eficiência composta, descrita na Equação (11) que é a média aritmética entre a eficiência em relação à fronteira original e a ineficiência em relação à fronteira invertida. Este índice de eficiência agregado permite a ordenação das DMUs do modelo

$$EficiênciaComposta = \frac{EficiênciaPadrão + (1 - EficiênciaInvertida)}{2} \quad (11)$$

Para se obter um índice em que as unidades eficientes têm valor de 1, é feita a normalização da eficiência composta, ao dividirem seus valores pela maior de todas as medidas de eficiência composta. Desta forma, para uma DMU possuir alta eficiência no cálculo de eficiência composta, esta deve ter um elevado grau de pertinência em relação à fronteira otimista e baixo grau em relação à fronteira pessimista (ANGULO MEZA E TSCHAFFON, 2011).

4 Aplicação da Metodologia, Desenvolvimento e Resultados da Pesquisa

4.1 Considerações Iniciais

Os próximos tópicos apresentarão a sequência de etapas efetuadas neste estudo, com o objetivo de aplicar o modelo DEA na avaliação da eficiência de transporte dutoviário de hidrocarbonetos das grandes produtoras de petróleo do mundo.

Conforme descrito no capítulo 2, os hidrocarbonetos podem ser extraídos de suas reservas (produzidos) de várias maneiras que variam, principalmente, em função do ambiente onde a reserva se localiza. Porém, independente do meio, a utilização de dutos é crucial para a realização da produção. No meio *Onshore*, a partir de sua extração, o hidrocarboneto é transportado por dutos até a unidade de separação. No meio *Offshore*, os dutos são utilizados para transporte dos fluidos do leito marinho até as unidades produtivas. Finalmente, as formas não usuais de fabricação usam os tubos para transporte do óleo até as unidades de refino.

Para desenvolvimento do estudo, a eficiência da produção de hidrocarbonetos será considerada como a capacidade de uma empresa em transportar o fluido até a unidade de processamento. Desta forma, é criada uma relação entre a capacidade produtiva das empresas e a sua eficiência no transporte de fluidos por dutos.

Foram analisados os balanços financeiros, relatórios de sustentabilidade e resumos anuais de performance de sete grandes produtoras de petróleo. O horizonte de análise dos dados foi do ano de 2006 a 2010. Dados de 2011 não puderam ser utilizados, pois na época da elaboração do trabalho, nem todas as empresas haviam colocado à disposição as informações referentes a este ano.

4.2 Identificação das DMUs

Para uma correta aplicação do modelo DEA, é necessário que as unidades avaliadas atuem em processos homogêneos, ou seja, realizem as mesmas tarefas, possuam os mesmos objetivos, trabalhem em condições similares de mercado, considerem as mesmas variáveis em seu processo, se diferenciando apenas em relação à intensidade ou magnitude de produção.

Em relação ao tamanho do grupo, não foi possível identificar na literatura um consenso sobre a razão variáveis/DMU. Em seus extremos, os trabalhos referentes ao assunto especificam que o número de DMUs deveria ser de duas a cinco vezes maior do que o número de variáveis, mas não existe literatura que valide este valor.

A razão variáveis/DMU deste trabalho é de 5,83 (35 DMUs e 6 variáveis).

Seguindo o conceito de homogeneidade do grupo de DMUs, foram escolhidas as grandes produtoras de petróleo de nível mundial, presentes nas listas classificatórias citadas nas primeiras partes deste trabalho. Apesar da tendência de que as empresas “produtoras de petróleo” passem a se considerar “produtoras de energia”, de forma a englobar as formas de energias renováveis, estes segmentos ainda são pequenos em relação à produção de hidrocarbonetos. Hoje em dia, o objetivo principal das empresas ainda é a produção de hidrocarbonetos, que é a fonte predominante na matriz energética mundial.

Outra consideração importante é que, normalmente, as atividades das empresas são divididas em três grupos: *Downstream*, *Upstream* e Químicos. O primeiro, está relacionado a toda operação de extração de hidrocarbonetos (óleo bruto, gás ou betume); o segundo, tem relação com a transformação de hidrocarbonetos em produtos derivados e o terceiro com produtos indiretamente derivados como plásticos, borrachas e outros polímeros. Esta divisão se trata de uma classificação de atividades dentro de uma mesma cadeia, onde o resultado geral será ditado pela performance da atividade principal: a *Downstream*.

Para escolha das DMUs, foi definido que as unidades deveriam ser empresas de capital aberto e atuação mundial, por dois motivos.

O primeiro diz respeito ao acesso aos dados financeiros, uma vez que estas empresas são obrigadas a disponibilizar ao público informações sobre suas operações como nível de produção, lucratividade e gastos com investimentos.

O segundo está relacionado à padronização dos dados, pois o mercado norte-americano exige que os relatórios financeiros das empresas estejam de acordo com suas normas para que todos os dados sejam comunicados de maneira equivalente.

Um exemplo, é o formulário 20-F, definido pela Comissão de Valores Imobiliários (em inglês, *Security and Exchange Commission* – SEC) e exigido para qualquer empresa de capital aberto não norte-americana que deseje iniciar atividades financeiras naquele país.

Desta forma, as empresas escolhidas para o estudo foram: Petrobras, Shell, Total, ExxonMobil, ENI SPA, BP e Chevron.

Em relação ao tamanho e posicionamento do mercado, a Tabela 01 mostra alguns valores globais e seu posicionamento frente às outras 2000 empresas (Ranking Geral) e dentro do segmento de Óleo e Gás (Ranking Oil & Gas), de acordo com a classificação da revista FORBES das 2000 maiores empresas de capital aberto do mundo, em fevereiro de 2012. Esta classificação é realizada com informações disponíveis nos resumos financeiros das empresas, onde é aplicada uma metodologia que avalia, de forma separada, o volume de vendas (*Sales*), lucro (*Profits*), bens imobilizados (*Assets*) e valor de mercado (*Market Value*) de cada empresa, gerando uma pontuação para cada categoria. Estas pontuações são consolidadas por uma métrica interna da revista e a lista é gerada.

Optou-se por classificar cada empresa_ano como uma DMU para possibilitar uma avaliação da eficiência e da evolução do seu índice de eficiência ao longo do tempo.

Ranking Geral	Ranking Oil and Gas	Empresa		País	Vendas	Lucro	Ativo Imobilizado	Valor de Mercado
4	1	ExxonMobil		United States	\$341.6 B	\$30.5 B	\$302.5 B	\$407.2 B
5	2	Royal Dutch Shell		Netherlands	\$369.1 B	\$20.1 B	\$317.2 B	\$212.9 B
8	4	Petrobras		Brazil	\$121.3 B	\$21.2 B	\$313.2 B	\$238.8 B
16	6	Chevron		United States	\$189.6 B	\$19 B	\$184.8 B	\$200.6 B
19	7	Total		France	\$188.1 B	\$14.2 B	\$192.8 B	\$138 B
28	10	ENI		Italy	\$130.5 B	\$8.4 B	\$176.1 B	\$96.8 B
390	38	BP		United Kingdom	\$297.1 B	-\$3.7 B	\$272.3 B	\$141 B

Tabela 1 - Classificação das DMUs

Fonte: Revista Forbes (Fevereiro, 2012).

Na Tabela 02 é apresentado um resumo com todas as DMUs do modelo.

Empresa	Ano	Empresa	Ano	Empresa	Ano
BP	2010	Petrobras	2010	Exxon	2010
BP	2009	Petrobras	2009	Exxon	2009
BP	2008	Petrobras	2008	Exxon	2008
BP	2007	Petrobras	2007	Exxon	2007
BP	2006	Petrobras	2006	Exxon	2006
Chevron	2010	Shell	2010		
Chevron	2009	Shell	2009		
Chevron	2008	Shell	2008		
Chevron	2007	Shell	2007		
Chevron	2006	Shell	2006		
ENI SPA	2010	Total	2010		
ENI SPA	2009	Total	2009		
ENI SPA	2008	Total	2008		
ENI SPA	2007	Total	2007		
ENI SPA	2006	Total	2006		

Tabela 2 - DMUs

4.3 Identificação das Variáveis do Modelo

A determinação dos *inputs* e *outputs* é uma etapa de extrema importância, uma vez que estas variáveis constituem a base na qual a eficiência das unidades será avaliada. *Inputs* podem ser definidos como os recursos básicos ou fatores de produção considerados relativamente escassos, portanto com preços maiores do que zero e crescentes em função do aumento de sua utilização (SANTOS, 2008).

A escolha de variáveis inadequadas pode gerar resultados que não condizem com a realidade do grupo, de forma que apenas insumos e produtos mais relevantes para a função das unidades em análise deverão ser incluídos.

Existem muitas técnicas de auxílio à seleção de variáveis, como por exemplo, a aplicação de ferramentas estatísticas para verificação da representatividade e correlação das variáveis ao modelo, como visto em KASSAI, 2002, ou métodos específicos como o *IO Stepwise* utilizado por NOVAES, 1998. Outra possibilidade, é seleção de variáveis com base na opinião de especialistas ou disponibilidade de dados (ANGULO MEZA *et al*, 2007).

A escolha das variáveis deste trabalho foi feita de acordo com a opinião de especialistas. Para tanto, foi realizada uma pesquisa na literatura por trabalhos anteriores que já haviam utilizado informações de balanços econômicos para análise de eficiência de empresas por DEA. O levantamento mostrou uma certa escassez em trabalhos de referência e apenas 3 trabalhos foram encontrados. A Tabela 03 traz um resumo destes trabalhos com foco nos seus *inputs* e *outputs*.

ANO	Título	Autor	DMU	Inputs	Outputs
2002	Utilização da análise por Envoltória de Dados na Análise de Demonstrações Contábeis	S. Kassai	Empresas de Energia	Lucro Líquido Ajustado e Número de Funcionários	Liquidez Corrente, Valor Adicionado, Crescimento em Vendas e Aplicação em Imobilizado
1997	DEA/AR Profit Ratios and Sensitivity of 100 Large us Banks	Thompson et al	Bancos	Capital Investido e Numero de Funcionários	Ganhos Totais
1996	DEA/AR Efficiency and Profitability of 14 Major Oil Companies in U.S. Exploration and Production	Thompson et al	Empresas do Ramo Oil & Gas	Custos Totais/Ano, Reservas Provadas de Óleo e Reservas Provadas de Gas	Exploração de O&G, Produção de O&G, Adições de Óleo e Adições de Gas

Tabela 3 - Base de Variáveis para Avaliação de Empresas

Os trabalhos de Thompson *et al* de 1996 e 1997 utilizam o modelo DEA/BCC com um recurso de região de segurança para analisar a eficiência de empresas do ramo de Petróleo e Bancos, respectivamente. O trabalho de KASSAI, 2002 utiliza um modelo DEA/BCC para análise de eficiência de empresas de energia. Nestes três

trabalhos, as fontes de dados foram os balanços financeiros das empresas. Do lado dos *inputs* é possível ver uma forte presença de itens de investimentos como reservas de petróleo e valor investido, assim como a presença da variável número de funcionários em dois trabalhos. Do lado dos *outputs*, as variáveis estão mais ligadas com o resultado das empresas como lucro, vendas e níveis de produção.

A seleção das variáveis continuou com um cruzamento entre as informações utilizadas em outros trabalhos, a aplicabilidade a este trabalho e sua disponibilidade nos balanços anuais das empresas. Desta maneira, foram definidas um total de 6 variáveis, sendo 3 como *outputs* e 3 como *inputs*, conforme definidas abaixo:

(1) *Inputs*

- a. Investimentos e Exploração e Produção –valor investido na exploração e produção de hidrocarbonetos, como por exemplo, novos projetos, desenvolvimento de novos poços e manutenção dos poços atuais, representado em dólares.
- b. Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento – considerando o valor investido no desenvolvimento de novas tecnologias exploratórias, representado em dólares.
- c. Número de Funcionários – representando a quantidade total de recursos para a produção.

(2) *Outputs*

- a. Produção Anual – Volume de hidrocarbonetos produzidos em um determinado ano, medido em BOE (Barris de Óleo Equivalente).
- b. Lucro Líquido Ajustado – Valor do lucro líquido realizado em um determinado ano, representado em dólares.
- c. Vazamentos de Hidrocarbonetos – Número de barris de hidrocarbonetos que vazaram durante a produção em um determinado ano.

Os hidrocarbonetos são produtos classificados como *commodities* e são negociados no mercado global, fazendo com que a lucratividade das empresas possa ser impactada por outros fatores diferentes dos seus níveis de produção. Neste tipo de mercado, a organização logística de distribuição dos produtos é um item muito

importante para suas vendas e, conseqüentemente, realização do seu lucro. Um segundo ponto importante é o fato do preço dos hidrocarbonetos serem definidos pelo mercado, reforçando que a lucratividade da empresa está ligada, também, a fatores não ligados diretamente com a produção. Como exemplo, uma queda no preço do dólar pode afetar os lucros de uma empresa com operação custeada em reais, fazendo com que o seu lucro varie de maneira independente da sua produção.

É importante ressaltar o *output* Vazamento de Hidrocarbonetos, que é um resultado indesejável do processo e não contribui para a eficiência das DMUs, sendo definido como *Output* Indesejável. Em vista disso, esta variável terá um tratamento especial, onde será considerada a abordagem *Multiplicative Inverse*, onde os valores dos *outputs* indesejáveis são invertidos e passam a ter o mesmo tratamento dos outros *outputs* do modelo.

O método *Multiplicative Inverse* foi escolhido pela sua aplicação direta na interpretação dos resultados. Considerou-se que a inversão de outputs com inputs ou outros métodos de tratamento de outputs indesejáveis poderiam prejudicar a análise final de dados.

Em relação ao tratamento de dados, foi necessário realizar um ajuste na moeda a ser utilizada na análise, pois as empresas costumam reportar seus dados financeiros na moeda do seu país. A Tabela 04 mostra a taxa de conversão utilizada.

Ano	BRL/USD	USD/EUR
2006	1,76	1,33
2007	2,00	1,39
2008	1,83	1,47
2009	1,95	1,37
2010	2,17	1,26

Tabela 4 - Taxas de Conversão de Moedas

Toda as variáveis se encontram nos balanços anuais das empresas, com exceção dos vazamentos que são reportados nos relatórios de sustentabilidade. Tanto o relatório de sustentabilidade como o balanço financeiro podem ser acessados através das páginas das empresas na internet, na seção dedicada aos investidores.

4.4 Identificação do Modelo

Nesta etapa, é preciso que se façam algumas opções em relação à orientação do modelo e ao seu tipo de retorno. Como falado anteriormente, modelos orientados a insumo visam minimizar a utilização de recursos sem alterar o nível atual dos produtos. Modelos orientados ao produto buscam maximizar os produtos obtidos, mantendo-se inalterados os níveis de insumos.

Com o objetivo de observar o comportamento de cada DMU com respeito às variáveis consideradas e verificar o formato do plano de produção, foi realizada uma análise gráfica dos dados pesquisados, utilizando gráficos de duas variáveis (X x Y), como apresentado por KASSAI (2002).

O Gráfico 10 apresenta as DMUs pela Produção Diária x Investimento em EP. As linhas traçadas representam a fronteira, considerando retornos constantes à escala (CRS - Linha que une a origem ao ponto mais extremo do gráfico) ou retornos variáveis à escala (VRS – linhas que unem os pontos extremos que dominam o plano de produção sem considerar retornos constantes).

As DMUs que dominam o plano de produção são Petrobras_2006, Exxon_2007, ENISPA_2006 e Exxon_2006 (CRS) ou Petrobras_2006, Exxon_2007, Exxon_2006, ENISPA_2006 e Exxon_2010 (VRS). É possível ver uma relação forte entre os níveis de produção e investimento em EP.

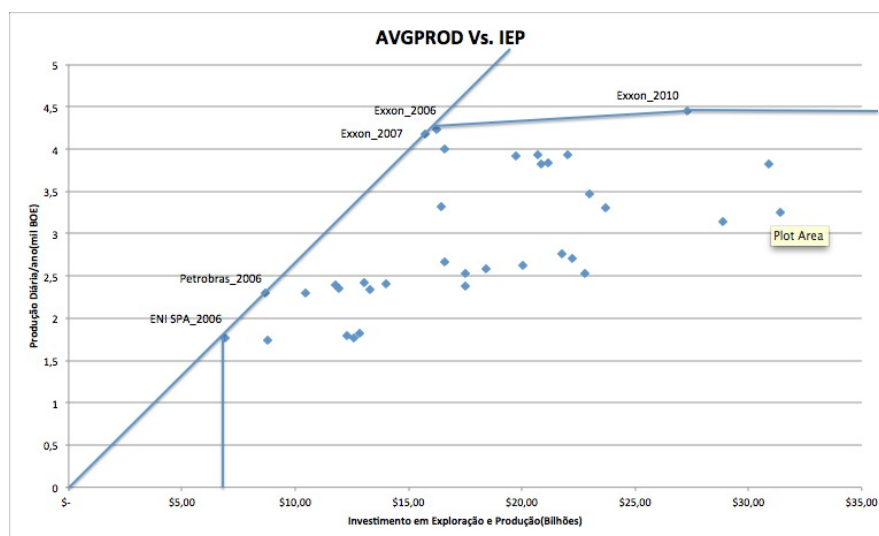


Gráfico 10 - Produção Diária x Investimento em EP

O Gráfico 11 mostra a variação da produção diária em relação ao investimento em pesquisa e desenvolvimento. As empresas que dominam o plano de produção são BP_2006 (CRS) ou BP_2006, Exxon_2006, Exxon_2010 e ENISPA_2009 (VRS). As variáveis representadas neste gráfico apresentam um comportamento similar ao anterior com uma variação regular entre os níveis de produção e o investimento em pesquisa.

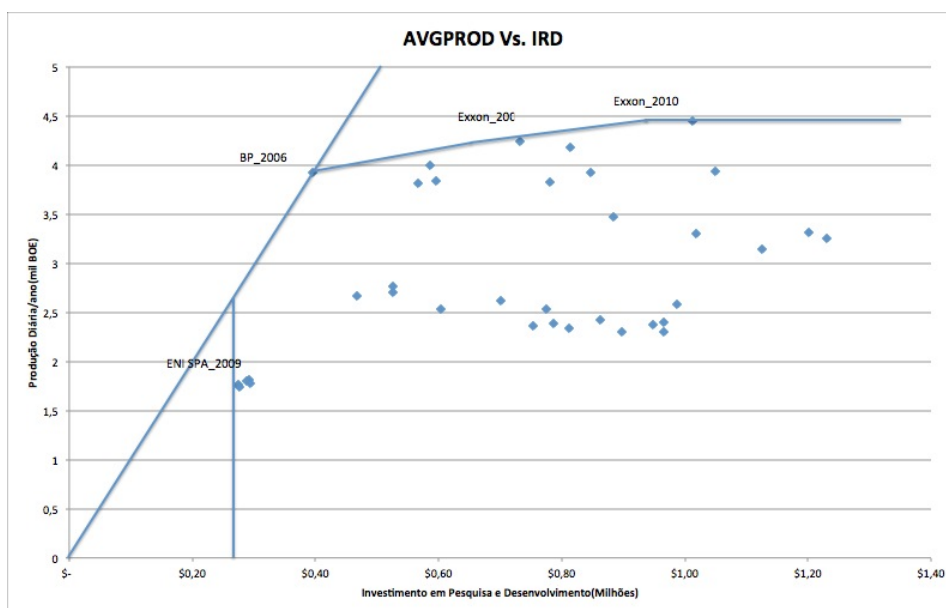


Gráfico 11 - Produção Diária x Investimento em Pesquisa

No Gráfico 12 as DMUs são classificadas pela produção média diária e número de funcionários. Neste caso, as empresas que compõem a fronteira são Chevron_2005 (CRS) e Chevron_2005 e Exxon_2010 (VRS), com uma concentração de DMUs próxima aos vértices da fronteira VRS.

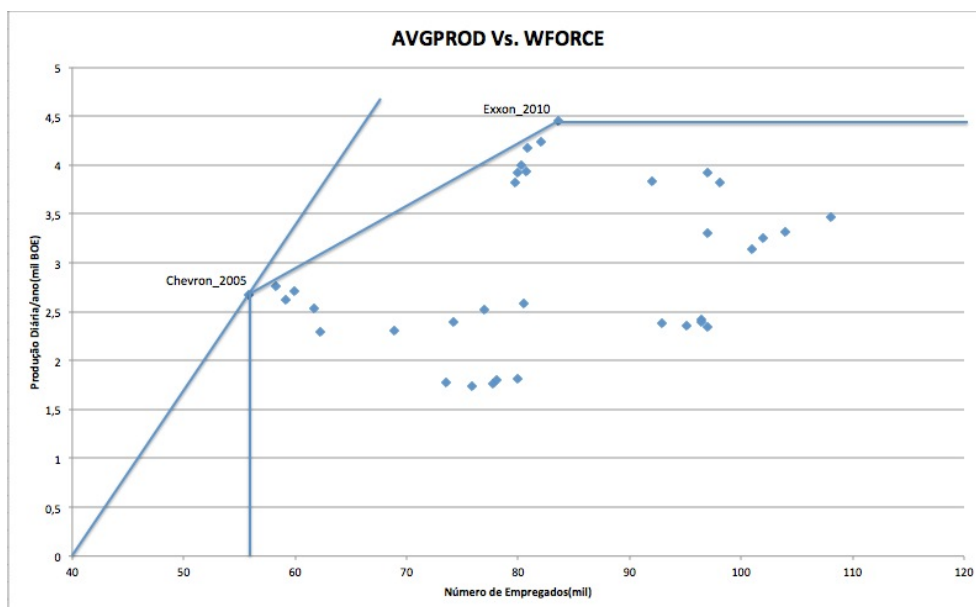


Gráfico 12 - Produção Diária x Número de Empregados

O Gráfico 13 mostra as DMUs por lucro líquido e investimento em exploração e produção (EP). As DMUs que compõem a fronteira são Exxon_2007 (CRS) ou Exxon_2007, Exxon_2008 e ENISPA_2006 (VRS).

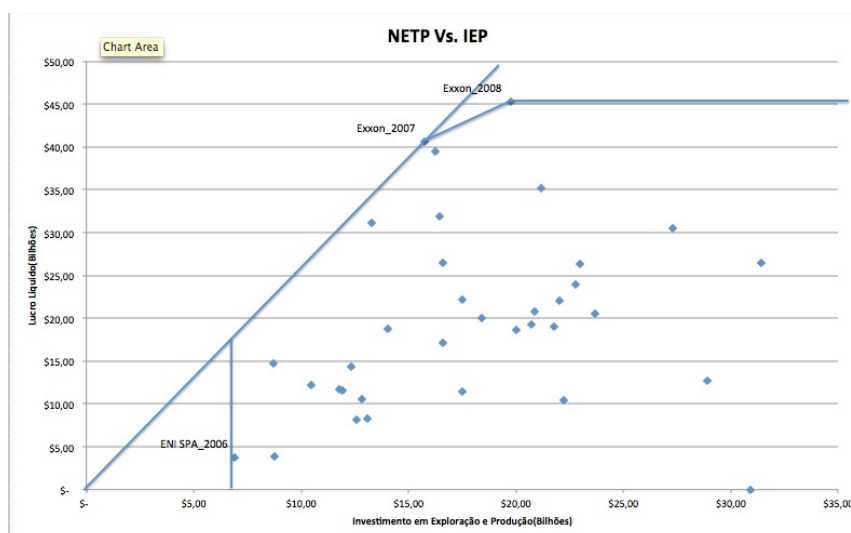


Gráfico 13 - Lucro Líquido x Investimento em EP

O Gráfico 14 apresenta a informação do lucro líquido pelo investimento em pesquisa e desenvolvimento (RD). A fronteira no modelo CRV é delimitada pela DMU BP_2008 e no modelo VRS pelas DMUs BP_2008, Exxon_2008, ENISPA_2007 e ENISPA_2009.

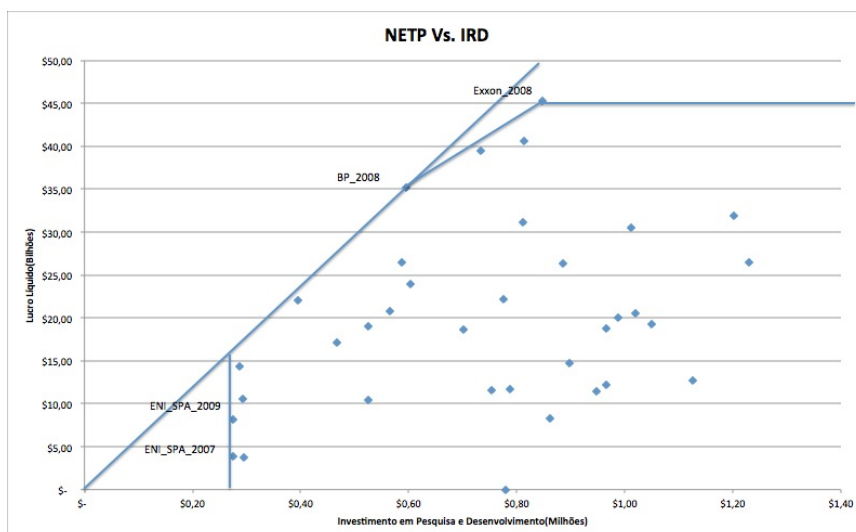


Gráfico 14 - Lucro Líquido x Investimento em RD

O Gráfico 15 relaciona o lucro líquido ao número de empregados, tendo suas fronteiras CRS e VRS delimitadas pela DMU Exxon_2008. Outras DMUs muito próximas da fronteira CRS são Chevron_2005 e Chevron_2008.

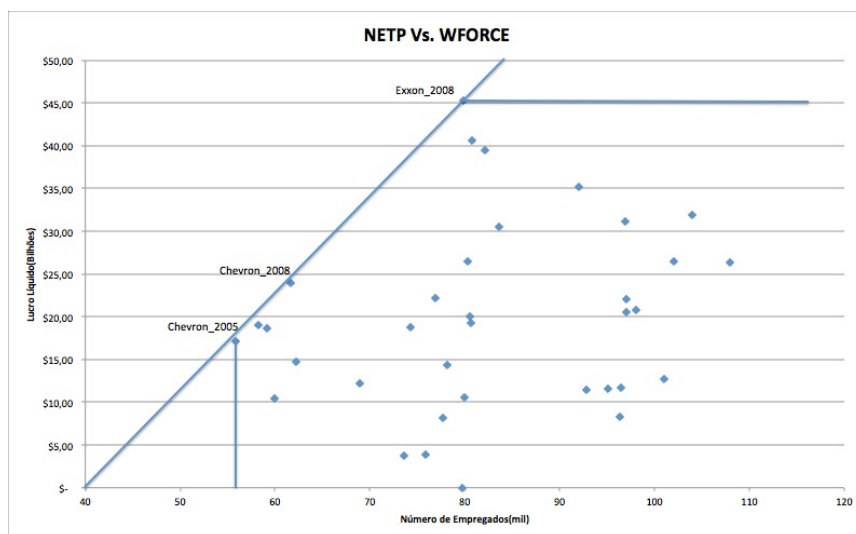


Gráfico 15 - Lucro Líquido x Número de Funcionários

Os 3 próximos gráficos, apresentam o volume de vazamentos durante o ano em relação ao investimento em EP (Gráfico 16), RD (Gráfico 17) e número de empregados (Gráfico 18). Em coerência com a metodologia Multiplicative Inverse., para *outputs* indesejáveis, os gráficos são apresentados com o inverso dos valores de vazamentos.

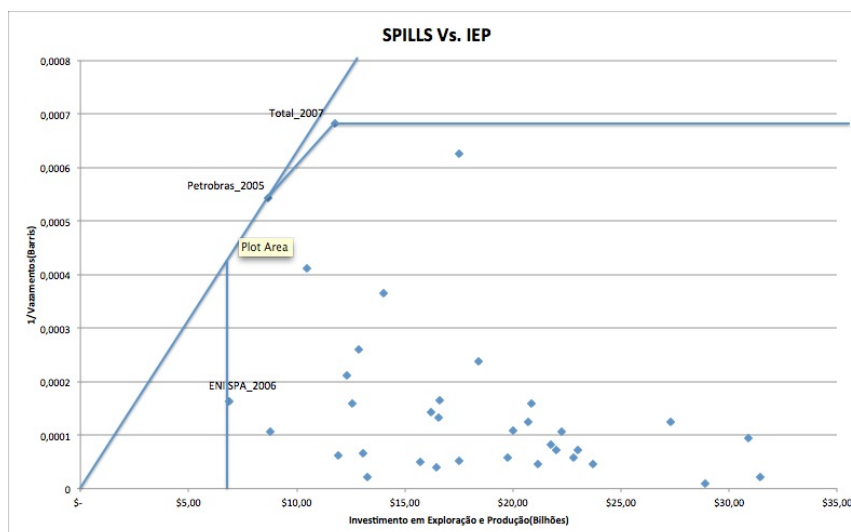


Gráfico 16 - 1/Vazamentos x Investimento em EP

No Gráfico 16 a fronteira CRS é definida por Petrobras_2005 e a fronteira VRS por Petrobras_2005, Total_2007 e ENISPA_2006.

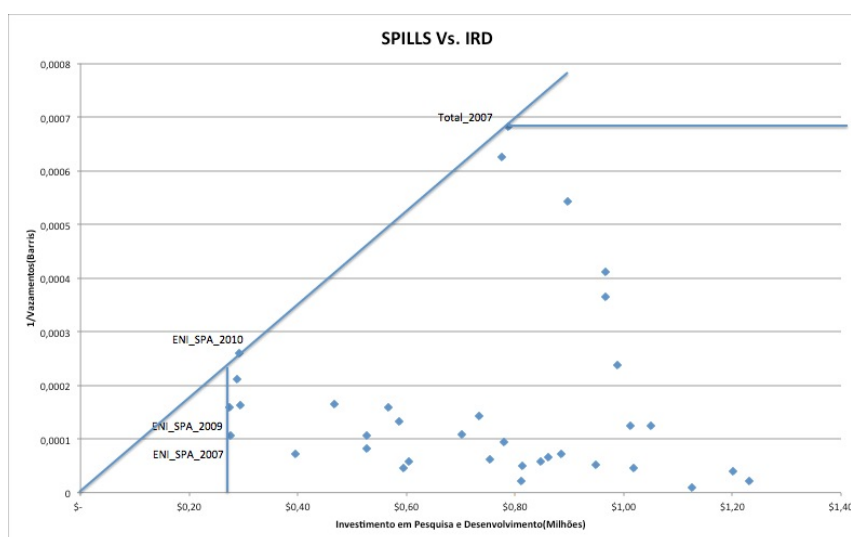


Gráfico 17 - 1/Vazamentos x Investimento em RD

No Gráfico 17 a fronteira CRS é definida por ENISPA_2010 e Total_2007 e na fronteira VRS pelas DMUs ENISPA_2010, Total_2007, ENISPA_2009 e ENISPA_2007.

Finalmente, o Gráfico 18 tem sua fronteira CRS definida por Petrobras_2005 e VRS por Petrobras_2005, Petrobras_2008, Total_2007 e Chevron_2006.

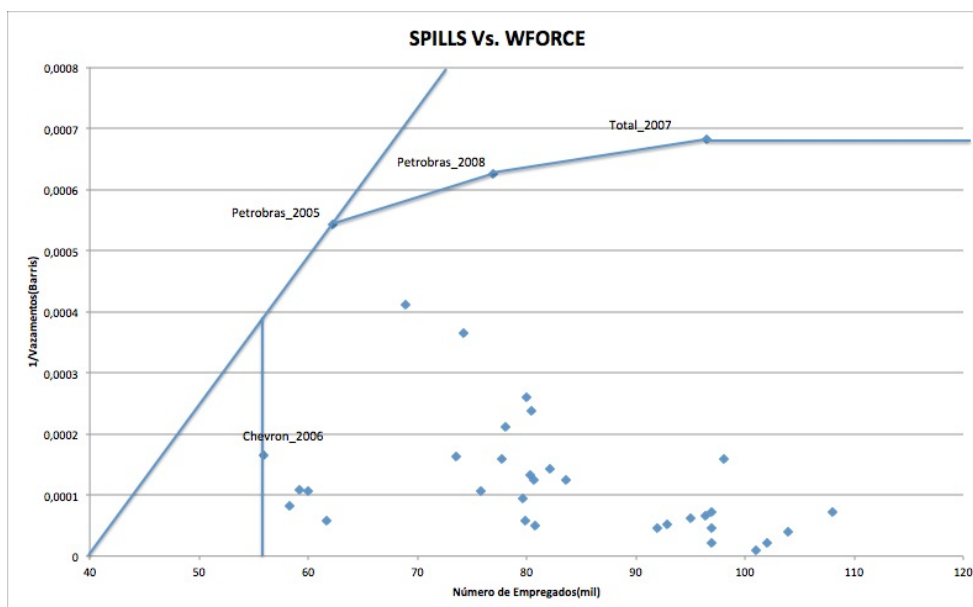


Gráfico 18 - 1/Vazamentos x Número de Empregados

Após a realização da análise gráfica, foi decidido utilizar o modelo BCC dada impossibilidade em se identificar um relacionamento linear entre os *outputs* e *inputs*. A orientação escolhida foi aos *outputs*, a variável “Vazamentos” foi considerada como um *output* indesejável, e seus dados foram ajustados pelo modelo *Multiplicative Inverse*.

O *software* de apoio utilizado foi o SIAD (ANGULO MEZA et al, 2005) que foi desenvolvido para calcular uma vasta gama de resultados dos modelos DEA, tais como: eficiência das DMUs, pesos, alvos, benchmarks, folgas e eficiência composta. Além disso, fornece a possibilidade de utilização de até 150 DMUs.

5 Análise de Eficiência Composta

A análise de eficiência composta foi aplicada ao grupo de 35 DMUs identificadas no trabalho, formado por 7 empresas num horizonte de operação de 5 anos, ou seja, cada agrupamento Empresa_Ano é considerada como uma DMU para o modelo. Os dados utilizados na pesquisa podem ser encontrados no ANEXO I.

5.1.1 Análise de Eficiência Composta Orientada ao *Output*

A análise padrão do modelo BCC orientado aos *outputs* apresentou um total de 17 DMUs com eficiência de 100%. São elas: BP_2009, BP_2008, BP_2006, CHEVRON_2008, CHEVRON_2006, ENISPA_2010, ENISPA_2009, ENISPA_2008, ENISPA_2007, ENISPA_2006, EXXON_2010, EXXON_2008, EXXON_2007, EXXON_2006, PETROBRAS_2009, PETROBRAS_2006, TOTAL_2007. As empresas que se mantiveram na fronteira eficiente por mais anos foram EXXON e ENISPA (4 e 5 anos) e o ano de 2006 foi o que obteve a maior quantidade de empresas na fronteira (5).

Em relação a fronteira invertida, foram identificadas 16 DMUs na fronteira não eficiente: TOTAL_2010, TOTAL_2009, TOTAL_2008, TOTAL_2007, TOTAL_2006, SHELL_2009, SHELL_2008, SHELL_2007, SHELL_2006, PETROBRAS_2007, BP_2010, ENI_SPA2010, ENISPA_2009, ENISPA_2007, ENISPA_2006 e CHEVRON_2008. Destaque para as empresas TOTAL, SHELL e ENISPA que se colocaram na fronteira ineficiente por 5, 4 e 4 anos, respectivamente.

A análise de eficiência invertida mostra que as DMUs ENI_SPA2010, ENISPA_2009, ENISPA_2007, ENISPA_2006, CHEVRON_2008 e TOTAL_2007 são “falso eficientes”. Estas DMUs tiveram eficiência de 100% nas duas abordagens (Padrão e Invertida) o que indica um alto nível de eficiência nos seus pontos fortes, mas também um alto nível de ineficiência nos seus pontos fracos.

A classificação geral das DMUs a partir da sua eficiência composta é apresentada na Tabela 5, onde as 3 DMUs mais eficientes são: EXXON_2006, BP_2009, EXXON_2007. Na tabela é possível ver a confirmação do resultado encontrado na

análise da fronteira invertida onde as DMUs “falso eficientes” aparecem a partir da 16ª posição.

Classificação	DMU	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
1	EXXON_2006	1	0,526	0,737	1
2	BP_2009	1	0,559	0,720	0,977
3	EXXON_2007	1	0,577	0,711	0,965
4	EXXON_2008	1	0,646	0,677	0,918
5	EXXON_2010	1	0,662	0,669	0,908
6	BP_2008	1	0,686	0,657	0,891
7	BP_2006	1	0,690	0,655	0,889
8	BP_2007	0,983	0,713	0,635	0,861
9	EXXON_2009	0,935	0,699	0,618	0,839
10	CHEVRON_2006	1	0,783	0,609	0,826
11	PETROBRAS_2009	1	0,906	0,547	0,742
12	CHEVRON_2010	0,981	0,903	0,539	0,731
13	PETROBRAS_2006	1	0,975	0,512	0,695
14	ENISPA_2008	1	0,992	0,504	0,684
15	CHEVRON_2007	0,916	0,909	0,503	0,683
16	CHEVRON_2008	1	1	0,500	0,678
17	ENISPA_2010	1	1	0,500	0,678
18	ENISPA_2009	1	1	0,500	0,678
19	ENISPA_2007	1	1	0,500	0,678
20	ENISPA_2006	1	1	0,500	0,678
21	TOTAL_2007	1	1	0,500	0,678
22	TOTAL_2008	0,991	1	0,495	0,672
23	CHEVRON_2009	0,924	0,967	0,478	0,649
24	BP_2010	0,925	1	0,462	0,627
25	SHELL_2010	0,753	0,840	0,457	0,620
26	PETROBRAS_2007	0,860	1	0,430	0,583
27	PETROBRAS_2008	0,804	0,984	0,410	0,556
28	SHELL_2006	0,796	1	0,398	0,540
29	SHELL_2007	0,792	1	0,396	0,537
30	PETROBRAS_2010	0,718	0,963	0,378	0,512
31	SHELL_2008	0,749	1	0,375	0,508
32	TOTAL_2006	0,748	1	0,374	0,507
33	SHELL_2009	0,706	1	0,353	0,479
34	TOTAL_2009	0,698	1	0,349	0,473
35	TOTAL_2010	0,558	1	0,279	0,379

Tabela 5 - Classificação Geral das DMUs

A DMU Exxon_2006 se destaca pelo alto nível de produção e lucro líquido. Com 4.237 MBOE/dia, esta empresa registra a segunda maior produção no grupo

avaliado, ficando atrás de Exxon_2010 com 4.447 MBOE/dia e acima da média do grupo (2.935 MBOE/dia). O diferencial está no lucro líquido, onde Exxon_2006 alcançou o valor de 39,5 bilhões de dólares face a 19,59 bilhões de dólares de média do grupo. Os níveis de investimento da DMU foram 17,9 e 0,73 bilhões de dólares em E&P e R&D respectivamente, se mantendo na média do grupo. Outro fator que se manteve na média do grupo foi o número de funcionários e a quantidade de óleo derramado foi menor do que a média. A Tabela 6 resume estas informações.

Variável	Exxon_2006	Média
<i>Produção Média/Ano (Milhões de BOE)</i>	4,237	2,936
<i>Lucro Líquido (bilhões)</i>	\$39,50	\$19,59
<i>Investimento E&P (bilhões)</i>	\$16,23	\$17,94
<i>Investimento in R&D (bilhões)</i>	\$0,73	\$0,74
<i>Número de Funcionários (mil)</i>	82,1	82,48
<i>Vazamentos (mil Barris)</i>	7	15

Tabela 6 - Comparativo das Variáveis – EXXON_2006

A Tabela 7 mostra os alvos que devem ser almeçados pelas DMUs BP_2009 e EXXON_2007, que foram as duas DMUs com maior eficiência após EXXON_2006.

EXXON_2007

Variável	Folga	Alvo
IEP	0,00	15,72
IRD	0,00	0,81
WFORCE	0,00	80,80
SPILLS	0,00	0,05
NETP	0,00	40,61
AVGPROD	0,00	4,18

Tabela 7 - Folgas e Alvos - EXXON_2007

BP_2009

Variável	Folga	Alvo
IEP	0,00	16,58
IRD	0,00	0,59
WFORCE	0,00	80,30
SPILLS	0,00	0,13
NETP	0,00	26,43

AVGPROD 0,00 4,00

Tabela 8 - Folgas e Alvos - BP_2009

Pode-se notar que a folga destas DMUs é zero, isso se explica pelo fato de se situarem na fronteira de eficiência pela análise padrão, onde as folgas são esgotadas. Desta maneira, estas DMUs podem ser consideradas como Pareto Eficientes.

Este foi o motivo pelo qual foi decidido utilizar o modelo de eficiência composta, possibilitando uma maior diferenciação entre as DMUs.

A Tabela 9 resume as folgas e alvos para todas as DMUs classificadas como não eficientes pela análise composta.

Variável	BP_2010		ENISPA_2010		ENISPA_2009		ENISPA_2007		ENISPA_2006	
	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo
IEP	11,54	19,35	0,00	12,85	0,00	12,58	0,00	8,78	0,00	6,90
IRD	0,00	0,78	0,00	0,29	0,00	0,27	0,00	0,28	0,00	0,29
WFORCE	0,00	79,70	0,00	79,94	0,00	77,72	0,00	75,86	0,00	73,57
SPILLS	0,04	0,14	0,00	0,26	0,00	0,16	0,00	0,11	0,00	0,16
NETP	34,58	34,58	0,00	10,52	0,00	8,16	0,00	3,89	0,00	3,79
AVGPROD	0,00	4,13	0,00	1,82	0,00	1,77	0,00	1,74	0,00	1,77

Variável	TOTAL_2007		TOTAL_2008		CHEVRON_2009		BP_2010		SHELL_2010	
	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo
IEP	0,00	11,77	0,00	13,28	4,87	17,37	11,54	19,35	0,00	23,68
IRD	0,00	0,79	0,00	0,81	0,00	0,53	0,00	0,78	0,10	0,92
WFORCE	0,00	96,44	21,81	75,15	0,00	59,96	0,00	79,70	13,89	83,11
SPILLS	0,00	0,68	0,18	0,20	0,04	0,16	0,04	0,14	0,07	0,13
NETP	0,00	11,72	0,00	31,40	8,51	19,86	34,58	34,58	6,24	33,42
AVGPROD	0,00	2,39	1,16	3,52	0,00	2,92	0,00	4,13	0,00	4,38

Variável	PETROBRAS_2007		PETROBRAS_2008		SHELL_2006		SHELL_2007		PETROBRAS_2010	
	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo
IEP	0,00	10,46	0,00	14,01	0,42	22,56	0,60	15,84	0,00	18,42
IRD	0,11	0,86	0,17	0,80	0,00	0,89	0,41	0,79	0,20	0,79
WFORCE	0,00	68,93	0,00	74,24	25,04	82,96	22,88	81,12	0,00	80,49
SPILLS	0,00	0,48	0,00	0,45	0,05	0,13	0,02	0,07	0,00	0,33
NETP	5,02	19,23	1,52	24,83	1,28	34,33	0,00	40,34	3,25	31,07
AVGPROD	0,00	2,68	0,00	2,99	0,00	4,36	0,00	4,19	0,00	3,59

Variável	SHELL_2009		TOTAL_2009		TOTAL_2010	
	Folga	Alvo	Folga	Alvo	Folga	Alvo
IEP	1,58	27,30	0,00	13,06	0,00	17,51
IRD	0,12	1,01	0,02	0,84	0,19	0,76
WFORCE	17,40	83,60	22,61	73,78	0,05	0,14
SPILLS	0,12	0,13	0,14	0,24	0,00	4,26
NETP	12,43	30,46	19,00	30,80	19,00	30,80
AVGPROD	0,00	4,45	0,00	3,47	0,00	3,47

Tabela 9 - Folgas e Alvos

Em resumo, o desenvolvimento do modelo mostrou que a empresa com mais presença na fronteira eficiente foi a EXXON, com 100% nos anos de 2006, 2007,

2008 e 2009. O ano de 2006 foi o que apresentou a maior quantidade de DMUs na fronteira eficiente com 5 empresas.

A análise de eficiência composta proporcionou uma classificação no grupo de DMUs onde a empresa EXXON, no ano de 2006, foi a mais eficiente no transporte de hidrocarbonetos entre todas do grupo. A empresa TOTAL, no ano de 2010, obteve a pior performance do grupo.

Uma das possíveis explicações para a alta quantidade de DMUs eficientes em 2006 é o valor do dólar, que teve uma alta considerável nos anos de 2005 e 2006, impactando o resultado das empresas em 2006. Os anos de 2008 e 2009 foram anos de baixa na moeda americana, trazendo impactos negativos para o resultado das empresas. O Gráfico 19 traz o histórico de variação do dólar em relação ao euro de 2005 a 2010.

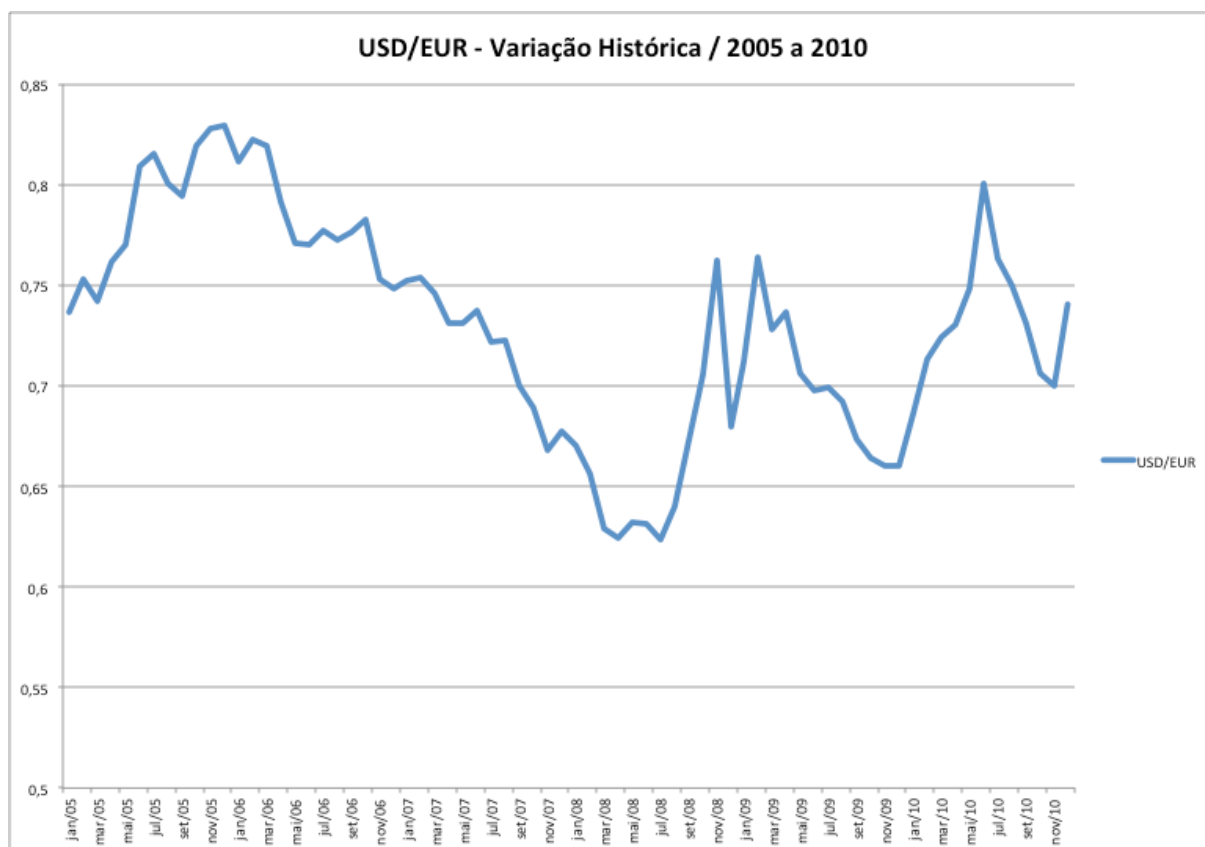


Gráfico 19 - Variação Histórica USD/EUR

Este gráfico também pode ser usado para explicar a razão pela qual é possível encontrar uma maior quantidade de DMUs eficientes nos primeiros anos de análise do que nos últimos.

6 Conclusões

Este trabalho mostra um breve histórico da indústria petrolífera, sua importância para o desenvolvimento e manutenção das atividades econômicas mundiais, assim como os riscos para o futuro dos hidrocarbonetos como fonte de energia principal na matriz energética global. Também são abordados os riscos associados ao desenvolvimento das grandes empresas produtoras, que estão listadas entre as mais valiosas empresas do mundo.

É interessante notar que a empresa que deu origem ao mercado de Óleo e Gás se chamava “*Standart Oil*”, exatamente pela falta de padronização e baixa eficiência das empresas da época. A partir do aumento da eficiência produtiva e fusão com empresas menos eficientes, esta empresa criou um monopólio que foi desfeito em 1911, mas deu origem a várias empresas que permanecem no mercado até os tempos atuais. Hoje em dia as empresas do mercado de Óleo e Gás estão cotadas como as mais valiosas do mundo e o mercado disputa com o mercado dos Bancos a liderança como mercado mais valioso do mundo.

O processo de produção de hidrocarbonetos envolve uma série de etapas, começando pela análise do solo em busca de indícios da presença de hidrocarbonetos, passando pela definição das soluções de engenharia para operacionalização da produção até a efetiva extração dos produtos. Este processo poderá variar dependendo da região aonde os hidrocarbonetos se localizam. A extração de hidrocarbonetos em solo terrestre é chamada de *Onshore* e existem as formas alternativas de produção, como o betume, que representam a maior parte das reservas mundiais, mas são pouco exploradas, tendo em vista o seu alto custo de produção. No leito submarino, é realizado um tipo de produção chamado *Offshore*, que pode atingir profundidades de até 2000m. Todas estas formas produtivas tem uma dependência forte do transporte de fluidos por tubos, sendo possível estabelecer uma ligação direta entre a capacidade produtiva das empresas e a sua capacidade no transporte de fluidos pelo sistema dutoviário.

Com o objetivo de medir a eficiência no transporte de hidrocarbonetos por este sistema, foi proposta uma análise baseada no modelo DEA, que considera variáveis

relacionadas aos níveis de produção e performance financeira de 7 grandes produtoras de hidrocarbonetos.

Para definição do tipo de modelo a ser usado no trabalho, foi realizada uma análise gráfica linear de todas as variáveis, o que mostrou uma relação não linear entre os *inputs* e *outputs* logo, o modelo utilizado foi o BCC com orientação aos *outputs*.

Neste estudo verificou-se um alto escore de eficiência entre as empresas. Das 35 DMUs propostas, 17 se posicionaram na fronteira eficiente pela análise padrão e 16 na fronteira não eficiente pela análise invertida. Foram observadas 6 DMUs na fronteira eficiente e na fronteira não eficiente, estas DMUs são consideradas “falso eficientes” e são excluídas da análise padrão. Este alto nível de produtividade se justifica uma vez que os hidrocarbonetos são comercializados como *commodities* e um alto nível de produtividade se faz essencial para a sobrevivência das empresas no mercado.

A empresa com maior presença na fronteira eficiente foi a EXXON, que obteve 100% nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2009. O ano de 2006 foi o que apresentou a maior quantidade de DMUs na fronteira eficiente com 5 empresas.

Tendo em vista o alto número de DMUs eficientes, foi realizada uma análise de eficiência composta com o objetivo de classificar o grupo e elencar as DMUs. Esta análise mostrou que a empresa EXXON, no ano de 2006, foi a mais eficiente entre todas do grupo. Este resultado se confirmou com a comparação dos seus dados com a média do grupo, onde foi possível ver que, com o mesmo nível de *inputs*, ela conseguiu *outputs* muito superiores. A empresa TOTAL, no ano de 2010, obteve a pior performance do grupo.

Diante do exposto, o modelo DEA BCC com orientação aos *Outputs* se mostrou adequado na realização de uma análise comparativa da eficiência de transporte de hidrocarbonetos pelo sistema dutoviário de grandes empresas produtoras de petróleo e gás.

Por fim, algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser elencadas uma vez que algumas técnicas de análise DEA não foram exploradas neste trabalho. Um

exemplo é a utilização de uma aplicação de restrições aos pesos e seus efeitos na atribuição dos indicadores de eficiência. As variáveis do trabalho foram escolhidas com base na opinião de especialistas e trabalhos anteriores. Outro ponto de melhoria no trabalho seria a utilização de ferramentas estatísticas para auxílio na decisão das variáveis. Finalmente, entre os diversos modos de tratamento dos outputs indesejáveis, apenas um foi utilizado. Um trabalho futuro poderia usar mais de um modo de tratamento de forma a avaliar o impacto deste tipo de variável no modelo.

7 Bibliografia

ABRAMOVITZ, M. **Resource and Output Trends in the United States since 1870**. Occasional Paper 52, National Bureau of Economic Research, INC, Califórnia, 1956.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). **Recommended Practice for Design and Operation of Subsea Production System** – 17A. Washington D.C., 1996.

ANDRIES, A. M.; COCRIS, V. A Comparative Analysis of the Efficiency of Romanian Banks. **Romanian Journal of Economic Forecasting**, n. 4, 2010.

ANGULO MEZA, L.; TSCHAFFON, P. B. **Um Estudo de Outputs Indesejáveis em DEA com Aplicação no Setor de Distribuição de Energia Elétrica**. XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (Pré-Anais), Ubatuba, 2011.

ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; NANJI, L. C.; SENRA, L. F. A. C. Estudo Sobre Métodos de Seleção de Variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.

ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E. G. ISYDS– Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v.25, n.3, p 493-503, 2005.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 09, 1984.

BARRILAS, J. L. M. **Estudo do Processo de Drenagem Gravitacional de Óleo com Injeção Contínua de Vapor em Poços Horizontais**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal.

BELLONI, J. A. **Uma Metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidade Federais Brasileiras**. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.

BRAÑA, J. P. **Processo de Tomada de Decisão em Projetos de Exploração e Produção de Petróleo: Uma Abordagem Sistêmica com Aplicação da Teoria de Lógica Fuzzy**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro.

BUREAU OF LABOR STATISTICS (BLS). **Multifactor Productivity Trends**, 2002. US Department of Labor. Disponível em http://www.bls.gov/news.release/archives/prod3_02012005.pdf. Acesso em Fev/2012.

BUTLER, R. M. **Thermal Recovery of Oil and Bitumen**. New Jersey. Ed. Prentice Hall, 1991.

BRUNETTA, M. R. **Avaliação da Eficiência Técnica e de Produtividade Usando Análise por Envolvimento de Dados: Um Estudo de Caso Aplicado a Produtores de Leite**. 2004, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná (UFP), Curitiba.

CAMPBELL, C.; LAHÉRRERE, J. **The End of Cheap Oil**. Scientific American. 1998.

CANELAS, A. L. S. **Evolução da Importância Econômica da Indústria de Petróleo e Gás Natural no Brasil. Contribuição a Variáveis Macroeconômicas**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro.

CERETTA, P. S.; NIEDERAUER, C. A. P. **Rentabilidade e Eficiência no Setor Bancário Brasileiro**. RAC, V. 5, n. 3, p. 07-26, 2001.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.

DE OLIVEIRA, A. **Energia e Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 1998.

DEVOLD, H. **Oil and Gás Production Handbook – An Introduction to Oil and Gás Production**. Oslo: Ed. ABB ATPA Oil and Gas, 2006.

DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V.; SARRICO, C. S.;

SHALE, E. A. Pitfalls and Protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, n 132, p. 245-259, 2001.

EGBERT, R.L, **Some Thoughts About Follow Throught Thirteen Years Later**. Historical Educational Resources Information Center. Nb ED244733. Universidade de Nebraska, Lincoln, 1981.

ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual Models of Interval DEA and its Extensions to Interval Data. **European Journal of Operational Research**, n. 136, p. 32-45, 2002.

FONSECA, A. B. M. **Revisão das Tarifas Aeroportuárias com Modelos DEA-GSZ Não Radiais**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói.

FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. **The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth**. New York: Ed. Oxford University Press, 2008.

GALBRAITH, J.K. **O Novo Estado Industrial**. São Paulo: Ed. Abril Cultural, 1982.

HÖÖK, M.; HIRSCH, R.; ALEKLETT, K. Giant Oil Fidel Decline Rates and Their Influence on World Oil Production. **Energy Policy**, v.37, p 2262-2272, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, **Key World Energy Statistics**. Paris, 2011.

KASSAI, S. **Utilização da análise envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 2002. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L.; RANDERS, J. **Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future**. Earthscan publication, Londres, 1992.

MERLO, E. M.; NAGANO, M. S.; AMBROZINI, M. A. **O Desempenho do Setor de Varejo no Brasil e suas Mudanças no Período Recente**. VI SEMEAD (Anais), São Paulo, 2003.

MINERALS MANAGEMENT SERVICE (MMS). **Deepwater Gul of Mexico 2002: America's Expanding Frontier**. OCS Report, New Orleans, 2002.

NOVAES, L. F. L. **Função Fronteira de Produção Aplicada para Avaliação de Eficiência entre Plataformas de Petróleo**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, L. S. M. **Comparação de Métodos de Apoio à Decisão na Seleção de um Imóvel**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Measuring Productivity**. Disponível em <http://www.oecd.org/dataoecd/59/29/2352458.pdf>. Acessado em Fev/2012.

PEARCE, D., TURNER, K. **Economics of Natural Resources and Environment**. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1990.

PIMENTA, H. L. N. **Adaptação do Método de Savage aos Modelos DEA e FUZZY-DEA Aplicado à Evolução Temporal do Refino de Petróleo no Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói.

SANTOS, P. F. **Análise de Eficiência do Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros por Ônibus no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória.

SCHEEL, H. Undesirable Outputs in Efficiency Valuations. **European Journal of Operational Research**, v. 132, p. 400-410, 2001.

SHIMONISHI, M. L. S. **Análise Envoltória de Dados Aplicada na Avaliação do Emprego dos Recursos Humanos dos Centros Municipais de Educação Infantil do Município de Maringá**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná (UFP), Curitiba.

SILVA, P. D.; ALMEIDA, P. The peak of oil production – Timings and market recognition. **Energy Policy**, v. 37, p. 1267 – 1276. 2009.

SILVA, P.; ALMEIDA, P. **Peak Oil and the Nymex Futures Market: Do Investors Believe in Physical Realities**. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2005.

SZKLO, A. ; SCHAEFFER, R.; MARIANO, J. **Perspectivas de Produção de Petróleo no Brasil**. 3º Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás, 2005.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E.G.; BIONDI NETO, L. **Curso de Análise de Envoltória de Dados**. In: XXXVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado. Anais do XXXVII SBPO, 2005.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; Análise de Envoltória de Dados para Avaliação de Eficiência e Caracterização de Tipologias em Agricultura: Um Estudo de Caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Vol. 43, n. 04, p. 607-631, Rio de Janeiro, 2004.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; MACEDO, M. A.; PIMENTA, H. L. N. Decisão da Realização de Investimentos em Tecnologia da Informação com Análise Envoltória de Dados. **Revista Produção On Line**, vol. 4, n. 2, 2003.

SÖDERBERGH, B.; SNOWDEN, S.; LARDELLI, M.; JAKOBSON, K.; HÖÖK, M.; ALEKLETT, K. The Peak of the Oil Age – Analyzing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook 2008. **Energy Policy**. V. 38, p. 1398-1414, 2010.

THOMAS, J. E. **Fundamentos da Engenharia do Petróleo**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2001.

THOMPSON, R. G.; ROTHENBERG, L. J.; DHARMAPALA, P. S.; GONZALES-LIMA, M. D.; THRALL, R. M. DEA/AR Efficiency and Profitability of 14 Major Oil Companies in U.S. Exploration and Production. **Computers Operational Research**, v. 23, n. 4, p. 357-373, 1996.

THOMPSON, R. G.; BRINKMANN, E. J.; DHARMAPALA, P. S.; GONZALES-LIMA, M. D.; THRALL, R. M. DEA/AR Profit Ratios and Sensitivity of 100 Large U.S. Banks. **European Journal of Operational Research**, v. 98, p. 213-229, 1997.

TIETENBERG, T. **Environmental and Natural Resources Economics**. Harper Collins College Publishers, Nova York, 1996.

TRENCH, C. J. **How Pipelines Make the Oil Market Work – Their Networks, Operation and Regulation**. A Memorandum Prepared for the Association of Oil Pipe Lines and The American Petroleum Institute's Pipeline Committee. New York, 2001.

VILLELA, M. J. R. **Análise do Comportamento da Temperatura em Sistemas de Produção de Petróleo: Comparação entre Completação Seca e Molhada**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), Rio de Janeiro.

WITZE, A. That's oil, folks. **Nature**, v. 04, p. 14-17, 2007.

WOOD, J.; LONG, G.; MOREHOUSE, D. **Long-Term World Oil Supply Scenarios**. **Energy Information Administration – EIA**. Department of Energy-DOE, 2004.

YERGIN, D. **The Prize: The Epic Quest for Oil, Money and Power**. USA: Ed. Simon & Schuster, 1994.

ZHU, J.; COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M. **Handbook of Data Envelopment Analysis**. New York: Ed. Springer, 2011.

_____, FORTUNE 500, **The Annual Ranking of America's Largest Corporations**. Disponível em <http://www.money.cnn.com/magazines/fortune/fortune500/>. Acesso em Fev/2012.

_____, FORBES, **Global 2000 Leading Companies**. Disponível em <http://www.forbes.com/lists/>. Acesso em Fev/2012.

_____, FT 500, **The World's Largest Companies**. Disponível em <http://www.ft.com/intl/reports/ft-500-2011>. Acesso em Fev/2012.

ANEXO I – Dados Utilizados na Pesquisa

Empresa	Ano	OUTPUTS		INPUTS			
		Produção Média/Dia (Milhões de BOE)	Lucro Líquido (bilhões)	Investimento E&P (bilhões)	Investimento R&D (Milhões)	Número de Funcionários (mil)	Vazamentos (Barris)
BP	2010	3,822	\$ (3,70)	\$ 30,89	\$ 0,78	79,7	10693
BP	2009	3,998	\$ 26,43	\$ 16,58	\$ 0,59	80,3	7548
BP	2008	3,838	\$ 35,24	\$ 21,16	\$ 0,60	92	21385
BP	2007	3,818	\$ 20,85	\$ 20,85	\$ 0,57	98,1	6290
BP	2006	3,926	\$ 22,03	\$ 22,00	\$ 0,40	97	13838
Chevron	2010	2,763	\$ 19,02	\$ 21,76	\$ 0,53	58,267	12139
Chevron	2009	2,704	\$ 10,48	\$ 22,24	\$ 0,53	59,963	9368
Chevron	2008	2,53	\$ 23,93	\$ 22,78	\$ 0,60	61,675	17492
Chevron	2007	2,619	\$ 18,69	\$ 20,03	\$ 0,70	59,162	9245
Chevron	2006	2,667	\$ 17,14	\$ 16,61	\$ 0,47	55,882	6099
ENI SPA	2010	1,815	\$ 10,52	\$ 12,85	\$ 0,29	79,941	3850
ENI SPA	2009	1,769	\$ 8,16	\$ 12,58	\$ 0,27	77,718	6285
ENI SPA	2008	1,797	\$ 14,31	\$ 12,30	\$ 0,29	78,094	4738
ENI SPA	2007	1,736	\$ 3,89	\$ 8,78	\$ 0,28	75,862	9336
ENI SPA	2006	1,77	\$ 3,79	\$ 6,90	\$ 0,29	73,572	6150
Exxon	2010	4,447	\$ 30,46	\$ 27,30	\$ 1,01	83,6	8000
Exxon	2009	3,932	\$ 19,28	\$ 20,70	\$ 1,05	80,7	8000
Exxon	2008	3,921	\$ 45,22	\$ 19,73	\$ 0,85	79,9	17000
Exxon	2007	4,18	\$ 40,61	\$ 15,72	\$ 0,81	80,8	20000
Exxon	2006	4,237	\$ 39,50	\$ 16,23	\$ 0,73	82,1	7000
Petrobras	2010	2,583	\$ 19,99	\$ 18,42	\$ 0,99	80,492	4201,6
Petrobras	2009	2,526	\$ 22,19	\$ 17,51	\$ 0,78	76,919	1597
Petrobras	2008	2,4	\$ 18,74	\$ 14,01	\$ 0,97	74,24	2742
Petrobras	2007	2,301	\$ 12,22	\$ 10,46	\$ 0,97	68,931	2427
Petrobras	2006	2,297	\$ 14,73	\$ 8,70	\$ 0,90	62,266	1842
Shell	2010	3,3	\$ 20,47	\$ 23,68	\$ 1,02	97	21900
Shell	2009	3,142	\$ 12,72	\$ 28,88	\$ 1,13	101	102200
Shell	2008	3,248	\$ 26,47	\$ 31,42	\$ 1,23	102	47450
Shell	2007	3,315	\$ 31,93	\$ 16,44	\$ 1,20	104	24820
Shell	2006	3,473	\$ 26,31	\$ 22,98	\$ 0,89	108	13870
Total	2010	2,378	\$ 11,40	\$ 17,51	\$ 0,95	92,855	19391
Total	2009	2,419	\$ 8,24	\$ 13,06	\$ 0,86	96,387	14938
Total	2008	2,341	\$ 31,11	\$ 13,28	\$ 0,81	96,959	46204
Total	2007	2,391	\$ 11,72	\$ 11,77	\$ 0,79	96,442	1465
Total	2006	2,356	\$ 11,61	\$ 11,93	\$ 0,75	95,07	15906