

3

Estudo de caso

Neste capítulo será apresentada a descrição do problema para o qual o modelo foi desenvolvido e uma análise e projeção da demanda de dutos e umbilicais.

3.1.

Caracterização da empresa

A PETROBRAS é uma empresa de sociedade anônima de capital aberto, cujo acionista majoritário é o Governo brasileiro, e atua como uma empresa de energia nos seguintes setores: exploração e produção, refino, comercialização e transporte de óleo e gás natural, petroquímica, distribuição de derivados, energia elétrica, biocombustíveis e outras fontes renováveis de energia.

A PETROBRAS está em quarto lugar no ranking das 250 principais empresas globais de energia (fonte: agência Platts) e é a única empresa latino-americana listada entre as dez primeiras.

A estrutura organizacional da Companhia conta com sete diretorias: Financeira, Gás e Energia, Exploração e Produção, Abastecimento, Internacional, Corporativa e Serviços e Tecnologia, Engenharia e Materiais. Na estrutura interna do segmento de Exploração e Produção (E&P) da PETROBRAS, a Unidade de Serviços de Contratação é responsável pela contratação de bens e serviços e a Unidade de Serviços Submarinos pela instalação de dutos e umbilicais, interligando os poços às Unidades Estacionárias de Produção (UEP).

O Planejamento Estratégico 2011-2015 da PETROBRAS prevê um crescimento na produção de petróleo no Brasil de 44% nos próximos 4 anos e de 130% até 2020 (PETROBRAS, 2011), conforme pode ser observado na Figura 6.

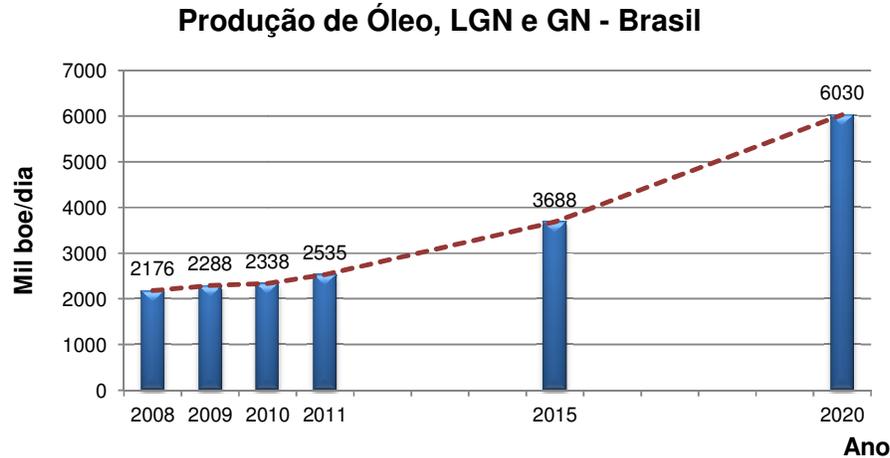


Figura 6 - Crescimento da produção de óleo e gás no Brasil
Fonte: PETROBRAS, 2011 (adaptado)

3.2. Caracterização da operação

As companhias petrolíferas utilizam basicamente duas formas contratuais para executar os serviços de instalação de dutos submarinos. Uma delas, a tipo *lump-sum*, utilizado por grande parte das companhias, é contratar o serviço para um projeto específico, onde a empresa contratada fornece os equipamentos e materiais necessários, com pagamentos por eventos / marcos. A outra forma é através de diversos contratos, entre eles, o de bases de apoio operacional e de afretamento das embarcações PLSV e aquisição dos materiais diretamente com os fabricantes de dutos e umbilicais.

Em função da demanda e de características operacionais, a PETROBRAS, no segmento de E&P, preferencialmente executa e gerencia os serviços através da contratação de diversos contratos, sendo responsável pelo gerenciamento de todo o processo.

A adoção desta solução permite flexibilidade operacional face às questões como: incorporação de novos projetos e mudança de sequência de prioridades de interligação. Esta flexibilidade é fundamental em função do dinamismo e volume das operações em águas profundas no Brasil, em especial na região das bacias de Santos e de Campos.

3.2.1. Compras de dutos e umbilicais

Kraljic (1983) sugere um roteiro dividido em quatro fases para definir estratégias de compras. A primeira fase é a de *Classificação*, na qual os itens adquiridos pela empresa devem ser agrupados, baseados em rentabilidade e risco de suprimento. A Tabela 1 apresenta um resumo desta proposta de classificação:

Tabela 1 - Classificação de itens adquiridos

| Classificação | Impacto no Resultado | Risco de Suprimento |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Estratégico | Alto | Alto |
| Gargalo | Baixo | Alto |
| Alavancado | Alto | Baixo |
| Não crítico | Baixo | Baixo |

Fonte: Kraljic (1983).

A segunda fase é a de *Análise do Mercado*. Nesta fase são avaliadas as forças entre a empresa e fornecedores. Para tal, devem ser analisados vários aspectos, tais como capacidade fabril, ponto de equilíbrio do fornecedor, produto substituto, volume de compras e demanda, custo por eventual falta ou atraso na entrega. Em um cenário de crescimento, taxas de ocupação fabril em torno de 90% para produtos estratégicos é extremamente alta.

A terceira fase, a de *Posicionamento Estratégico*, consiste em posicionar os itens classificados como estratégicos na fase 1 na matriz de portfólio, onde um eixo representa a força da empresa e o outro, a força dos fornecedores, permitindo assim a identificação das fragilidades e oportunidades.

A quarta fase é a do Plano de Ação. Nesta fase, a empresa deve elaborar planos de ação que garantam o suprimento dos itens.

Em uma análise baseada na matriz de portfólio de Kraljic (1983), a PETROBRAS agrupou os itens de acordo com a complexidade do mercado e a criticidade do item. Para Complexidade de Mercado foram levados em consideração, entre outros aspectos, o número de fabricantes, demanda mundial, capacidade fabril e possibilidade de fornecimento no mercado nacional. Para a Criticidade do Item foram considerados aspectos como o impacto da falta e a existência de produtos substitutos (Almeida Neto et al., 2009). A Figura 7 mostra o resultado desta análise para alguns bens do segmento E&P, destacando-se a participação de dutos e umbilicais.

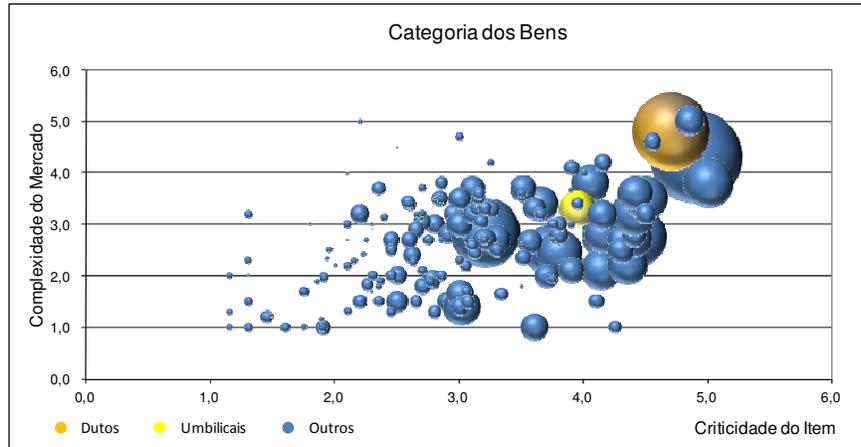


Figura 7 - Matriz de categorização de itens - Bens
 Fonte: Almeida Neto et al. (2009) – adaptado.

O mercado mundial e nacional de dutos flexíveis e umbilicais é bastante restrito. São três fabricantes de dutos no mundo e três de umbilicais no Brasil. Guo et al. (2005) corroboram a informação sobre dutos quando citam que os três fabricantes de dutos flexíveis no mundo são: NKT Flexibles, Wellstream e Technip e que estes atendem a todo o mercado mundial de petróleo.

Um dos fabricantes de umbilicais no Brasil está em processo de desenvolvimento e expansão para incorporar a fabricação de dutos no seu processo produtivo. Atualmente estão em operação seis fábricas de dutos flexíveis, sendo duas localizadas no Brasil (Vitória-ES e Niterói-RJ), três na Europa (Dinamarca, França e Escócia) e uma na Ásia (Malásia), com previsão de instalação de mais duas fábricas no Brasil a partir de 2013. As fábricas de umbilicais, que fornecem para a PETROBRAS, estão instaladas no Brasil (Vitória-ES, Niterói-RJ e Salvador-BA), onde cada fabricante tem uma unidade fabril. A Figura 8 mostra a localização destas fábricas. Ambos os produtos são disponibilizados em bobinas e transportados da fábrica até a base de carregamento através de balsas ou navios de longo curso até o porto definido pela PETROBRAS (quando o material é adquirido no exterior).



Figura 8 - Localização das fábricas de dutos e umbilicais
Fonte: Autora

Na PETROBRAS, a contratação de dutos e umbilicais é feita através de contratos de longo prazo (*Frame Agreements*) e, para cada projeto, é definido o fornecedor e fábrica, de acordo com as especificações do produto requerido, prazo de entrega, preço e disponibilidade da fábrica. Nos projetos onde a especificação técnica requerida (principalmente pressão, temperatura e contaminantes) não se enquadra nas estruturas previamente contratadas nos *Frame Agreements*, é realizada a contratação separadamente, o que exige um tempo maior de contratação. A compra se dá através do modelo puxado, onde a produção ocorre de acordo com a demanda.

Em função das incertezas quanto a volume e prazo, o processo estratégico de aquisição de um produto específico da Força Aérea Americana utiliza contratos globais, chamados ID/IQ (*Indefinite Delivery/Indefinite Quantity*). Estes contratos permitem à FAA colocar ordens de compras durante um período, a valores pré-definidos e dentro do limite estabelecido no contrato. De acordo com a regulamentação americana, deve-se ainda dar preferência a zssinar pelo menos dois contratos para um mesmo produto com empresas diferentes. Desta forma, é possível alavancar a competição entre as empresas e obter melhores preços (Apte, 2011).

Para o desenvolvimento do pré-sal, a PETROBRAS definiu que a abordagem antecipada ao mercado e contratos de longo prazo são fundamentais para o processo de compras estratégicas (Almeida Neto et al., 2009). Além disto, foram definidas

diretrizes básicas que incluem o aumento de conteúdo local, apoio ao aumento da capacidade fabril brasileira, padronização de equipamentos e flexibilização dos contratos para permitir a incorporação de novas tecnologias.

É importante ressaltar que dutos flexíveis e umbilicais são bens engenheirados, ou seja, são fabricados de acordo com as especificações técnicas requeridas pelos projetos. Em muitos casos não é possível aproveitar estes bens entre os diversos projetos da PETROBRAS.

3.2.2. Bases de carregamentos

Base de Carregamento de dutos e umbilicais é uma área que atua como um depósito de armazenagem e que possui berço de atracação que possibilite o carregamento dos materiais nas embarcações.

Com o aumento da demanda de instalação de dutos, foi necessário contratar bases de carregamento exclusivas para as operações com embarcações PLSV – Pipe Laying Support Vessel. Até então, os carregamentos eram feitos em portos contratados pela PETROBRAS para as diversas operações com embarcações. As bases de carregamento atuam como centros de distribuição em uma cadeia de suprimentos.

A base atualmente em operação está localizada em Vitória, em uma área de aproximadamente 22.000 m², com capacidade para estocar até 220 bobinas de dutos e umbilicais. Em 2010 foi contratada uma segunda base, localizada em Niterói, que deverá iniciar a operação no final de 2012. Esta nova base tem área aproximada de 16.000 m² e capacidade de 140 bobinas. A Tabela 2 apresenta as principais características de cada base.

Tabela 2 - Características das bases de carregamento

| Localização | Vitória - ES | Niterói - RJ |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| Início de Operação | 2007 | 2012 |
| Berços | 2 | 2 (1 para PLSV + 1 para balsas) |
| Capacidade de Bobinas | 220 (vários diâmetros) | 140 (vários diâmetros) |
| Área coberta | 2000 m ² | 2000 m ² |
| Área descoberta | 1500 m ² | 1500 m ² |
| Cestas | 1 x 1500 t + 1 x 900 t | 2 x 800 t |

Fonte: PETROBRAS

A área dedicada para estocagem (Capacidade de bobinas) é importante pois, apesar dos dutos e umbilicais serem comprados para cada projeto, as incertezas relacionadas à operação (repriorização de projetos, *downtime* das embarcações, condições de mar, entre outros aspectos) impactam a realização do planejamento da operação, gerando estoque nas bases de carregamento. As áreas cobertas e descobertas das bases são utilizadas para movimentação e armazenamento de materiais e acessórios e as cestas são utilizadas para a movimentação e armazenamento de dutos e umbilicais quando não enrolados em bobinas. Apesar de desempenhar um papel importante na operação das bases de carregamento, as cestas não serão consideradas neste estudo. A Figura 9 apresenta os estoques de dutos e umbilicais nos últimos anos na Base de Vitória, mostrando a importância da área de estocagem nas bases.

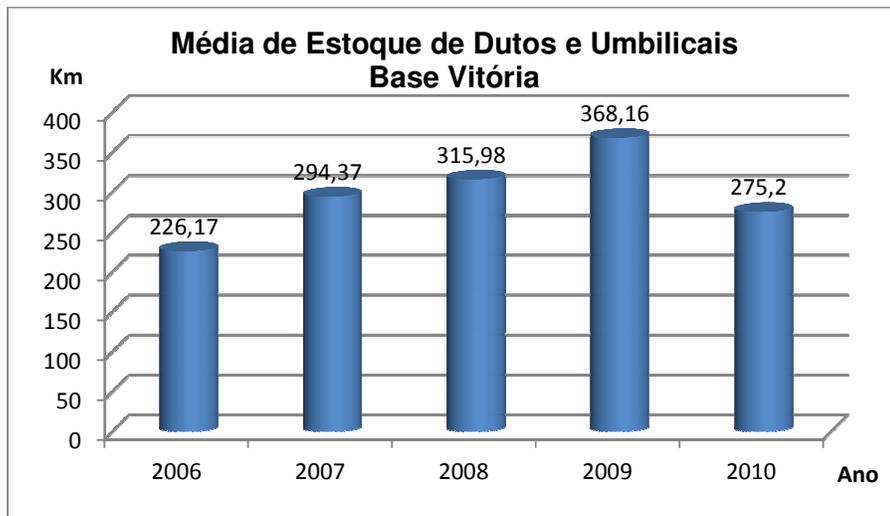


Figura 9 - Histórico do estoque de dutos e umbilicais - Base Vitória-ES
Fonte: PETROBRAS

3.2.3. Contratações de embarcações PLSV

As embarcações PLSV são contratadas através de contratos tipo *Time Charter Party* – TCP (afretamento por tempo), “contrato em virtude do qual o afretador recebe a embarcação armada e tripulada, ou parte dela, para operá-la por tempo determinado” (lei 9432/1997), sendo a remuneração do fretador estipulada *pro rata tempore*. Os contratos firmados no Brasil devem seguir a legislação brasileira vigente, onde uma embarcação de bandeira estrangeira somente pode ser contratada quando não há embarcação de bandeira brasileira disponível.

Em função desta legislação, da impossibilidade de se manter embarcações de bandeira estrangeira sem contrato em águas jurisdicionais brasileiras e da alta demanda de embarcações PLSV para atender a todas as companhias de petróleo em operação no país, o mercado *spot* para estas embarcações é restrito, praticamente inexistente.

Desta forma, não há como cobrir eventuais picos de demanda com a contratação de embarcação adicional e mesmo que fosse possível, conforme demonstrado por Shyshou et al. (2010), para o dimensionamento de embarcação do tipo Anchor Handling Supply Vessel - AHTS, deve-se evitar priorizar os contratos *spot* em relação à contratação de longo termo, em função das diferenças dos valores de taxas diárias. O mercado *spot* apresenta taxas muito acima das taxas praticadas no mercado de longo termo, aumentando muito o custo logístico.

As taxas diárias para a contratação de embarcação PLSV são regidas pelo mercado, de acordo com a oferta e procura. Há várias publicações especializadas, onde é possível obter uma referência, não só as taxas atuais e passadas, como também previsões de taxas futuras, permitindo assim, avaliar o melhor momento de realizar a contratação.

O número de embarcações tem crescido ao longo do tempo. Na década de 80, a PETROBRAS tinha sob contrato apenas uma embarcação do tipo PLSV. Este número triplicou na década seguinte e atualmente são 18 embarcações contratadas, sendo 12 em operação e outras 6 com previsão de início para 2014.

3.3. Descrição do problema

A partir de 2012, com o início da operação de uma segunda base de carregamento, localizada em Niterói-RJ, será necessário definir previamente, para cada projeto de instalação, para qual base os materiais deverão ser transportados e armazenados antes de serem carregados nas embarcações. A Figura 10 apresenta de forma esquemática o fluxo dos dutos flexíveis e umbilicais, desde a origem nas fábricas até o destino final nos projetos e a Figura 11, a distância entre as duas bases e as bacias onde estão localizados os principais projetos.

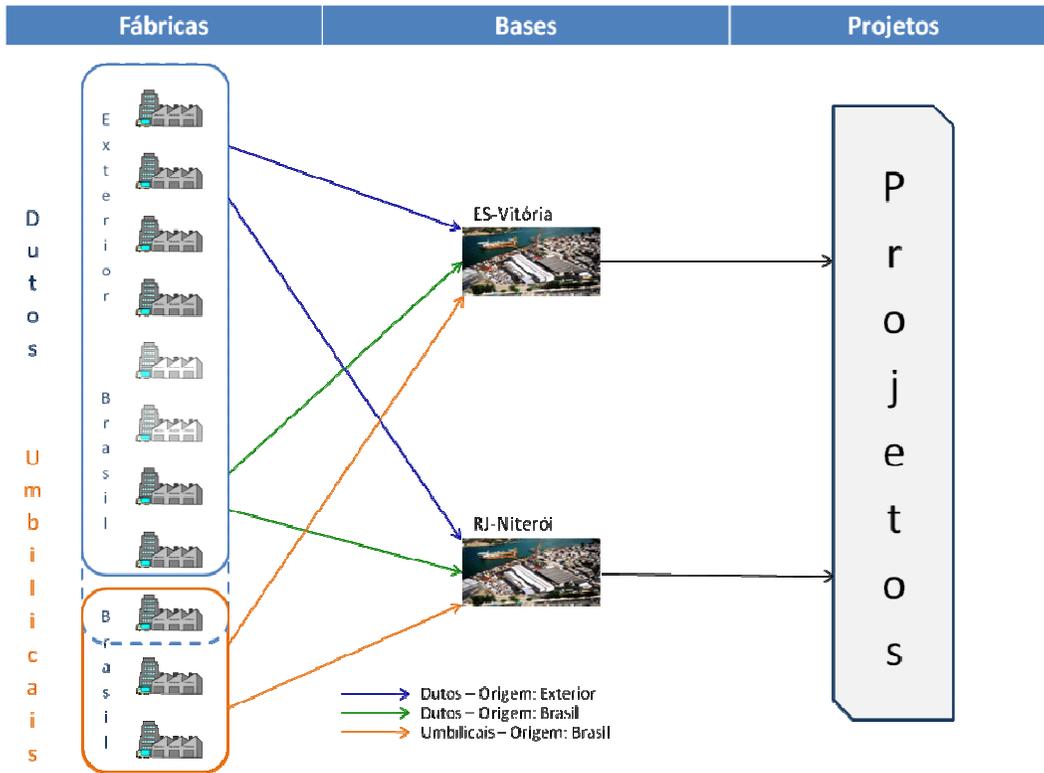


Figura 10 - Fluxo dos dutos e umbilicais
Fonte: Autora

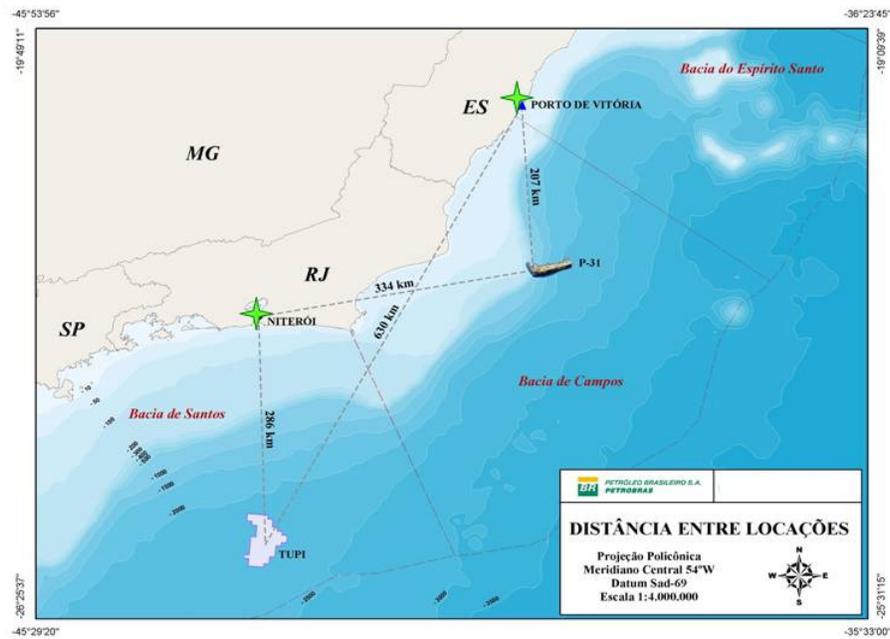


Figura 11 - Localização das bases de carregamento
Fonte: PETROBRAS

A definição da base de carregamento deve ser feita buscando a minimização do custo total (custo do material + custo de transporte entre a fábrica e a base + custo de armazenagem na base + custo de movimentação na base + custo da embarcação da base até a locação), considerando a capacidade da base (espaço disponível) em receber a quantidade de material previsto para o projeto e a capacidade de produção da fábrica.

Rushton (2010) detalha os componentes dos custos logísticos ao se considerar centros de distribuição. Os custos estão diretamente relacionados à quantidade, tamanho, localização e tipo dos centros de distribuição. É importante que as empresas tenham estes valores segmentados na organização, ou não será possível a análise de *gaps* e possíveis ganhos na operação. A Figura 12 mostra de forma gráfica a distribuição destas parcelas. Como pode ser observado, o aumento do número de centros de distribuição gera um aumento nas parcelas inventário, estoque, sistema e transporte da origem ao centro (primário). Somente a parcela referente à entrega final do produto é reduzida, já que os CD devem estar localizados próximos ao cliente. Esta análise não contempla o custo de instalação do centro de distribuição, apenas os custos operacionais.

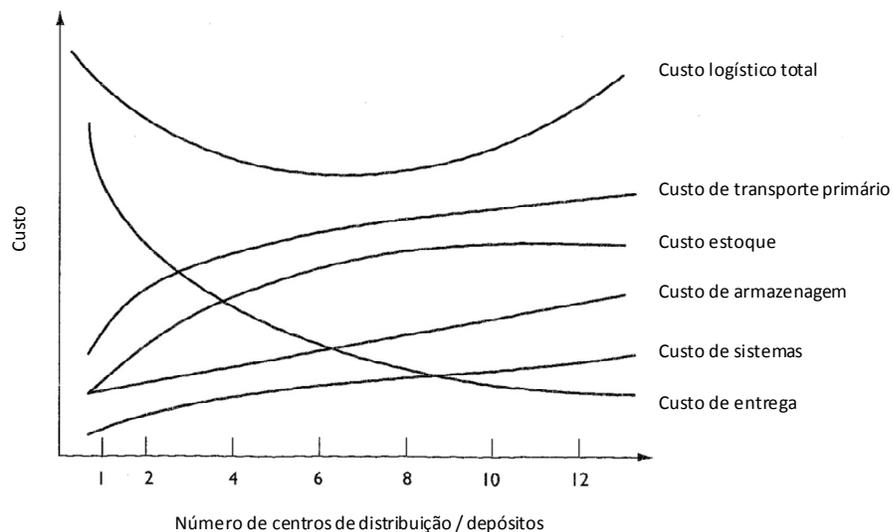


Figura 12 - Distribuição de custos
Fonte: Rushton (2010)

Outra observação que pode ser feita é que a maior parcela é referente ao custo do transporte primário. Em uma cadeia logística, a parcela de transporte pode representar 60% dos custos logísticos de uma empresa (Nazário, 2007).

Conforme visto, a parcela de custo mais representativa é a do transporte da fábrica até a base de carregamento, que pode variar entre não haver custo, quando a compra é

feita em fábrica contígua à base de carregamento até alguns milhões de reais para as aquisições feitas no exterior.

O transporte das bases de carregamento até os projetos é feito diretamente nas embarcações PLSV e o custo varia de acordo com a distância entre base e a locação. Para este segmento, o impacto maior é no dimensionamento da frota, pois o tempo de ciclo aumenta em função da distância entre as bases e os projetos.

As bases têm custo fixo diário e um custo variável por bobina movimentada e estocada.

3.4. Análise da demanda de dutos

A metodologia para projeção de demanda de dutos e umbilicais deve ser feita com base em diversas variáveis, entre elas, o número de poços, relacionado à probabilidade de serem completados, distância destes poços até a Unidade Estacionária de Produção – UEP onde serão interligados e a lâmina d’água.

Em função desta informação ser de uso exclusivo da PETROBRAS, para o desenvolvimento deste trabalho, foi dada uma abordagem simplificada, em que a demanda foi analisada apenas sob o ponto de vista do histórico das aquisições, através de uma correlação com o crescimento da produção de petróleo no mesmo período.

Apenas como exemplo de crescimento da atividade, na Tabela 3 é apresentado o histórico de instalação de dutos flexíveis e umbilicais nos últimos anos.

Tabela 3 - Quantidade instalada de dutos e umbilicais

| Km Instalados | | |
|----------------------|--------------|-------------------|
| Ano | Dutos | Umbilicais |
| 2007 | 392 | 213 |
| 2008 | 500 | 363 |
| 2009 | 547 | 304 |
| 2010 | 488 | 324 |
| 2011 | 566 | 371 |

Fonte: PETROBRAS

3.4.1.1. Previsão da Demanda e Correlação Linear

Chopra e Meindl (2003) afirmam que as previsões da demanda futura são essenciais para os processos de decisão e planejamento da cadeia de suprimentos, apesar de existir uma incerteza relacionada ao resultado. Visões de longo prazo são mais

imprecisas dos que as de curto prazo, assim como a análise desagregada em relação à análise de dados agregados.

Os modelos de previsão de demanda são classificados como:

- Qualitativos – quando há limitação dos dados históricos e se apoiam no conhecimento e experiência de especialistas.

- Séries Temporais – quando se baseiam nos dados históricos e que estas informações são um bom indicador para o futuro.

- Causal – quando há uma relação de causa e efeito entre demanda e fatores conjunturais.

- Simulação – quando são feitas simulações para avaliar a resposta a alguns questionamentos.

De acordo com Costa Neto (2002), a correlação linear pode ser definida quando é identificada uma tendência de variação semelhante entre duas variáveis, isto é, quando há aumento de uma variável, a outra também aumenta. Um exemplo apresentado pelo autor é o de altura x peso de pessoas.

Chopra e Meindl (2003), alertam que as previsões estão sempre erradas e devem estar relacionados a uma medida de erro. Previsões de longo prazo e desagregadas são menos precisas que as de curto prazo e agregadas. Mentzer e Gomes (1989) destacam que quanto maior a desagregação da demanda, maior é a dificuldade de se obter previsões acuradas.

Medidas de precisão são necessárias para garantir a melhoria no processo da previsão. As medidas devem permear toda a empresa e devem ser utilizados critérios nos quais os gerentes tenham domínio e se sintam confortáveis em usá-los. São importantes não só para avaliação das previsões, mas também para garantir competitividade estratégica (Mentzer et al., 1999).

Lemos (2006) apresenta um resumo de medidas de erros que podem ser utilizados para análise das previsões, conforme Figura 13

| SIGLA | SIGNIFICADO | EQUAÇÃO | SIGLA | SIGNIFICADO | EQUAÇÃO |
|-------|---|---|--------|--|--|
| ME | Mean error Erro médio | $ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i$ | MSE | Mean squared error Erro quadrático médio | $MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ |
| MAE | Mean absolute error Erro absoluto médio | $MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i $ | RMSE | Root mean squared error Raiz do erro quadrático médio | $RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ |
| MPE | Mean percentual error Erro percentual médio | $MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{Y_i} \right]$ | GRMSE | Geometric root mean squared error Raiz da média geométrica do erro quadrático | $GRMSE = \left(\prod_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right)^{\frac{1}{2n}}$ |
| APC | Absolute percentual error Erro percentual absoluto | $APC = \left \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right $ | RGRMSE | Relative geometric root mean squared error Raiz da média geométrica relativa do erro quadrático | $RGRMSE = \left(\frac{\prod_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{i,a})^2}{\prod_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{i,b})^2} \right)^{\frac{1}{2n}}$ |
| MAPE | Mean absolute percentual error Média dos erros percentuais absolutos | $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right $ | RAE | Relative absolute error Erro absoluto relativo | $RAE = \left \frac{Y_i - \hat{Y}_{i,a}}{Y_i - \hat{Y}_{i,b}} \right $ |
| MDAPE | Median absolute percentual error Mediana dos erros percentuais absolutos | ----- | MRAE | Mean relative absolute error Média do erro absoluto relativo | $MRAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{Y_i - \hat{Y}_{i,a}}{Y_i - \hat{Y}_{i,b}} \right $ |
| MIRAE | Median relative absolute error Mediana dos erros relativos absolutos | ----- | GMRAE | Geometric mean relative absolute error Média geométrica dos erros absolutos relativos | $GMRAE = \left(\prod_{i=1}^n \left \frac{Y_i - \hat{Y}_{i,a}}{Y_i - \hat{Y}_{i,b}} \right \right)^{\frac{1}{2n}}$ |

Figura 13 - Medidas de erros em previsão
Fonte: Lemos (2006)

Além das medidas citadas acima, Chopra e Meindl (2003), propõem também a *Razão do Viés*, razão entre a soma dos erros para cada ponto e o erro absoluto médio (MAE).

$$Razão\ do\ Viés = \frac{\sum_{k=1}^n E_k}{MAE},$$

onde E_k é a diferença entre a demanda calculada na previsão e a demanda real.

De acordo com os autores, a inclinação da reta para a linha de tendência de todos os pontos dos erros, plotados em um gráfico, deve ser zero e o resultado da *Razão de Viés* deve estar compreendido entre -6 e +6.

3.4.2. Análise dos dados

Para análise dos dados foram utilizadas as demandas reais de dutos flexíveis e umbilicais entre 2006 a 2011 e avaliada a correlação destes dados com a produção diária de petróleo em cada ano.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos na avaliação para a demanda de dutos flexíveis. Para tal, foi utilizado o software Excel, com aplicação da ferramenta Análise de Dados – Regressão.

A demanda de dutos flexíveis apresenta uma variação semelhante à da produção diária de petróleo, ou seja, o aumento da produção leva a uma maior demanda, conforme apresentado na Figura 14.

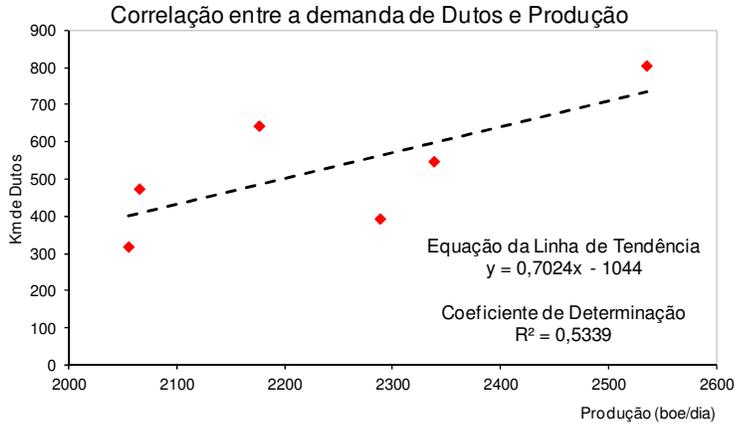


Figura 14 - Correlação entre demanda de dutos e produção de petróleo
 Fonte: Autora

O valor da variável *F de significação*, calculada na ferramenta de regressão do Excel é de 0,099, mostrando que a dependência entre as duas variáveis não é muito forte, confirmando o que é mostrado no coeficiente de determinação, próximo a 0,5 e um coeficiente de correlação de 0,73. Estes números estão dentro do critério proposto por Costa Neto (2002), onde o coeficiente de correlação deve estar entre -0,7 e 0,7 para que a regressão seja utilizada para um nível de significância de 0,1.

Com base nos resultados descritos acima, foi feita a projeção da demanda, utilizando-se a equação proposta:

$$\text{Demanda} = 0,7024 \times \text{Produção} - 1044$$

Os resultados obtidos para os períodos 2006 a 2011, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Cálculo do erro para a projeção de dutos

| Ano | Produção | Demanda Real | Erro | Erro Percentual Absoluto |
|------|----------|--------------|------|--------------------------|
| 2006 | 2055 | 320 | 80 | 25% |
| 2007 | 2065 | 475 | -69 | 14% |
| 2008 | 2176 | 644 | -160 | 25% |
| 2009 | 2288 | 394 | 169 | 43% |
| 2010 | 2338 | 549 | 49 | 9% |
| 2011 | 2535 | 806 | -69 | 9% |

Fonte: Autora

A inclinação da reta para a linha de tendência dos valores dos erros é $2,0 \times 10^{-5}$ e a *Razão de Viés* apresentou valores entre -1,45 e + 1,00, encontrando-se dentro da faixa esperada. Desta forma, este método de previsão poderá ser utilizado para os testes do

modelo proposto. Foram ainda calculadas projeções para um intervalo de confiança de $\pm 2,5\%$ e $\pm 10\%$ e conforme Figura 15.

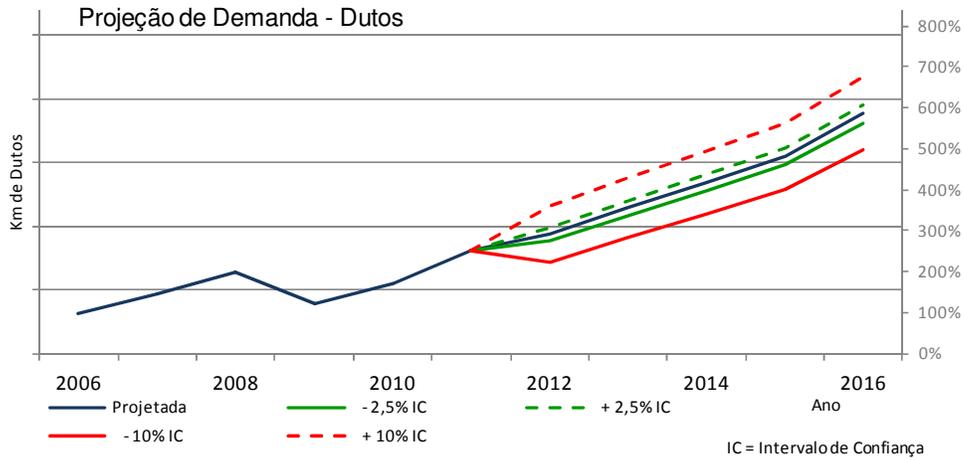


Figura 15 - Projeção da demanda de dutos
Fonte: Autora

Com o objetivo de avaliar os custos logísticos para instalação de dutos flexíveis e umbilicais, foram desenvolvidos dois modelos de programação linear, que serão descritos no próximo capítulo. A demanda calculada acima foi utilizada como entrada de dados para realizar todos os testes do modelo e análise dos resultados.