

5 Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a utilização do modelo matemático descrito no capítulo anterior. O objetivo do modelo foi desenvolver uma solução para apoiar a decisão na aquisição de dutos flexíveis e umbilicais e a distribuição por diferentes bases de carregamento.

Foram realizados vários experimentos, com diferentes cenários, de forma a se obter uma análise abrangente.

O capítulo está dividido em três partes:

- Comparação dos resultados obtidos no modelo determinístico com os dados reais dos anos de 2010 e 2011;
- Análise de cinco cenários de demanda no modelo determinístico;
- Comparação da solução obtida no modelo determinístico com a do modelo estocástico, incluindo análise do impacto com a inclusão dos custos de troca e de penalidades;

Em todos os experimentos foram tratados apenas três diâmetros de dutos e um diâmetro de umbilical, por representarem mais de 80% da demanda. Foram utilizados valores reais para os parâmetros, com exceção da Demanda 2013 a 2016, em que foram utilizados os dados calculados no Capítulo 3, em função da restrição de uso da informação.

A capacidade fabril foi definida como 80% da capacidade máxima das fábricas, pois parte desta capacidade total está destinada a outros clientes.

Não foi considerada a capacidade prevista do fabricante de umbilicais em processo de desenvolvimento para dutos, por só estar homologado para diâmetros não tratados neste estudo.

Para os casos em que o custo do estoque é zero, foi definido um valor simbólico, apenas para permitir o cálculo do custo do estoque na análise. Será observado ao longo deste capítulo que esta atribuição, de valor simbólico, não alterou o resultado final gerado pelo modelo.

A projeção da demanda realizada no Capítulo 3 foi feita com a demanda agregada em cada ano. O modelo foi especificado para atender à realidade operacional, em que a demanda é definida por projeto. Para permitir a execução do modelo, foi feita uma análise probabilística da quilometragem média de dutos e umbilicais por projeto, para o período 2006-2011 e do número de projetos por ano. Foram gerados os projetos necessários para compor a demanda projetada.

Os contratos vigentes com as bases de carregamento são distintos, em que cada um tem uma estrutura própria de pagamento. A capacidade máxima da base de Vitória no Espírito Santo é de 220 bobinas, enquanto a da base de Niterói é de 140 bobinas.

5.1. Demanda 2010 – 2011

Os dados tratados nesta fase do trabalho são referentes à demanda real dos anos de 2010 e 2011. Durante este período apenas uma base de carregamento estava em operação e todas as aquisições foram destinadas para aquela base.

É importante ressaltar que o modelo proposto não considera o preço da aquisição dos dutos flexíveis e umbilicais, e a comparação apresentada a seguir é referente apenas ao custo logístico.

De forma a permitir a comparação entre os custos logísticos, foi considerado que os tipos de bobinas, gerados pelo modelo para atendimento a cada projeto, foram os mesmos usados no caso real. A informação sobre os tipos de bobinas utilizados não está disponível e os dados reais contêm apenas a quilometragem de dutos e umbilicais para cada projeto.

Como apenas uma base se encontra em funcionamento e tanto na situação real como na otimização, todas as aquisições foram direcionadas para esta base, não foi feita a comparação da parcela de custo de transporte entre a base e os projetos (bacias).

Outra parcela não comparada do custo logístico foi a de estoque na base. Como o modelo determinístico não considera alterações de programação ou priorização de projetos, a quantidade de bobinas mantida em estoque gerada na otimização é muito baixa, não traduzindo a realidade operacional, tornando não recomendada uma comparação entre os estoques reais e gerados pelo modelo.

Os resultados dos custos de movimentação das bobinas na base e o de transporte fábrica x base, encontram-se na Figura 17. Como esperado, o custo de movimentação

foi praticamente o mesmo, já que os tipos de bobinas sugeridas pelo modelo foram os mesmos utilizados para o cálculo do custo real. As diferenças existentes estão relacionadas apenas a decisão por aquisições agrupadas (ou desagrupadas).

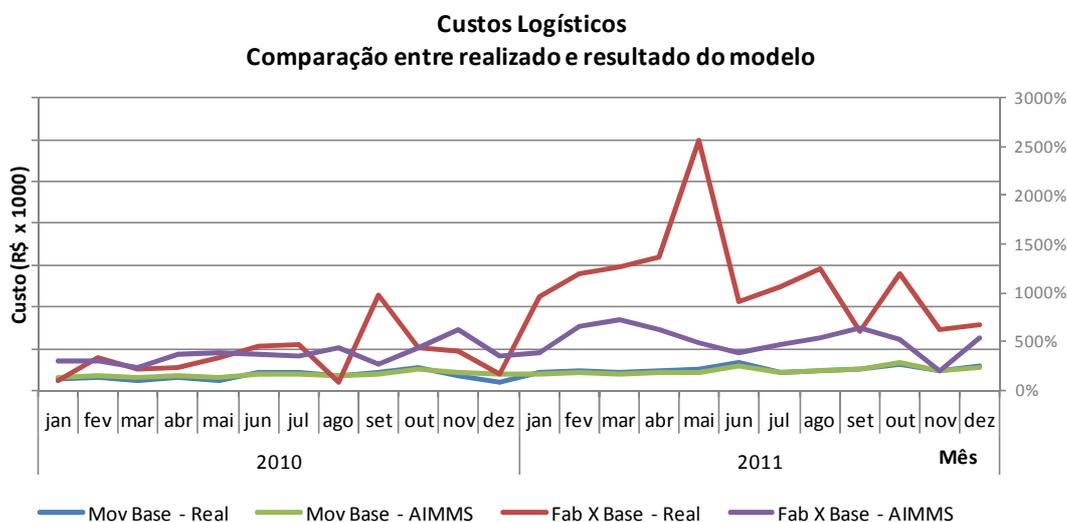


Figura 17 - Custos logísticos - demanda 2010-2011

Quanto ao custo de transporte fábrica x base, há diferenças significativas. A decisão quanto à origem do fornecimento é determinante para a variação desta parcela do custo logístico.

Assim como os dados reais, a solução ótima gerada pelo modelo gerou aquisições de fábricas no exterior, porém de uma forma distribuída. Os picos em set/2010, mai/2011, ago/2011 e out/2011 são referentes a compras realizadas na Europa. Ao todo, foram adquiridas em torno de 58 bobinas equivalentes (quilometragem de dutos / capacidade da bobina) de fábricas na Europa. Na otimização, o modelo apontou a necessidade de adquirir a mesma quantidade de material no exterior, ocorrendo ao longo dos dois anos analisados, conforme pode ser observado na Figura 18.

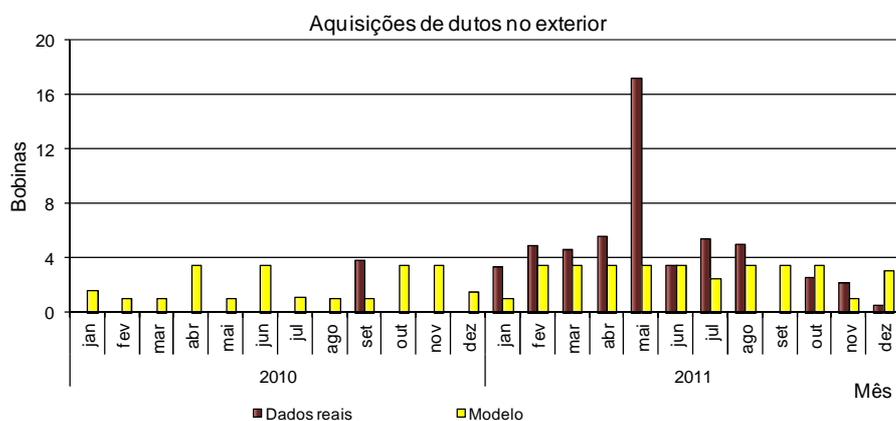


Figura 18 - Aquisição de dutos no exterior

Ressalta-se que o modelo não considera diferenças de especificações técnicas entre fabricantes e/ou fábricas diferentes, ou seja, trata dutos e umbilicais como *produtos de prateleira*, quando em muitos casos, apenas um fornecedor tem condições técnicas de fabricação.

Outro fator que contribui para a diferença é a origem dos dutos flexíveis. São três fábricas localizada na Europa, cada uma com um custo diferente de transporte até o Brasil.

É importante lembrar que o modelo analisa capacidade anual de produção das fábricas, diferente na situação real, quando a capacidade de produção é acompanhada em períodos menores. A opção para esta solução foi de evitar soluções inviáveis, em função dos picos de demanda, normais neste tipo de atividade.

Outro ponto a ser ressaltado é que a capacidade de produção considerada para esta análise foi de 80% da capacidade total da fábrica, o que, em alguns casos pode ser um valor elevado. As fábricas existentes atendem a toda a indústria do petróleo e, apesar das fábricas no Brasil terem a PETROBRAS como o principal cliente, não há dedicação exclusiva. A Figura 19 mostra, para a demanda de 2010 e 2011, a variação da parcela do custo de transporte das fábricas à base em função da disponibilidade da capacidade de produção. A solução do modelo não apresenta um pico semelhante como o que ocorreu no caso real, porém há um incremento nos custos desta parcela em função da redução da disponibilidade da capacidade de produção.

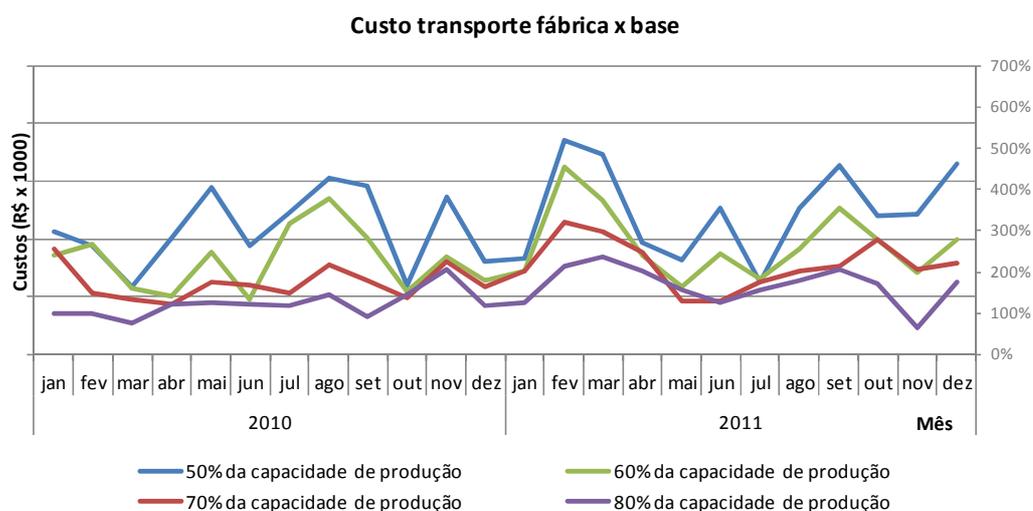


Figura 19 - Custo e capacidade de produção

Para o mesmo período, foi feita uma análise considerando as duas bases em operação. Neste cenário, o custo total ficou 50,51% acima do calculado para uma única base, porém os custos logísticos sofreram uma redução de 31%. Este resultado está aderente à realidade operacional, pois o custo fixo da base é significativo. A utilização de uma segunda base mostrou-se não favorável, para este período.

As Figuras 20 e 21 apresentam as parcelas dos custos logísticos para uma base de carregamento e para duas bases. De forma a permitir uma comparação dos resultados, os dois gráficos estão na mesma escala, por isto, na Figura 21 nota-se que a linha relativa ao custo do estoque contém valores fora da escala do gráfico.

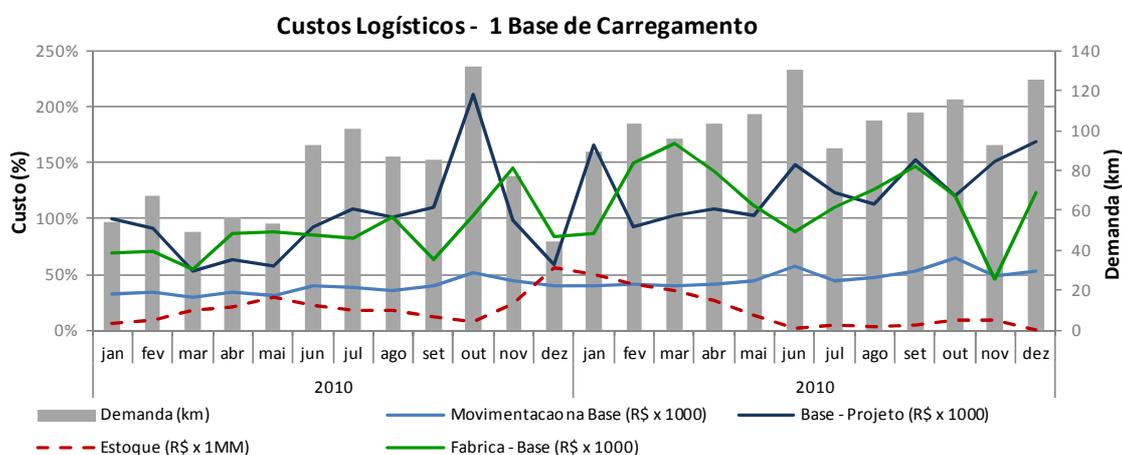


Figura 20 - Custos logísticos para 1 base de carregamento

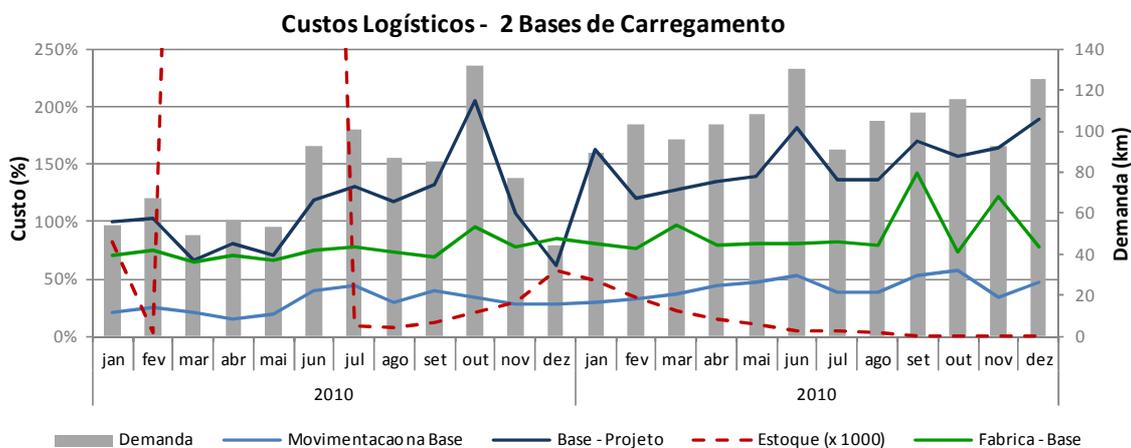


Figura 21 - Custos logísticos para 2 bases de carregamento

Como pode ser observado, a maior variação é na parcela referente ao estoque, com um pico entre março e junho/2010 quando se utiliza duas bases. Isto se deve à possibilidade de uma maior antecipação no transporte das fábricas às bases, otimizando esta parcela de custo. Além disto, com a utilização da segunda base, há uma redução na parcela do custo de transporte das fábricas às bases, por aproximar algumas fábricas dos centros de distribuição.

5.2. Modelo determinístico – Demanda 2013 – 2016

A nova base, localizada em Niterói – RJ, entrará em operação no final de 2012 e somente a partir de 2013 poderá ser utilizada como centro de distribuição de dutos flexíveis e umbilicais. Em função disto, o modelo foi executado para a demanda do período 2013 a 2016. O atendimento à demanda de 2012 será feito na totalidade através da base de Vitória.

O cenário básico utilizado nesta análise foi o da demanda projetada para o período de 2013 a 2016, calculada no Capítulo 3. Ao longo dos quatro anos, a demanda cresce em torno de 60%. Apesar disto, o resultado para este cenário apresenta pouca variação no custo total conforme pode ser verificado na Figura 22. Porém, quando comparado com a demanda, observa-se que o custo por quilômetro de duto flexível e umbilical em 2013 é, em média, 19% maior do que no restante do período.

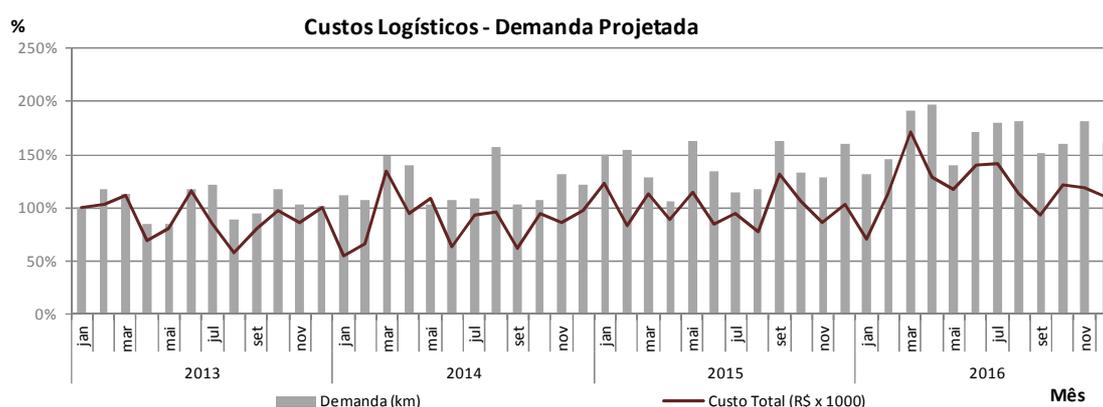


Figura 22 - Custo logístico - demanda 2013-2016

A Figura 23 mostra a segmentação das parcelas dos custos logísticos, em que é verificado que a parcela de custo referente ao transporte fábrica x base apresenta valores

elevados no início de 2013, principalmente quando analisado em conjunto com a demanda.

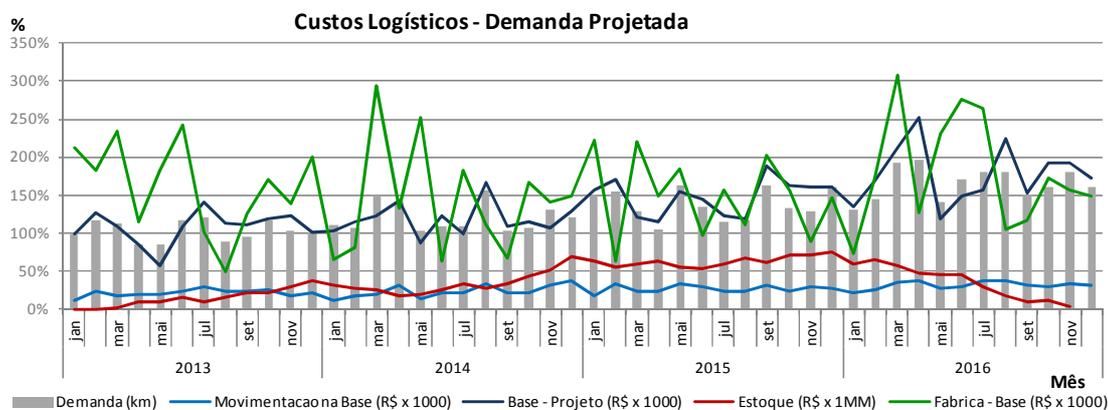


Figura 23 - Parcelas do custo logístico - demanda 2013-2016

Esta diferença se deve principalmente às aquisições de dutos flexíveis realizadas em fábricas no exterior. O custo de transporte das fábricas no exterior até as bases de carregamento é elevado, quando comparado aos custos de transporte dos produzidos no Brasil. A demanda de 2013 gerou necessidade de adquirir 39,5% dos dutos flexíveis de fábricas localizadas na Europa. A Tabela 5 mostra os percentuais adquiridos em cada região. Como durante o período analisado há aumento da capacidade fabril brasileira, o percentual de importação reduz nos dois primeiros anos, voltando a aumentar após a estabilização da capacidade e aumento da demanda.

Tabela 5 - Aquisição de dutos por região

Local	2013	2014	2015	2016	Total geral
Brasil	60,50%	71,01%	73,92%	69,18%	69,05%
Europa	39,50%	28,99%	26,08%	30,82%	30,95%

Para garantir um atendimento médio de 90% do total das compras no Brasil (dutos e umbilicais), a capacidade anual de produção de dutos flexíveis teria que sofrer um aumento real de 250 km, destinado para a PETROBRAS, a partir de 2013, mantendo este valor até 2016. Esta alteração representaria uma redução de 20% nos custos logísticos e de 40% na parcela referente ao transporte da fábrica à base. A Tabela 6 apresenta os percentuais de compras no Brasil e no exterior para o período analisado, considerando o aumento da capacidade de produção. Para o aumento de capacidade proposto, o percentual de compras realizadas no Brasil passa de 69% para 90%.

Tabela 6 - Aquisição de dutos e umbilicais por região, considerando aumento de produção de dutos no Brasil

Local	2013	2014	2015	2016	Total geral
Brasil	86,75%	91,18%	94,21%	89,89%	90,63%
Europa	13,25%	8,82%	5,79%	10,11%	9,37%

Caso a demanda por dutos continue crescendo, a partir de 2017, mesmo considerando um possível aumento na capacidade de produção, o percentual de aquisições no exterior voltará a aumentar, acarretando maiores custos logísticos.

Conforme já visto anteriormente, a capacidade fabril tem um alto impacto no resultado final. Outras empresas de petróleo também estão realizando investimentos no Brasil, o que pode levar a percentuais menores da capacidade de produção, destinados à PETROBRAS. Para permitir uma avaliação sobre este impacto, o modelo foi executado para o intervalo entre 50% e 150% da capacidade máxima de produção de cada fábrica no Brasil. A Figura 24 mostra a relação entre o percentual da capacidade de produção de dutos no Brasil, disponível para a PETROBRAS, e o custo logístico total.

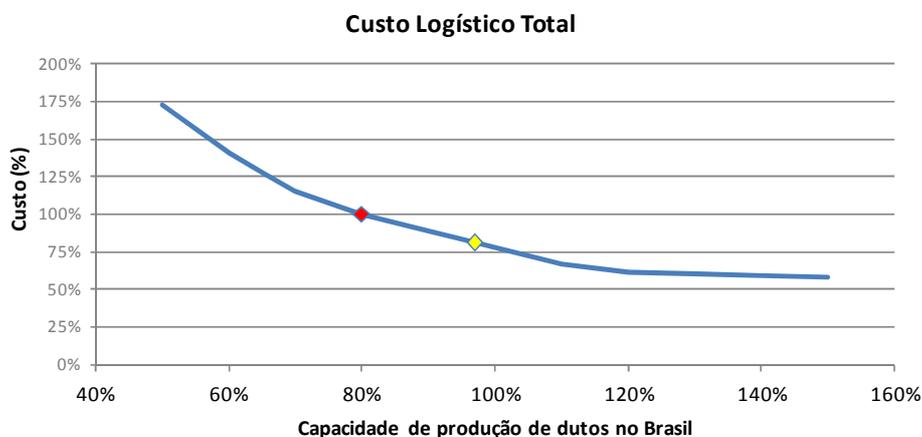


Figura 24 - Capacidade de produção no Brasil e custo logístico

Ainda em relação à capacidade de produção, foi feita uma análise em relação à compra no mercado nacional. Este é um aspecto importante, não só pelo desenvolvimento da indústria brasileira, como também para garantir o atendimento aos contratos de concessão assinados com a Agência Nacional do Petróleo – ANP, que incluem cláusulas de conteúdo local, com percentuais mínimos a serem atendidos. A Figura 25 mostra o impacto positivo que o aumento da capacidade fabril traz à possibilidade de adquirir os dutos flexíveis no Brasil.

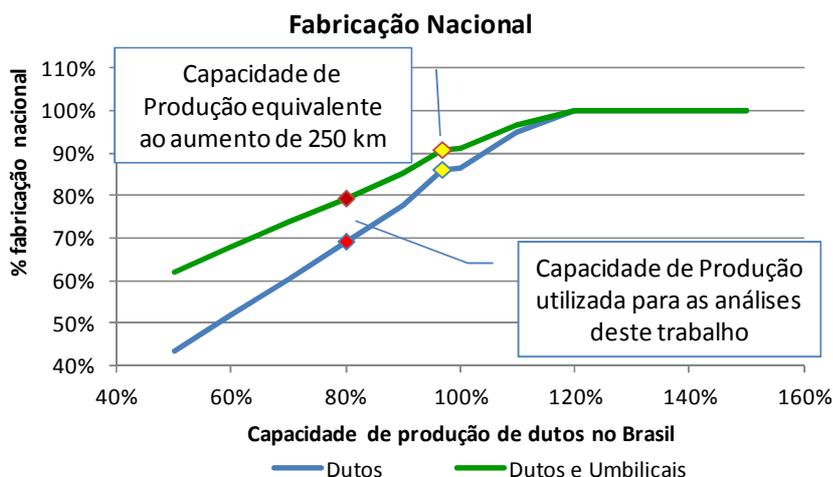


Figura 25 - Capacidade de produção e compra de dutos no Brasil

Apesar da capacidade da base localizada no estado do Rio de Janeiro ser menor, há um direcionamento da demanda para esta base em função da distância entre a base e os projetos. Uma parcela significativa dos projetos está localizada na região do pré-sal da Bacia de Santos, que está situado a 300 km do Rio e a 600 km de Vitória. Em 2013, em torno de 59% da demanda é atendida por esta base, e para os anos seguintes, o percentual sobe, atingindo 61,9% em 2015, conforme pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 - Utilização das bases

Base	2013	2014	2015	2016	Total geral
ES-Vitoria	41,01%	40,07%	38,10%	37,11%	38,94%
RJ-Niteroi	58,99%	59,93%	61,90%	60,92%	61,06%

O contrato da base em Vitória não tem pagamento referente ao estoque, diferente do que ocorre com o contrato da base localizada em Niterói, que prevê pagamentos diferenciados por tipos de bobinas. Esta situação é refletida na quantidade de bobinas mantida em estoque em cada base. A Figura 26 mostra que a base em Vitória apresenta estoque ao longo do período, enquanto a base em Niterói, apesar de ter a maior movimentação, não apresenta formação de estoque.

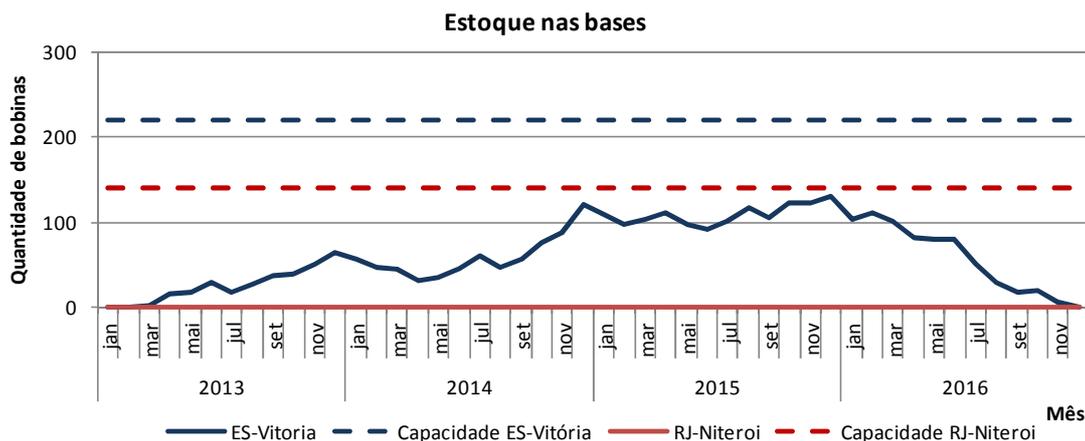


Figura 26 - Estoque nas bases

5.3. Modelo determinístico – Demanda 2013 – 2016 com variações

Foram feitas análises considerando variação de demanda, com quatro cenários distintos:

- Redução média de 3,71%, equivalente ao intervalo de confiança de 2,5%;
- Redução média de 7,43%, equivalente ao intervalo de confiança de 5%;
- Redução média de 14,90%, equivalente ao intervalo de confiança de 10%;
- Aumento médio de 3,71%, equivalente ao intervalo de confiança de 2,5%.

O objetivo destas análises foi analisar o comportamento e as variações nas soluções do modelo para diversos níveis de demanda.

Rittershaussen (2011) apresenta uma expectativa de demanda de dutos e umbilicais para os anos 2012 a 2016. A escolha das curvas de demanda acima citadas foi baseada nesta expectativa, já que os valores apresentados ali estão compreendidos entre a demanda projetada e a redução equivalente ao intervalo de confiança de 10%.

A opção de análise de uma demanda acima da projetada está relacionada à verificação da capacidade de produção e das bases. Não foram tratados os aumentos de demanda relativos a 5% e 10% do intervalo de confiança por exigirem alterações nos parâmetros de capacidade de produção e de estocagem de bobinas nas bases, tornando a comparação sem efeito prático.

A Tabela 8 apresenta os principais resultados entre os cinco cenários analisados.

Tabela 8 - Comparação entre cenários de demanda 2013-2016

	Cenários				
	Projetada + 2,5% IC	Projetada	Projetada - 2,5% IC	Projetada - 5% IC	Projetada - 10% IC
Demanda	103,50%	100%	96,50%	92,81%	83,06%
Custo Logístico	107,27%	100%	92,80%	83,99%	66,13%
Custo Fábrica x Base	110,96%	100%	88,98%	74,90%	47,51%
Custo Estoque e Movimentação	102,89%	100%	97,66%	95,56%	89,36%
Custo Base x Projeto	103,85%	100%	96,29%	92,26%	83,18%
Aquisição de dutos no Brasil	66,68%	69,05%	71,60%	75,42%	83,03%
Utilização da base RJ	61,56%	61,06%	60,30%	59,11%	56,89%
Utilização da base ES	38,44%	38,94%	39,70%	40,89%	43,11%
Estoque médio na base RJ (em bobinas)	0,00	0,00	0,02	0,07	0,05
Estoque médio na base ES (em bobinas)	61,94	62,21	56,16	51,83	61,39

IC – Intervalo de confiança

Como era de se esperar, é possível observar que há uma relação direta entre volume da demanda, custos e aquisições no Brasil. A variável mais impactada é a da parcela de custo entre as fábricas e as bases, pois o crescimento das importações eleva esta parcela de forma exponencial.

É interessante porém analisar o comportamento do estoque na base Vitória-ES. Não há uma relação direta entre demanda e estoque. Pelo contrário, demandas menores apresentam estoques mais elevados em alguns períodos. Esta variação se deve à antecipação no recebimento de dutos e umbilicais.

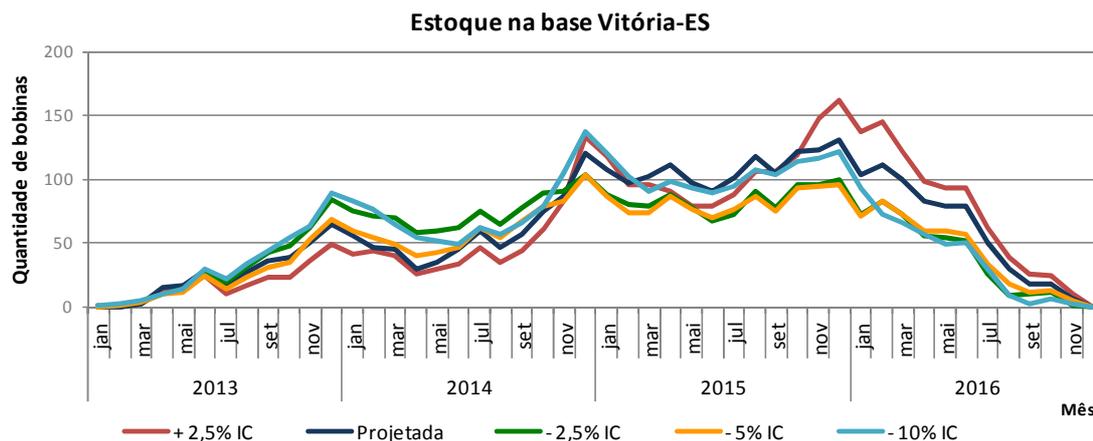


Figura 27 - Estoque na base Vitória-ES

5.4. Modelo estocástico – Demanda 2012 – 2016

A utilização do modelo estocástico permitiu duas análises distintas. A primeira teve o objetivo de comparar os resultados entre o modelo determinístico e o modelo estocástico e a segunda teve o objetivo de analisar a capacidade do estoque nas bases.

5.4.1. Comparação entre modelos

Na solução estocástica, a incerteza sobre a demanda foi incorporada com a análise de três cenários distintos: demanda projetada, demanda projetada menos intervalo de confiança de 2,5% e demanda projetada menos intervalo de confiança de 5%, com probabilidades de ocorrência de 33,3% para cada.

Como variável de primeiro estágio, a demanda projetada foi adquirida na sua totalidade, porém a instalação se deu de acordo com a incerteza, ou seja, apenas 96% dos dutos flexíveis e umbilicais adquiridos foram instalados. O restante foi mantido em estoque nas bases.

Em função desta variação na demanda para instalação, o custo de estoque nas bases é crescente, com o acúmulo de bobinas. A Figura 28 mostra a evolução desta parcela de custo durante os quatro anos analisados e o detalhamento nos primeiros meses, identificando o momento em que os valores referentes à solução estocástica tornam-se bem maiores do que na solução determinística.

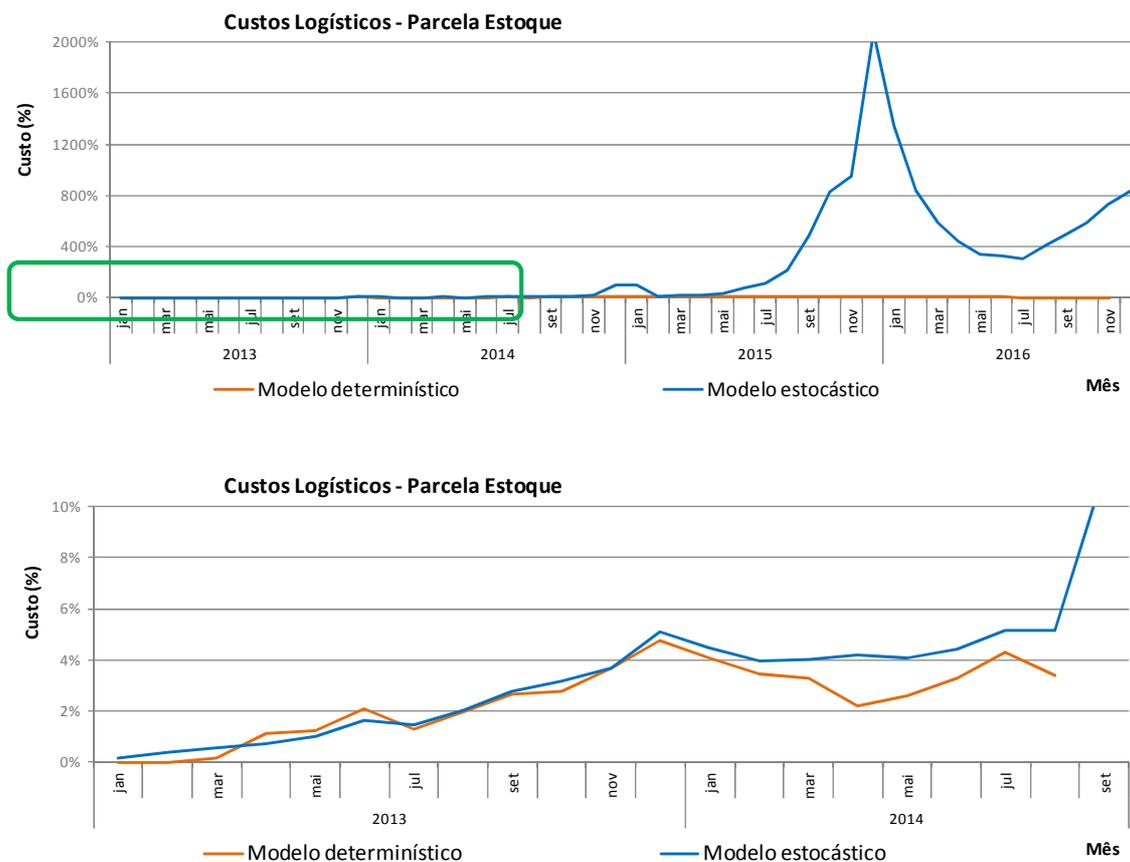


Figura 28 - Estoque resultante do modelo estocástico

É importante destacar que, apesar de toda a demanda ser atendida, em todos os cenários, o modelo indica a permanência de estoque nas bases ao final do período analisado. Isto se deve ao fato de que a variável de primeiro estágio é referente ao processo de compra, o que é feito com base em uma demanda que atenda a qualquer cenário. Com isto, para os cenários de demanda mais baixa, a quantidade comprada é maior que a demanda, mantendo dutos flexíveis e umbilicais em estoque. No cenário estocástico, há formação de estoque em ambas as bases, conforme pode ser observado na Figura 29.

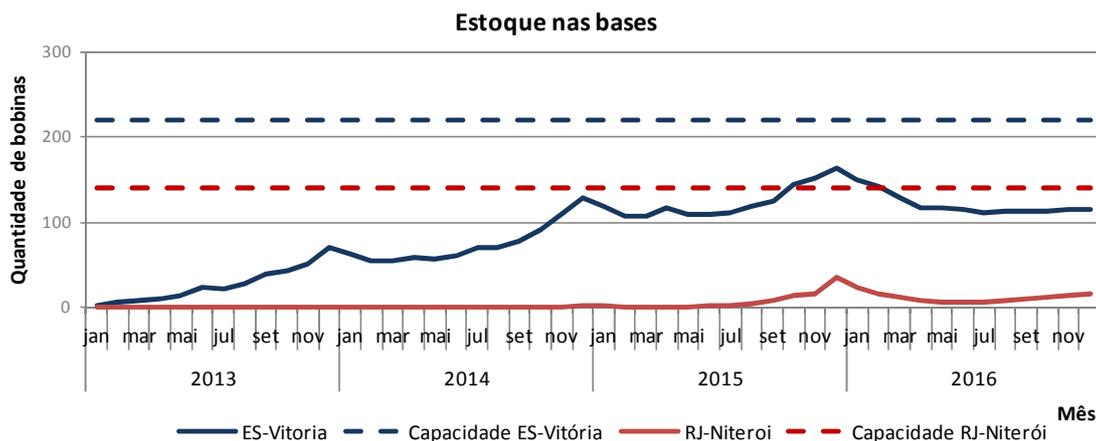


Figura 29 - Estoque nas bases - modelo estocástico

A inclusão dos parâmetros de troca e penalidade, possibilitou redução do estoque nas bases e no custo de transporte fábrica x base, já que se torna possível antecipar transportes e agrupar demanda.

Além das análises realizadas acima, ao se comparar os resultados entre os modelos estocástico e determinístico é importante calcular alguns indicadores, que permitem avaliar os ganhos pelo tratamento das incertezas.

- *Wait and See* – WS – Solução ótima considerando o resultado de cada cenário analisado, de forma independente, ou seja, há certeza sobre a realização de cada cenário. O valor é calculado através da média ponderada entre o resultado final obtido no modelo para cada cenário e a probabilidade do cenário ocorrer.

$$WS = 244.424$$

- *Expected Value of Perfect Information* – EVPI – Quantifica o valor da incerteza. É calculado subtraindo-se o resultado do *Wait and See*, calculado acima, do valor da solução estocástica.

$$EVPI = 21.153$$

- *Value of Stochastic Solution* – VSS – Mede o ganho na utilização do modelo estocástico. É calculado pela diferença entre o valor da solução estocástica e da média ponderada das soluções de cada cenário estocástico.

$$VSS = 4.018$$

Com base nos resultados acima, é possível afirmar que a utilização do modelo estocástico compensa. O ganho (VSS) calculado, apesar de representar 1,6% do valor relativo ao processo *Wait and See*, é muito representativo em termos absolutos.

5.4.2. Análise de capacidade das bases

A utilização do modelo estocástico permitiu também analisar as capacidades das bases. Este é um ponto importante de análise, haja vista que a decisão para contratação de uma nova base de carregamento, ou expansão das bases atualmente contratadas, deve ser feita com antecedência suficiente para assegurar a continuidade operacional.

Para realização desta análise, foram feitos alguns ajustes nos parâmetros inicialmente adotados. Primeiro, foram tratados os cenários de demanda projetada, demanda projetada menos intervalo de confiança de 5% e demanda projetada menos intervalo de confiança de 10%. Com isto foi possível garantir uma diferença maior entre cada nível de demanda. Segundo, as capacidades das bases foram definidas como ilimitadas, de forma que o modelo não restringisse a utilização. Por último, o custo do estoque da base RJ-Niterói foi alterado para um valor simbólico, semelhante ao da base ES-Vitória, permitindo a equalização do critério para manutenção do estoque nas bases.

O resultado deste experimento pode ser observado na Figura 30, quando ao final de 2014 e início de 2015, as capacidades das bases são atingidas.

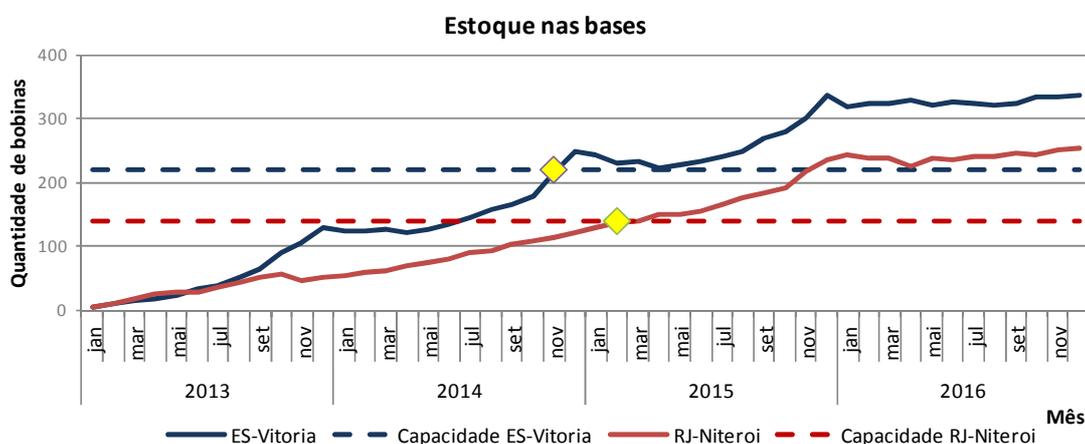


Figura 30 - Estoque x capacidade das bases

É importante destacar que esta é uma observação feita com base nos dados utilizados neste trabalho. Porém é uma análise que pode ser feita através da utilização do modelo, considerando a demanda real.