



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

LOGÍSTICA DO ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO DE PLATAFORMAS OFFSHORE VIA TRANSPORTE NAVAL

por

PAULO ALIBERTO BARROS PUCU

Dissertação a ser apresentada à Universidade Federal de Alagoas para
obtenção do grau de mestre em engenharia química

Maceió-AL – Fevereiro, 2011.

LOGÍSTICA DO ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO DE PLATAFORMAS OFFSHORE VIA TRANSPORTE NAVAL

PAULO ALIBERTO BARROS PUCU

DISSERTAÇÃO A SER APRESENTADA AO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA COMO
PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MODELAGEM, SIMULAÇÃO, OTIMIZAÇÃO E
CONTROLE DE PROCESSOS.

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOÃO INÁCIO SOLETTI

CO-ORIENTADORA: PROF^A: Dr^a SANDRA HELENA VIEIRA DE CARVALHO

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- P9771 Pucu, Paulo Aliberto Barros.
Logística do escoamento da produção de petróleo de plataformas offshore via transporte naval / Paulo Aliberto Barros Pucu. – 2011.
49 f. : il., tabs., graf.
- Orientador: João Inácio Soletti.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.
- Bibliografia: f. 42-45.
Anexos: f. 46-49.
1. Petróleo – Produção. 2. Petróleo – Escoamento. 3. Transporte marítimo.
4. Otimização combinatória. 5. Programação linear. 6. Engenharia de produção.
I. Título.

CDU: 658.5-032.32

Paulo Aliberto Barros Pucu

**LOGÍSTICA DO ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO DE
PLATAFORMAS OFFSHORE VIA TRANSPORTE NAVAL**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Alagoas, como requisito para a
obtenção do Título de Mestre em Engenharia
Química

Aprovada em: Maceió, 25 de Fevereiro de 2011.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. João Inácio Soletti
(PPGEQ/UFAL – Orientador)



Prof.ª Dr.ª Sandra Helena Vieira de Carvalho
(PPGEQ/UFAL – Co-orientadora)



Prof. Dr. Wagner Roberto de Oliveira Pimentel
(PPGEQ/UFAL)



Prof. Dr. Antonio Carlos Brandão de Araújo
(UFCG - Membro Externo)

MACEIÓ – AL
2011

Dedico este trabalho a todos que me auxiliaram nessa etapa, entre amigos, professores e em especial a minha família e minha noiva que sempre me auxiliaram de várias formas para esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Senhor Jesus Cristo por proporcionar minha existência e sua misericórdia para me auxiliar na minha jornada;

Aos meus pais por te me educado e me apoiado na minha empreitada;

A minha noiva por sempre me apoiar e me auxiliar, mostrando sempre maturidade, carinho, respeito e amor comigo e com minhas decisões;

Aos meus irmãos por estarem sempre ao meu lado;

Ao professor João Inácio que demonstrou maturidade e serenidade na sua orientação;

A professora Sandra por auxiliar no projeto de pesquisa como Co-orientadora;

As instituições que auxiliaram financeiramente ou através de dados técnicos dando continuidade a pesquisa;

A todos profissionais que contribuíram direta ou indiretamente com esse projeto.

“aqueles que sabem tudo, mas desconhecem a si próprios são absolutamente carentes”

Jesus Cristo

RESUMO

Atualmente, o Brasil possui 113 plataformas de petróleo, sendo 79 fixas e 34 flutuantes, com capacidade de produção de 2,1 milhões de barris diários de petróleo. Diante desta produção torna-se necessária uma estratégia eficiente para a distribuição deste petróleo para as refinarias, onde será processado e refinado. O petróleo proveniente das plataformas é transportado para as refinarias, através de navios ou dutos, sendo que grande parte do custo operacional de produção é devido ao seu transporte. Por este motivo a minimização do custo de transporte é extremamente importante. Este trabalho tem por objetivo, utilizando a técnica de programação matemática (programação linear inteira mista – PLIM), reduzir os custos decorrentes do sistema de transporte. O modelo consiste em uma frota heterogênea de navios, os quais apresentam compartimentos que só podem ser ocupados por um único tipo de produto, em cada viagem. Inicialmente são geradas todas as possíveis rotas e, posteriormente, selecionados os navios, associados às respectivas rotas, de forma a atender a demanda das refinarias e a necessidade de retirada de petróleo dos tanques de armazenamento das plataformas. Para a implementação do modelo foi utilizado o software GAMS (General Algebraic Modeling System), juntamente com o método de otimização CPLEX. Os resultados obtidos foram satisfatórios.

Palavras chaves: *otimização combinatória, programação linear inteira mista, transporte marítimo e engenharia de produção, offshore,*

ABSTRACT

Currently, Brazil has 113 petroleum platforms, been 79 fixed and 34 floating, with daily production capacity of 2,1 million barrels of oil. Given this production is necessary a strategy for the efficient distribution of oil to refineries, where it will be processed and refined. Oil from the platforms is transported to refineries through pipelines or ships, with much of the operational cost of production is due to transport. For this reason the minimization of the cost of transport is extremely important. This work has for objective, using the technique of mathematical programming (linear mixed integer programming - LMIP), reduce costs arising from transport system. The model consists of a heterogeneous fleet of ships, which have compartments that can only be occupied by a single type of product on each trip. Initially are generated all possible routes and then selected the vessels, associated with their routes in order to attend the demand of refineries and the need for removal of oil in the storage tanks of the platforms. For the implementation of the model was used the software GAMS (General Algebraic Modeling System), together with the method of CPLEX optimization. The results were satisfactory.

Keywords: *combinatorial optimization, mixed integer linear programming, sea transport and production engineering, offshore,*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Média do número de navios e da tonelage por década	19
Figura 2 - Fluxos Logísticos na Indústria do Petróleo	21

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Função objetivo	28
EQUAÇÃO 2 - Atendimento da demanda de petróleo	28
EQUAÇÃO 3 - Tempo máximo de operação de cada navio	28
EQUAÇÃO 4 - Cada compartimento seja ocupado por um tipo de óleo	28
EQUAÇÃO 5 - A quantidade levada não ultrapasse a capacidade do navio	28
EQUAÇÃO 6 - O volume transportado em cada compartimento seja menor que a capacidade do mesmo	29
EQUAÇÃO 7 - Restrição para o comprimento do navio	29
EQUAÇÃO 8 - Restrição para o calado do navio	29
EQUAÇÃO 9 - Restrição para a quantidade de óleo que deve ser transportado	29
EQUAÇÃO 10 – Quantidade máxima que cada plataforma pode estocar o petróleo extraído em cada plataforma	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Características dos navios, exemplo 1	31
TABELA 2 - Características dos navios, exemplo 2	31
TABELA 3 - Geração das rotas, exemplo 1	32
TABELA 4 - Geração das rotas, exemplo 2	33
TABELA 5 - Custo associado aos navios, exemplo 1	33
TABELA 6 - Custo associado aos navios, exemplo 2	34
TABELA 7 - Quantidade média de óleo produzido nas plataformas no exemplo 1	34
TABELA 8 - Quantidade média de óleo produzido nas plataformas no exemplo 2	35
TABELA 9 - Capacidade máxima de processamento das refinarias (m ³) no exemplo 1	35
TABELA 10 - Capacidade máxima de processamento das refinarias (m ³) no exemplo 2	35
TABELA 11 - Rotas utilizadas, no exemplo 1	36
TABELA 12 - Rotas utilizadas, no exemplo 2	37
TABELA 13 - Tempo necessário de escoamento dos óleos produzidos nas plataformas no exemplo 1	37
TABELA 14 - Tempo necessário de escoamento dos óleos produzidos nas plataformas no exemplo 1	38
TABELA 15 - Volume de óleo transportado pelos navios, no exemplo 1	39
TABELA 16 - Volume de óleo transportado pelos navios, no exemplo 2	39
TABELA 17 - Volume de óleo armazenado pelas plataformas, exemplo 1	40
TABELA 18 - Volume de óleo armazenado pelas plataformas, exemplo 1	40
TABELA 19 – Dado de saída dos dois problemas apresentado	40
TABELA A1 - Características dos navios da FRONAP	46

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 2 - OBJETIVO	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivo Especifico	15
CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
CAPÍTULO 4 - MODELO MATEMÁTICO	25
4.1 Índices	25
4.2 Conjuntos	26
4.3 Parâmetros	26
4.4 Variáveis	27
4.5 Equações	27
4.5.1 Função Objetivo	27
4.5.2 Restrições	28
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS	31
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXO 1	46

1 INTRODUÇÃO

À medida que a economia mundial vai se tornando mais globalizada, o aumento dos serviços de transporte de produtos passa a representar uma grande parcela nos custos das empresas, tornando-se imprescindível a existência de uma logística de transporte. Diante dessa mudança na economia mundial, percebe-se a importância da logística como a ciência que adapta os meios disponíveis e, as formas estratégicas para o alcance dos propósitos das organizações comerciais, conforme define a Associação Brasileira de Logística (ASLOG) como “o conjunto de atividades que tem por objetivo a colocação, ao menor custo, de uma quantidade de produto, em um lugar e no tempo onde uma demanda existe”. Nesse processo de distribuição de mercadorias, o transporte é fator relevante, pois o frete pode absorver até dois terços dos custos logísticos, conforme BALLOU (1993), quando não existe um bom sistema de transporte, o mercado é reduzido, e fica limitado às cercanias dos locais de produção.

No Brasil, devido à abertura de mercado com a globalização e o estímulo na comercialização de derivados de petróleo, provocou redução do número de funcionários, devido a não adequada automação dos processos, conforme demonstra o período crítico e vulnerável, pelo qual as indústrias de processos petroquímicos (IPQ) estão submetidas (FERREIRA, 2002), (CARRION, 1999). Por isso, a distribuição destes produtos de forma eficiente, com menor perda e atraso se tornam necessária, nesse cenário de aumento gradativo do comércio exterior, a logística passa a ter um papel acentuadamente importante, pois comércio e a indústria consideram no mercado mundial, como os seus fornecedores e clientes. Assim, considerando a importância do transporte na comercialização de petróleo, este trabalho está direcionado para o transporte marítimo, pois este modal é o mais utilizado no comércio internacional. No Brasil corresponde por mais de 90% do transporte internacional Possibilidade de navegação interior através de rios e lagos, apresentando algumas vantagens tais como:

- Maior capacidade de carga;
- Carrega qualquer tipo de carga;
- Menor custo de transporte.

E como desvantagem:

- Necessidade de transbordo nos portos;
- Distância dos centros de produção;

- Maior exigência de embalagens;
- Menor flexibilidade nos serviços aliados a freqüentes congestionamentos nos Portos.

No Brasil, com grande extensão territorial, com seus principais parceiros comerciais distantes geograficamente, o transporte marítimo tem um papel preponderante para o seu desempenho comercial, onde mais de 80% de suas exportações ocorrem através dos portos. Atento a esta importante questão, o governo brasileiro iniciou em 1993 um programa de reestruturação de seus portos, através da Lei de Modernização dos Portos (8630/93), esta lei motivou a ocorrência de diversas iniciativas nos portos brasileiros, (SORDI,2005)

A logística torna-se fundamental no caso de escoamento de petróleo. Devido à demanda do petróleo e de seus derivados ter um crescimento muito intenso nos últimos anos, fazendo com que o mercado se torne cada vez mais competitivo assim as empresas buscam estratégias de organizar suas atividades, procurando um melhor resultado econômico. Com redução de custo através da operação de transporte, aliás um atraso neste setor pode representar vários danos como, perda de tempo e falta de recursos, e por outro lado, entrega antecipada implica um excesso de inventário, por isso é tão importante o planejamento para este setor, pois está agregado uma grande parcela de custo na comercialização das empresas

No transporte brasileiro sempre houve uma predominância do modal rodoviário, tal fato é explicado porque o governo, durante algumas décadas, investiu na construção de estradas e incentivava o desenvolvimento do transporte rodoviário. Com isso, o modal rodoviário representa hoje mais de 60% da movimentação de cargas, no entanto, no caso de transporte de petróleo, tem-se que buscar alternativa diferente, o transporte marítimo é uma solução econômica para viagens de grande distancia principalmente para o caso de produção *off shore* de petróleo, neste contexto a utilização de um modelo matemático para otimização de transporte via transporte marítimo exerce uma grande importância na redução de custo das empresas petrolíferas.

Para este trabalho foi desenvolvido um modelo matemático, objetivando a distribuição de petróleo produzida em plataformas, baseado nos seguintes parâmetros, relativos à produção de petróleo nas plataformas, na capacidade de processamento das refinarias e, nas características da frota. A programação dos navios e a escolha de rotas, foi baseada no custo mínimo de transporte, identificando-se os navios, associados ao transporte dos diferentes tipos de óleo, classificados em função da sua densidade API, o qual irá determinar se podem, ou não, ser misturados a outros óleos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como finalidade usar a técnica de programação linear inteira mista (PLIM), para reduzir os custos decorrentes do sistema de transporte de petróleo bruto, através do estudo das frotas dos navios no transporte de distribuição de petróleo das refinarias até os portos receptores.

2.2 Objetivo específico

O objetivo específico do trabalho é identificar o melhor conjunto de rotas associada a cada navio, de tal forma que venha minimizar o custo do transporte, levando em consideração alguns parâmetros específicos, como:

- Velocidade de cada navio;
- Vazão de bombeamento de cada navio;
- Volume total de cada navio;
- Dimensões externas para cada navio (calado, comprimento).
- Características portuárias

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A depender do conjunto que integra as atividades que compõem a cadeia logística de uma indústria, o planejamento pode se tornar extremamente complexo. Normalmente realizado num nível agregado, utiliza-se modelos de pesquisa operacional, a fim de se encontrar soluções otimizadas para o empreendimento. Entretanto, quando este planejamento integrado é repassado as partes que constituem a empresa, ele gera incertezas sobre a solução a ser adotada, já que novas restrições, que inviabilizem a adoção da solução integrada pelas partes, podem surgir.

Para Christopher (1997), a logística é definida como o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatas), através de organização e de seus canais de marketing, de modo a poder maximizar a lucratividade presente e futura, através do atendimento dos pedidos a baixo custo.

Estudo realizado por Doring (1998) propõe um pensamento bastante direto sobre a problemática do transporte, considerando que o problema logístico, é proporcionar os meios ou os recursos de toda a natureza necessários à aplicação do poder da empresa, em operações comerciais específicas, ou nas de caráter contínuo, enfim, nas operações de negócios.

O planejamento operacional de organizações produtivas deve determinar onde, como, quanto e quando produzir. Ele considera que, com a capacidade de produção limitada e geograficamente dispersa (como é o caso da indústria do petróleo), fornecer mercadorias certas no instante e local necessários para a manufatura é crítico, e portanto, a programação do fluxo de materiais é uma das principais decisões neste nível de planejamento. (BALLOU, 1995).

Hartmann (1999), quando descreve os diferentes níveis de planejamento, faz questão de separar o planejamento operacional das operações, da programação destas operações, diferenciando estes níveis de planejamento, em função dos seus objetivos e das questões que cada um pretende.

Klingman (1989) preocupou-se com a integração entre as diversas atividades da indústria e seus diferentes níveis de planejamento (do estratégico até a programação das atividades) e enfatizam que essa integração precisa estar refletida nos diversos sistemas e modelos utilizados nessas instâncias, situando o planejamento operacional e a PL dentro de um ciclo que vai do planejamento estratégico da companhia até a análise dos resultados obtidos.

A logística de transporte marítimo está diretamente relacionada com o problema de escoamento de petróleo. A literatura apresenta poucos estudos sobre logística de transporte marítimo e especificamente sobre o escoamento de petróleo

Constata-se uma tendência de crescimento deste modal (RIBEIRO, 2000), principalmente na navegação de cabotagem devido à concentração da atividade econômica na região costeira. No entanto, segundo os mesmos autores, atualmente a constatação deste modal nas estatísticas refere-se ao transporte de petróleo e derivados ao longo da costa, representando cerca de 80% do total de cargas transportadas por este modal.

Um trabalho que aborda o problema de otimização de transporte marítimo, foi apresentado por MARIELLE e KJETIL (2002), onde o problema de transporte de navios por cabotagem foi modelado como um problema de programação linear inteira mista, com o objetivo de se estabelecer a melhor rota para cada navio em uma dada frota de navio. Neste artigo apresenta-se diferentes operações de transporte como: industrial, mercante, etc, onde apresenta, uma perspectiva futura de otimização para o problema de transporte, baseado em decisões de suporte para a programação de rota de navios.

Uma solução matemática para um problema da existência de uma capacidade superdimensionada no transporte marítimo com múltiplas origens e múltiplos destinos foi explorada por (PAPADAKIS e PERAKIS, 1989a). O modelo matemático proposto foi formulado via programação não-linear, sendo estabelecidas às condições de origem e destino, relacionadas a uma velocidade ótima.

Papadakis e Perakis (1989b), dando continuidade ao trabalho anterior apresentaram um modelo não linear multivariável, para otimização de uma frota de navios que operam, com diferentes velocidades, numa rota fixa entre dois portos. O dimensionamento da frota é baseado na velocidade, não considerando as janelas de tempo. A função objetivo visa minimizar a velocidade da embarcação sem prejuízo do atendimento.

Speranza e Ukovich, (1996), desenvolveram um modelo, de programação inteira, mista que foi utilizado para a minimização do custo de transporte e investimento, para o envio de diferentes tipos de produtos, via transporte naval, considerando uma origem e um destino. Mais tarde, o mesmo problema foi estudado, substituindo a programação inteira mista por algoritmos heurísticos considerando vários destinos.

Speranza. (1992). propõe para problema, de transporte por via navegação marítima, onde são transportado vários produtos em uma mesma rota, minimizando o custo total de operação. Neste modelo, o custo total de transporte, será proporcional ao número de viagens executadas, minimizando este custo para todos os produtos de todos os navios. Baseado nisso apresenta um modelo de programação linear inteira mista, no qual foram simuladas quatro situações diferentes, e em seguida avaliado os resultados de cada situação. Assim, conclui-se que, para cada caso vai mudar a frequência, na qual vai ser transportado os produtos em uma dada rota, portanto vai mudar também o custo total da operação para cada situação.

Faguerholt (2000), apresentou um modelo para o problema de roteamento de navios onde a função objetivo esta associada no aumento dos custos gerais do transporte e "scheduling". O autor divide a metodologia em duas partes, sendo inicialmente geradas as

rotas e, posteriormente, em uma segunda etapa, utilizadas como um dado de entrada no modelo.

Fagerholt (2001), considerou um problema real de *scheduling*, com uma frota heterogênea de navios para carga e descarga. Um conceito preliminar de janela de tempo *soft* foi introduzido, objetivando flexibilidade no cumprimento das janelas de tempo convencionais. Normalmente, para a resolução destes problemas é gerado um grande número de soluções candidatas. Nesse trabalho foram aplicadas regras heurísticas para reduzir o número de soluções possíveis, além de técnicas de particionamento. Através desse modelo, foi possível obter melhores “schedules” e reduções no custo de transporte.

Ono (2001). Em sua tese de mestrado apresentou um modelo para o problema de transporte de navios por cabotagem. Nesse trabalho foram avaliadas as condições para a viabilidade do transporte marítimo e apontados os principais entraves e reformas necessárias no setor portuário. A metodologia empregada foi dividida em duas etapas. A primeira consistiu na geração de todos os roteiros viáveis, juntamente com os parâmetros relativos a cada uma das rotas, para cada classe de embarcação, e a segunda etapa consistiu em um modelo de programação linear, minimizando o custo total da operação de cabotagem. Este modelo apresentou o dimensionamento da frota por classe de embarcação; a rota para cada embarcação da frota; e, a frequência de atendimento ou escala em cada porto.

Hoje os navios petroleiros têm capacidade para transportar mais de 500.000 ton INTERTANKO (2008), como é o caso dos chamados ULCC (Ultra-Large Crude Carrier).

No segundo semestre de 1973, as previsões demonstravam claramente um crescimento da frota de petroleiros reforçado pelas importações americanas. No entanto, ocorreu uma repentina inversão devido às previsões indicando queda no consumo de petróleo e à localização de novos produtores próximos aos países consumidores. A situação gradualmente gerou um excedente de petroleiros cujo pico ocorreu em 1978 com um total de 140.000.000t fora de serviço. Com a segunda crise do petróleo a situação melhorou um pouco, reduzindo para 120.000.000ton fora de serviço MASSERON (1990).

Embora houvesse um fortalecimento do crescimento da frota de navios de grande porte beneficiado pelo declínio da produção dos países não integrantes da OPEP e da volta do Oriente Médio como principal área de suprimento de petróleo, o uso de petroleiros de menor porte até foi sustentado por três fatores: primeiro, pelo aumento do comércio de produtos finais; segundo, pela nova capacidade de produção localizada em áreas mais próximas aos mercados consumidores; e pelo fato destes petroleiros serem capazes de ancorar em um grande número de portos convencionais, incrementando o potencial para atendimento da alta demanda dos países em desenvolvimento. A Figura 1 mostra o crescimento desde da década de 80 dos navios petroleiros.

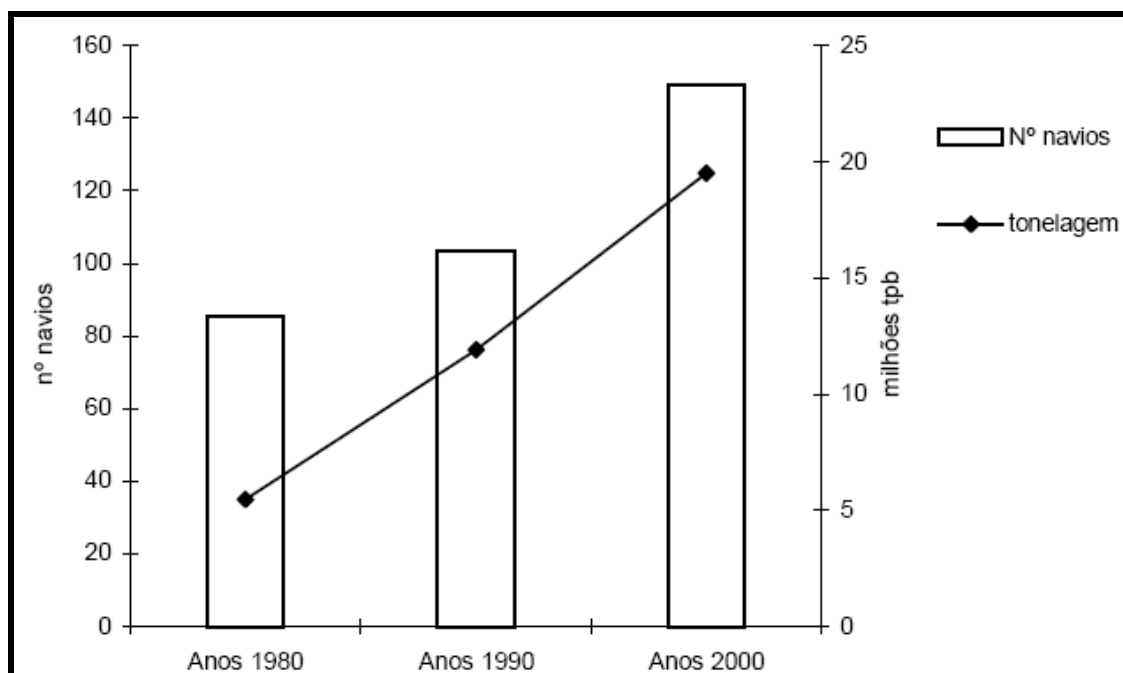


Figura 1. Média do número de navios e da tonelage por década.

Fonte: UNCTAD (2003)

No Brasil, em 25 de abril de 1950, pelo Decreto nº 28.050, foi criada a Frota Nacional de Petroleiros (FRONAP). Em 19 de junho do mesmo ano, a FRONAPE guarneceu o seu primeiro petroleiro de bandeira sueca rebatizado com o nome Presidente Dutra.

Em 3 de outubro de 1953, Getúlio Vargas, então presidente da República, assinou a Lei nº 2.004, criando a Petrobras. Seis meses após a promulgação do decreto, a FRONAPE foi desligada do Conselho Nacional de Petróleo, passando a constituir uma unidade da Petrobras (NEIVA, 1986).

Quando a Petrobras foi criada, a frota era formada por 22 navios, com o total de 224 mil toneladas. Três fatores decisivos levaram a Companhia a ampliar o número de petroleiros: aumento da produção do óleo bruto no Recôncavo Baiano e das refinarias nacionais; a necessidade de assegurar o transporte marítimo de petróleo adquirido no exterior; e a substancial economia de divisas que representa para um país uma frota especializada, liberando progressivamente o pagamento de fretes.

Em 1973, começou a navegar o primeiro grande petroleiro da FRONAPE, o VLCC (Very Large Crude oil Carrier) José Bonifácio. Posteriormente foram adquiridos outros seis: Vidal Negreiros, Cairu, Henrique Dias, Felipe Camarão, José do Patrocínio e Barão de Mauá FRONAPE (2006).

Em atendimento a Lei nº 9.478 de 1997 surge a TRANSPETRO, subsidiária da Petrobrás, com a incumbência de operar e construir dutos, terminais marítimos e embarcações para transporte de óleo e gás natural Brasil Energia. A FRONAPE passou a ser a unidade de

transporte marítimo da TRANSPETRO. A transferência da frota de navios iniciou em 2001, sendo concluída em 2002 (Jornal da TRANSPETRO, 2009).

A FRONAPE é a maior transportadora de petróleo do hemisfério Sul e uma das maiores do mundo, TRANSPETRO (2007). A frota atual conta com 51 navios, conforme mostrado no Anexo 1.

O Programa de Modernização e Expansão da Frota (PROMEF) revitalizou a indústria naval brasileira. Lançado em 2004, o PROMEF faz parte do Plano de Aceleração de Crescimento (PAC) do Governo Federal. O PROMEF prevê a construção de 49 navios, num total de 4 milhões de toneladas de porte bruto. Já foram contratadas 33 embarcações, sendo que seis delas já foram lançadas ao mar no ano de 2010.

O problema de transporte de petróleo é pouco explorado na literatura, onde não foi encontrado especificamente, nenhum trabalho que retrate um modelo matemático, para distribuição de petróleo das plataformas marítimas, com finalidade de reduzir o custo total da operação de transporte.

Claramente, a determinação das quantidades, qualidades e prazos de fornecimento de matéria primas, a programação das operações diárias das refinarias e da distribuição dos produtos fazem parte do processo de planejamento das operações logísticas, e conseqüentemente, a aquisição de matéria prima, o processamento nas refinarias, a distribuição e comercialização dos produtos estão diretamente relacionadas com este planejamento.

Determinados as matérias primas e os mercados das refinarias, estas detalham as cargas a serem processadas em cada uma das suas unidades. De posse dessas informações, o departamento logístico programa a transferência e a distribuição das matérias primas e produtos entre as refinarias e os mercados. A Figura 2 reproduz estes fluxos.

Segundo Oliveira (1993), o transporte de hidrocarbonetos no país vincula-se a três funções: o escoamento da produção dos campos de exploração para instalações de armazenamento e de processamento, a importação e exportação de petróleo bruto e derivados e a distribuição dos produtos processados. Para que tais objetivos sejam atendidos torna-se imprescindível a combinação de meios de transporte e instalações. Tem-se, então, a integração de dutos, terminais e navios petroleiros e, de forma complementar os transportes ferroviários e rodoviários.

Pucu(2009), apresentou na sua monografia um estudo de distribuição de graneis líquido, através de vários portos do cenário brasileiro, tendo vários destinos e varias origens, formalizando um modelo matemático, que pode-se minimizar o custo da operação de transporte e também atender as demandas de cada porto, mostrando uma excelente ferramenta para distribuição de graneis líquido através do transporte marítimo no cenário nacional.

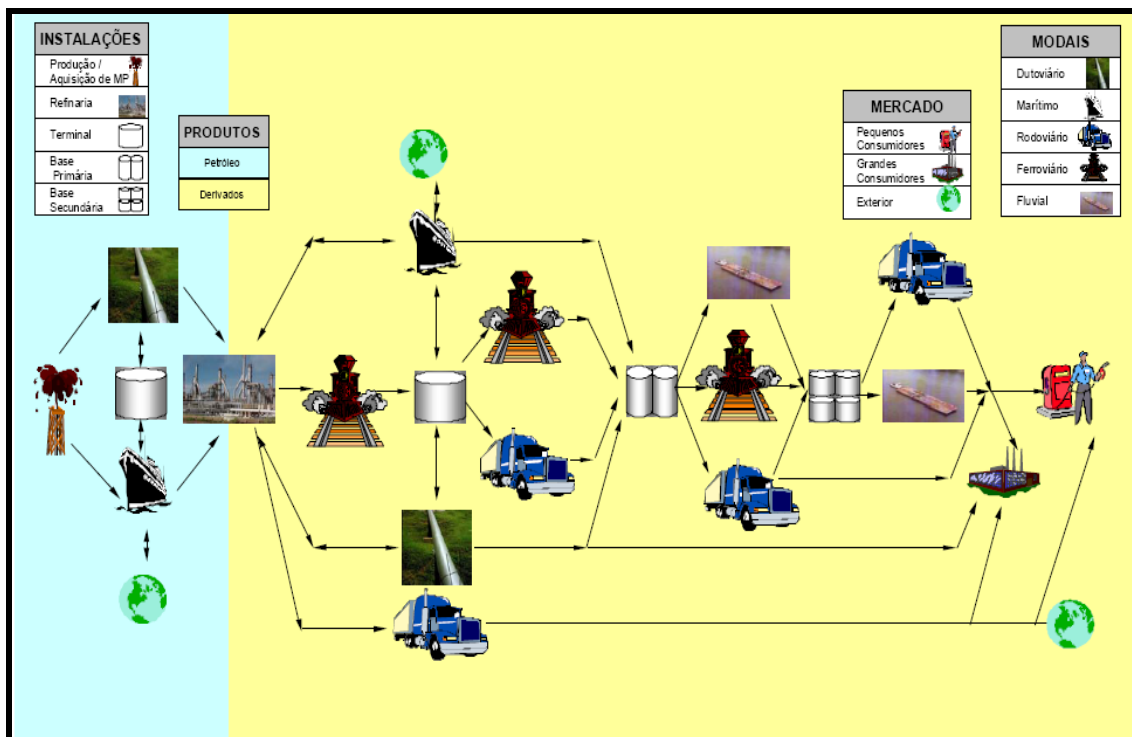


Figura 2. Fluxos Logísticos na Indústria do Petróleo, FONTE: bp.blogspot.com

Bodington (1995), apresenta estudos de casos com grandes companhias de petróleo que confeccionam seu planejamento operacional corporativo com o uso da PL e o planejamento operacional das refinarias com o uso da programação não linear, principalmente em função da modelagem da qualidade de produtos intermediários e finais.

Teixeira (1995), aplica a simulação determinística na modelagem de um plano de produção de refinaria e faz referência à sua flexibilidade e facilidade para obter aderência da modelagem à realidade. O objetivo do seu trabalho foi trabalhar a interface com o usuário. Ela comenta que, com a simulação, o usuário percebe melhor a influência que os dados e variáveis exercem uns nos outros e no resultado – “o enfoque do modelo de simulação é físico e não matemático (como no caso da PL), o que leva o usuário a ter uma visão mais clara do problema”. Ela não deixa de ressaltar que a solução obtida, neste caso, não é ótima.

Pucu, Soletti e Carvalho (2009) apresenta um trabalho de distribuição de petróleo de um conjunto de plataformas marítimas, através de uma frota de navios, tendo uma plataforma de destino, formalizando um modelo matemático, de programação linear inteira mista.

Segundo Muract (2008), foi apresentado um problema de Scheduling, para um escoamento de petróleo bruto das plataformas marítimas, onde é realizado scheduling de atendimento ao centro consumidor, definido-se e propondo uma metodologia, para resolução do problema apresentado.

Más (1998), apresentou um trabalho, baseado nos estudos de Shah (1996), para o problema de *scheduling* de óleo cru, objetivando a otimização de transporte refinaria/porto, utilizando um oleoduto. Resumidamente, o autor procura obter dados sobre o descarregamento

dos petroleiros, alocação dos crus nos tanques do porto e da refinaria, operação do oleoduto e unidades de destilação.

Até 1950, a distribuição de petróleo no Brasil era quase que integralmente feito por navios estrangeiros (NEIVA, 1986). Em 13 de março de 1949, entrou em vigor a Lei nº 650 que abriu crédito para compra de petroleiros totalizando 180.000 toneladas. Com a aquisição do navio Presidente Dutra (16.200 toneladas), tem-se a inserção do Brasil no transporte marítimo de óleo.

A PETROBRAS desenvolveu uma sistemática de transporte para atender às suas necessidades implementando sistemas de dutos, sistemas de armazenamento e a frota de navios para navegação de cabotagem e longo curso.

No ano 2004, a quantidade total de cargas transportadas por via aquaviária foi de 529.005.051 toneladas. No mesmo ano, a quantidade de granéis líquidos (163.135.324 toneladas) foi correspondente a 30,8% do total de cargas. Acompanhando os índices desde 1998 até o ano 2004, a representação dos granéis líquidos no total de cargas transportadas, gira em torno de 32,3%, ANTAQ (2008).

Uma considerável parte do percentual atribuído ao modal aquaviário deve-se ao escoamento da produção de petróleo da Bacia de Campos, que em 2004 foi de 438.292 mil barris (ANP, 2005) sendo cerca de 80% escoada pelos navios aliviadores (BRASIL ENERGIA, 2004).

Apesar da movimentação de petróleo e derivados nos portos ao longo da costa, a maior movimentação é registrada nos terminais que constituem o principal ponto de ligação dos navios com o continente, sendo os terminais aquaviários os que apresentam a maior capacidade de armazenamento e o maior número de tanques correspondendo a 65,9% e 71,3% do total, respectivamente.

O transporte marítimo de petróleo e derivados pode ser efetuado através da navegação, utilizando-se para tal, navios tanque conhecidos como petroleiros, ou através de dutos submarinos instalados no leito marinho. Em ambos os casos a ligação destes modais com a terra se dá através dos portos e terminais marítimos localizados nas áreas costeiras, estando nestes últimos concentrada a maior movimentação de petróleo e derivados.

Transporte de óleo é realizado por navios afretados que transportam cerca de 140 milhões de toneladas por ano. Alguns navios são contratados para realizar apenas uma viagem enquanto que outros são alugados, em geral por um ano, para realizar o número de viagens que o contratante desejar. Não há uma frota fixa de navios afretados e, além disso, estes navios não atuam em uma rota específica, embora alguns atuem em determinada região devido à característica da carga, (ALCOFORADO, 2003).

Silva(1996), em sua tese de doutorado apresenta uma visão geral sobre o transporte de petróleo e derivados, onde levam em conta os aspectos econômicos do transporte do petróleo no Brasil e no mundo, mostra a importância do transporte marítimo está ligado com o transporte ferroviário e rodoviário, Os riscos de acidentes juntamente com impactos ambientais

que podem ocorrer em um acidente de um petroleiro ou em dutos de transporte, também são analisado nos artigos.

Menezes(2000), apresenta um diagnóstico para a distribuição de combustíveis a partir do Terminal de Miramar, Belém-Pa-Br, considerando dados obtidos sobre o recebimento, estocagem e expedição destes. A partir do diagnóstico, foi proposta uma nova metodologia de trabalhar que objetive a maximização do lucro, em atendimento a situação diagnosticada. Introduzir um novo conceito de trabalho partindo de conhecimento prévio, onde a partir da aplicação de conhecimentos sobre gestão da logística, e suas evoluções para gestão de cadeias de abastecimento. Em um contexto de mundo globalizado, ou seja, levando em consideração as desregulamentações de setores da economia, no caso, o setor do petróleo, a informatização, os avanços nas telecomunicações e nas tecnologias em geral.

Outro problema da logística aplicada à plataforma marítima foi abordado por Simões(2002), onde analisa a implantação da Logística Reversa, em uma unidade de negócios de exploração e produção de petróleo, da Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS. Este trabalho estuda a logística de reservas aplicada às plataformas, tanto fixa como flutuante, dando ênfase a preservação ambiental e os riscos com a segurança.

Um modelo de otimização consta de uma função-objetivo a ser maximizada ou minimizada, sujeita a restrições que caracterizam o problema e que restringem os possíveis valores que as variáveis envolvidas podem assumir. Existem diversas técnicas de solução que são utilizadas segundo o tipo de problema com que se está trabalhando. Essas técnicas são a programação linear (PL), a programação linear inteira, a programação não linear, a programação dinâmica dentre outras.

Ao descrever essa complexidade, Hartmann (1997), associa os fluxos envolvidos na indústria do petróleo a uma teia cheia de nós, onde cada nó representa a necessidade de uma tomada de decisão frente a um grande número de possibilidades e recomenda a aplicação da PL.

Bodington (1995) e Eppen (1998), apresentam estudos de casos com grandes companhias de petróleo que confeccionam seu planejamento operacional corporativo com o uso da PL e o planejamento operacional das refinarias com o uso da programação não linear, principalmente em função da modelagem da qualidade de produtos intermediários e finais.

A Petrobrás, referendando a literatura e a prática nesse tipo de indústria, também utiliza a PL como ferramenta básica para seu planejamento operacional.

Para tal desenvolveu um programa, PLANAB com cerca de 5000 equações e 7000 variáveis, que representam as restrições consideradas relevantes relacionadas aos mercados de cada produto e de cada região, às capacidades de cada processo de cada refinaria e de cada terminal, às disponibilidades de matérias primas. A função-objetivo representa o custo global do abastecimento do país que deve ser minimizado. As informações necessárias para o planejamento operacional corporativo, fornecidas pelo modelo, são:

- Quantidades de matérias-primas e derivados a serem compradas por tipo;
- Custos de importação;
- Quantidades de derivados e petróleos a serem exportados por tipo;
- Receita de exportação;
- Utilização das unidades de processo (destilação, desasfaltação, craqueamento catalítico, coqueamento retardado, reforma catalítica, hidrotratamento catalítico) por refinaria;
- Distribuição das matérias primas entre as refinarias;
- Distribuição dos mercados de derivados entre as refinarias;
- Tabela com valores marginais de petróleos.

4. MODELO MATEMÁTICO

Com o objetivo de apresentarmos uma solução para o problema do transporte de graneis líquido originados de plataformas marítimas para as refinarias, foi desenvolvido um modelo matemático que possibilite equacionar e solucionar este problema.

O objetivo do problema é a redução dos custos de transportes associado às movimentações dos graneis líquidos (petróleo bruto) das plataformas. A depender de onde são extraído estes petróleos os mesmos não podem ser misturados o que implica que os compartimentos de petróleo deve ser preenchidos com um único tipo específico

Na geração do modelo faz-se necessário a introdução de uma serie de restrições associada à características dos navios, característica dos portos, dados de marés, capacidade de tanques, dentre outras.

O modelo matemático, desenvolvido neste trabalho, foi formulado como um problema de programação linear inteira mista sendo este implementado no *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*). Este *software* suporta vários algoritmos para resolução de problemas matemáticos, denominados *solvers*, os quais diferenciam-se de acordo com o tipo de modelagem a ser resolvida. Neste caso, o *solver* utilizado foi o CPLEX.

Para um melhor entendimento do modelo proposto inicialmente serão apresentado todos os índices, conjuntos, parâmetros e variáveis utilizadas, posteriormente serão apresentadas as restrições impostas ao modelo e a função objetivo utilizada.

4.1 Índices

- r Representa a rota composta pelas plataformas que foram selecionados para fazer parte de uma programação. O número de rotas pode variar de 1 a m , onde m dependerá do número de plataformas consideradas;
- n Representa um navio petroleiro integrante de uma frota. Cada navio está dividido em compartimentos, representados pelo índice c , cuja soma dos mesmos fornece a capacidade total do navio (m^3);
- c Representa um compartimento, que está associado a um navio n ;
- p Representa a plataforma ao qual será obstinada o petróleo bruto associada a uma produção;

- O Representa o tipo de óleo transportado pelo navio n no compartimento c ;
- e Representa a refinaria que processará o óleo produzido pelas plataformas.

4.2 Conjuntos

- E Refinarias de destino do produto;
- N Navios que compõem a frota;
- R Rotas viáveis;
- P Plataformas;
- C Compartimento de cada navio n ;
- O Tipo de óleo a ser transportado.

4.3 Parâmetros

- Q_{eo} Quantidade máxima processada pelas refinarias (m^3);
- Ext_{po} Quantidade média de petróleo extraída pelas plataformas (m^3);
- $Comp_{nc}$ Capacidade de cada compartimento (m^3);
- $Atrac_n$ Tempo médio do navio n para atracar em cada porto (dias);
- V_n Velocidade média de cada navio (milhas náuticas por hora);
- $Pcom_r$ Comprimento do píer de atracação da refinaria (m);
- Pc_e Profundidade do calado de cada refinaria (m);
- com_n Comprimento do navio (m);
- cal_n Calado do navio (m);
- Cap_n Capacidade de cada navio (m^3);

Ct_n	Parcela do custo da operação do navio n por unidade de tempo (em dias) de uso (unidade monetária);
Cd_n	Parcela do custo da operação do navio n por unidade de distância (nó) percorrida pelo navio (unidade monetária);
Ca_n	Parcela do custo de atracamento.(unidade monetária);
Vaz_n	Vazão do navio n (m^3 /hora);
$Temp1_{enr}$	Tempo que o navio n gasta para percorrer a rota r relacionado a distância (dias);
$Temp2_{enr}$	Tempo que o navio permanece atracado na plataforma (dias);
$Temp3_{enr}$	Tempo que o navio permanece atracado nas refinarias (dias);
h	Horizonte de tempo (tempo máximo para o navio n completa sua rota) (dias);
A_{er}	Identificação das refinarias em cada rota r (os portos que vai ser escolhido por cada rota);
W_{en}	Número máximo de viagens do navio n na rota r .

4.4 Variáveis

Z_{enr}	Variável binária (1 se o navio n está indo para refinaria e , presente na rota r e 0 caso contrário);
X_{enrco}	Variável binária (1 se o óleo o esta sendo transportado pelo navio n na rota r pelo compartimento c e 0 caso contrario);
M_{enrpo}	Volume (m^3) de óleo o transportado para refinaria e pelo navio n na rota r .
EST_{po}	Quantidade (m^3) do óleo o estocado na plataforma p .

4.5 Equações

4.5.1 Função Objetivo

A função objetivo, a ser minimizada, Eq. (1) que representa o custo mínimo necessário para que as demandas sejam satisfeitas, levando em consideração os custos por: distância, tempo total de viagem e tempo de atracação.

$$Obj = z_{ren} * \left(\sum_n ct_n \sum_s \sum_r temp1_{enr} + \sum_n cd_n \sum_s \sum_r a_{er} + ca_n * (temp2_{enr} + temp3_{enr}) \right) \quad (1)$$

4.5.2 Restrições

Deve ser atendida a necessidade de escoamento da produção de óleo da plataforma, de forma a garantir a produção contínua, função da vazão de produção média e do volume de óleo transportado, Eq. (2).

$$\sum_r \sum_n \sum_s w_{rn} * m_{enrpo} \leq ext_{po} \quad \forall p \in P, o \in O \quad (2)$$

O somatório das parcelas dos tempos, de cada rota escolhida r , deve ser menor ou igual ao horizonte de tempo h , Eq. (3).

$$\sum_r \sum_s z_{ren} * (temp1_{enr} + temp2_{enr} + temp3_{enr}) \leq h \quad \forall n \in N \quad (3)$$

Os navios estão divididos em compartimentos e em cada viagem cada um deles será ocupado por apenas um tipo de produto p , Eq. (4).

$$\sum_c \sum_o x_{enrco} \leq z_{ren} \quad \forall e \in E, n \in N, r \in R \quad (4)$$

O volume transportado por cada navio deve ser menor ou igual a capacidade do navio, Eq. (5).

$$cap_n * z_{enr} \geq \sum_p \sum_o m_{enrpo} \quad \forall re \in Re, n \in N, r \in R \quad (5)$$

O volume dos produtos transportados, pelo navio, para as refinarias pertencentes à rota, deve ser menor ou igual à capacidade dos compartimentos, nos quais estes produtos foram alocados, Eq. (6).

$$\sum_n \sum_c comp_{nc} * x_{enrco} \geq \sum_p m_{enrpo} \quad \forall re \in Re, r \in R, o \in O \quad (6)$$

Para que um navio atraque deve-se levar em consideração a profundidade e o comprimento do berço de atracação. A Equação (7) refere-se ao comprimento do navio, ou seja, o navio poderá atracar no porto se o seu comprimento for menor ou igual ao comprimento do berço de atracação.

$$z_{enr} * com_n \leq Pc_e \quad \forall e \in E, r \in R, n \in N \quad (7)$$

A Equação (8) irá determinar que, o navio atracará no porto se o calado do navio for menor ou igual à profundidade do berço de atracação.

$$z_{enr} * cal_n \leq Pc_e \quad \forall e \in E, r \in R, n \in N \quad (8)$$

Para cada refinaria, o volume transportado deve ser menor ou igual ao volume máximo de óleo processado, Eq. (9).

$$\sum_p \sum_n \sum_r w_{rn} * m_{enrpo} \leq q_{reo} \quad \forall e \in E, o \in O \quad (9)$$

Equação (10). Calcula a quantidade de óleo que cada plataforma vai estocar através do óleo transportado para a refinaria Re menos a quantidade máxima que essa refinaria pode processar.

$$\sum_p \sum_n \sum_r m_{enrpo} - \sum_e q_{eo} \leq est_{po} \quad \forall p \in P, o \in O \quad (10)$$

Este equacionamento permite ao usuário variar algumas condições, como quantidade de plataforma e, conseqüentemente o número de rotas, velocidade, capacidade, comprimento, calado e custos de operação das embarcações, demandas de cargas. Enfim, todos os dados de entrada são parâmetros e podem ser modificados, testados e avaliados pelo usuário

5. RESULTADOS

O modelo apresentado pelas equações de 1 a 10 permite identificar que navio irá transportar um determinado óleo associado a plataforma em que rota, e para qual refinaria. Foi implementado no “software” GAMS, BROOKE (1998), e aplicado a vários estudos de casos. Senão apresentados nos dois estudo de caso para uma frota heterogênea de navios de capacidades distintas, Tabelas 1 e 2. Cada navio possui uma velocidade e é composto de n compartimentos, sendo que em cada um, só será permitido o transporte de um determinado tipo de óleo, onde irá variar de acordo com seu grau °API. A depender do °API este pode ser misturado com outros óleos que tenham características semelhantes. Para cada plataforma o tempo para atracar, esvaziar os tanques e desatracar são pré-determinados, considerando-se também que, ao término da viagem o navio se encaminha a refinaria de destino final.

Tabela 1. Características dos navios no exemplo 1

Navios	Nº de Compartimentos	Capacidade (m ³)	Vazão (m ³ /h)	Comprimento (m)	Vel(nó)	Calado (m)
Carioca	9	33.000	1200	156	13	8
Rebocas	10	37.000	1150	161	14	9
Rodeios	10	34.000	1150	159	14	9

Tabela 2. Características dos navios no exemplo 2

Navios	Nº de Compartimentos	Capacidade (m ³)	Vazão (m ³ /h)	Comprimento (m)	Vel(nó)	Calado (m)
Carioca	9	33.000	1200	156	13	8
Rebouças	9	34.000	1150	161	14	9
Rodeios	10	37.000	1150	174	14	9
Londrina	10	37.000	1200	180	13,5	9

A partir do número de plataformas e refinarias, pré-determinada, foram geradas todas as rotas possíveis, obtendo-se, um total de 189 rotas, Tabelas 3 e 4. Nestas tabelas, a primeira coluna identifica a refinaria para o processamento do óleo, neste caso as refinarias de Duque de Caxias, Henrique Lajes e Paulina. A coluna plataformas contem as cinco e seis plataformas marítima utilizadas para os exemplos 1 e 2 respectivamente. Neste caso, o número “1” simboliza que o navio poderá atracar ou não, atracar naquela plataforma. A última coluna desta tabela apresenta o número de rotas possíveis, para descarga de óleo, associado a cada plataforma, chegando em um total de 124 rotas e 189 rotas respectivamente.

Tabela 3. Geração das rotas, exemplo 1

Refinaria	Plataformas						
	R	P1	P2	P3	P4		P5
1	x	x	x	x	x	1	$2*2^4 = 32$
1	x	x	x		1		$2*2^3 = 16$
1	x	x	1				$2*2^2 = 8$
1	x	1					$2*2^1 = 4$
1	1						$2*2^0 = 2$
2	x	x	x	x	x	1	$2*2^4 = 32$
2	x	x	x		1		$2*2^3 = 16$
2	x	x	1				$2*2^2 = 8$
2	x	1					$2*2^1 = 4$
2	1						$2*2^0 = 2$
							124

Para cada navio é associado um custo relativo à distância, tempo de percurso e custo de atracagem. A distância é colocada em milhas náuticas percorridas, e o custo do tempo é associada ao tempo de percurso que o navio faz na rota. O custo de atracagem esta associada ao tempo que o navio permanece parado quando está carregando o descarregando as Tabelas 5 e 6.

Tabela 4. Geração das rotas, exemplo 2

Refinaria	Plataformas						
	R	P1	P2	P3	P4	P5	
1	x	x	x	x	x	1	$2^5 = 32$
1	x	x	x	x	1		$2^4 = 16$
1	x	x	x	1			$2^3 = 8$
1	x	x	1				$2^2 = 4$
1	x	1					$2^1 = 2$
1	1						$2^0 = 1$
2	x	x	x	x	x	1	$2^5 = 32$
2	x	x	x	x	1		$2^4 = 16$
2	x	x	x	1			$2^3 = 8$
2	x	x	1				$2^2 = 4$
2	x	1					$2^1 = 2$
2	1						$2^0 = 1$
3	x	x	x	x	x	1	$2^5 = 32$
3	x	x	x	x	1		$2^4 = 16$
3	x	x	x	1			$2^3 = 8$
3	x	x	1				$2^2 = 4$
3	x	1					$2^1 = 2$
3	1						$2^0 = 1$
							189

Tabela 5. Custo associado aos navios, no exemplo 1

Navios	Custo / Atracar (\$ / dia)	Custo por unidade de distância (\$ / milha náutica)	Custo por dia (\$ / dia)
Carioca	5500,00	13,00	6000,00
Rebocas	6000,00	13,00	8000,00
Rodeios	5800,00	13,50	7500,00

Tabela 6. Custo associado aos navios, no exemplo 2

Navios	Custo / Atracar (\$ / dia)	Custo por unidade de distância (\$ / milha náutica)	Custo por dia (\$ / dia)
Carioca	5500,00	13,00	6000,00
Rebouças	6000,00	13,00	8000,00
Rodeios	5800,00	13,50	7500,00
Londrina	5800,00	13,50	8100,00

Para que o navio possa atracar em um porto é necessário que, a profundidade deve ser maior que o calado e o berço de atracação devem ser maior que seu comprimento. Nesse estudo de caso os navios atende essas restrições para ambas as refinarias. Nas plataformas não existe esse problema, pois encontram-se em águas profundas.

O tipo de óleo a ser transportado, como já foi mencionado, vai de acordo com seu grau °API. As Tabelas 7 e 8 relaciona as plataformas que pode haver mistura dos óleos e as que deve ser transportado individualmente, junto com essa relação se obtêm a quantidade media extraída de cada plataforma

Tabela 7. Quantidade média de óleo produzido nas plataformas no Exemplo 1

Plataformas	Produtos extraídos	
	Óleo Puro (m³)	Óleo Misturado (m³)
01	55.000	0
02	0	40.000
03	0	48.000
04	40.000	0
05	0	45.000

Tabela 8. Quantidade média de óleo produzido nas plataformas no Exemplo 2

Plataformas	Produtos extraídos	
	Óleo Puro (m ³)	Óleo Misturado (m ³)
01	35.000	0
02	0	20.000
03	0	28.000
04	30.000	0
05	0	25.000
06	0	20.000

Para as refinarias temos que cada uma terá uma capacidade máxima processada de acordo com as Tabelas 9 e 10.

Tabela 9. Capacidade máxima de processamento das refinarias (m³), exemplo 1

Refinarias	Produtos processados	
	Óleo Puro (m ³)	Óleo Misturado (m ³)
Duque de Caxias	9.000	10.000
Henrique Lajes	8.500	8.000

Tabela 10. Capacidade máxima de processamento das refinarias (m³), exemplo 2

Refinarias	Produtos processados	
	Óleo Puro (m ³)	Óleo Misturado (m ³)
Duque de Caxias	19.000	20.000
Henrique Lajes	21.000	19.000
Paulina	12.000	33.000

A partir dos dados de entrada, foi implementado, na linguagem GAMS, utilizando o método CPLEX 10.0. Este modelo matemático como descrito pelas EQ. 1 à EQ. 10, com os dados de entrada apresentado nas tabelas de 1 a 10, nos dois exemplos estudados, apresentaram uma série de resultados que serão apresentados nas próximas tabelas de 11 a 19, sendo estes resultados as soluções encontradas que minimizem os custos totais de transporte.

Das 124 rotas geradas o modelo identifica 8 rotas de acordo com é apresentado na Tabela 11, para o primeiro exemplo e das 189 rotas geradas no segundo exemplo, o modelo identifica nove rotas, tabela 12. Rotas selecionadas, apresentaram os menores custos levando em consideração o somatório das parcelas associada ao custo da distância, tempo e atraco como descrita pela EQ. 1, e satisfazendo as restrições de 2 a 10. As Tabelas 11 e 12, mostra em sua primeira coluna qual navio o modelo selecionou para transportar um determinado óleo na rota apresentada. As colunas 2 e 3 mostram as refinarias de origem e destino, a quarta mostra o número de vezes que o navio percorre a rota, na quinta temos a distância percorrida, em mn (milhas náuticas), entre o porto de origem (refinaria) e a plataforma mais distante pertencente à rota mais a distância do retorno para a refinaria. Além disso, considera-se que os navios saem do porto de origem, são carregados na plataforma, seguem a rota alocada, e finalizando em um porto (refinaria) que pode ou não ser o porto de origem.

Tabela 11. Rotas utilizadas

Navio	Refinaria (origem)	Refinaria (destino)	Nº de vezes	Rotas	Distância (Mn)	Plataformas					
Carioca	H. Lajes	H. Lajes	2	Rota 02	900	1	0	0	0	0	0
Carioca	H. Lajes	H. Lajes	1	Rota 04	700	0	1	0	0	0	0
Rodeio	D. Caxias	D. Caxias	2	Rota 23	2225	0	0	1	1	0	
Rebocas	D. Caxias	D. Caxias	1	Rota 31	2000	0	0	0	0	0	1
Rebocas	H. Lajes	D.Caxias	1	Rota 106	1750	0	1	1	0	0	1

Tabela 12. Rotas utilizadas

Navio	Refinaria (origem)	Refinaria (destino)	Nº de vezes	Rotas	Distância (Mn)	Plataformas					
Carioca	D. Caxias	D. Caxias	1	Rota 01	1800	1	0	0	0	0	0
Carioca	D. Caxias	H. Lajes	1	Rota 02	900	0	1	0	0	0	0
Rebocas	H. Lajes	H. Lajes	1	Rota 11	1650	0	0	0	1	0	0
Rodeio	D.Caxias	D.Caxias	1	Rota 13	1700	0	0	0	0	1	0
Rodeio	D.Caxias	Paulina	1	Rota 18	1650	0	0	0	0	0	1
Rebocas	H.Lajes	Paulina	1	Rota 09	1975	0	0	1	0	0	0
Rodeio	Paulina	Paulina	1	Rota 39	2050	0	0	0	1	0	0
Londrina	D.Caxias	D.Caxias	1	Rota 40	2900	0	1	0	0	1	0
Carioca	H.Lajes	Paulina	1	Rota 102	2500	0	1	1	0	0	1

Tabela 13. Tempo necessário de escoamento dos óleos produzidos nas plataformas, exemplo1

Navio	Rota	Tempo viagem (ida e volta) (dias)	Tempo em plataforma (dias)	Tempo em refinaria (dias)	Tempo total (dias)
Carioca	Rota02	3.225	2.578	2.578	15.54
	Rota04	2.489	2.331	2.331	
Rebocas	Rota31	3.479	2.504	2.504	25.010
	Rota31	3.479	2.504	2.504	
	Rota106	3.060	2.535	2.535	
Rodeio	Rota 23	4.87	3.79	3.79	24.86
	Rota 23	4.87	3.79	3.79	

O tempo total para cada navio não pode ultrapassar o horizonte de tempo que foi estimado para cada navio, de acordo com a EQ. 3. Para os navios são computados 3 tempos, que são tempo de percurso, tempo que permanece atracado na refinaria e na plataforma. O navio Carioca teve um tempo total de 15.54 Dias, o navio Rodeio levou a carga em um tempo 25.61 Dias e o Navio Rebocas foi de 24.86 Dias para o primeiro exemplo, já no segundo exemplo apresenta 23,03 para o navio carioca, 26,45 para o Rodeio, 26,89 para o Rebocas e 11, 94 para o Londrina , como mostra as Tabelas 13 e 14.

Tabela 14. Tempo necessário de escoamento dos óleos produzidos nas plataformas, exemplo2

Navio	Rota	Tempo viagem (ida e volta) (dias)	Tempo em plataforma (dias)	Tempo em refinaria (dias)	Tempo total (dias)
Carioca	Rota01	5.769	1.235	1.030	23.03
	Rota02	2.885	1.233	1.331	
	Rota 102	7.051	1.226	1.267	
Rodeio	Rota13	5.449	1.325	1.504	26.45
	Rota18	4.991	2.104	2.504	
	Rota39	5.506	1.535	1.535	
Rebocas	Rota 11	6.952	2.694	2.79	26.894
	Rota 09	6.878	3.79	3.79	
Londrina	Rota 40	8.173	1.891	1.871	11.935

As quantidades transportadas pelos navios são apresentada nas Tabelas 15 e 16, onde inclui os óleos, que podem ser misturados e os que devem ser transportado individualmente.

Tabela 15. Volume de óleo transportado pelos navios, no exemplo 1

Navios	Rota	Plataforma	Óleo Puro (m³)	Óleo Misturado (m³)
Carioca	02	01	8000	-
	04	02	-	17500
Rebocas	31	05	-	12300
	106	02	-	6463
		03	-	19010
		05	-	10200
Rodeio	23	03	-	14495
		04	20000	-

Tabela 16. Volume de óleo transportado pelos navios, no exemplo 2

Navios	Rota	Plataforma	Óleo Puro (m³)	Óleo Misturado (m³)
Carioca	01	01	11473	-
	02	01	9456	-
		02	-	15349
	102	03	-	10473
		05	-	4705
Rebouças	11	04	20960	-
	09	03	-	12527
Rodeio	13	04	15295	-
	18	06	-	16543
	39	04	8987	-
Londrina	40	02	-	12876
		05	-	9876

As Tabelas 17 e 18 mostram quanto em m^3 de óleo serão armazenados em cada plataforma

Tabela 17. Volume de óleo armazenado pelas plataformas, exemplo 1.

Plataformas	Óleo Puro(m^3)	Óleo de Mistura(m^3)
01	19000	-
02	-	32000
03	-	11010
04	11000	-
05	-	12500

Tabela 18. Volume de óleo armazenado pelas plataformas, exemplo 2.

Plataformas	Óleo Puro(m^3)	Óleo de Mistura(m^3)
01	14071	-
02	-	9651
03	-	5000
04	5718	-
05	-	10419
06	-	3457

O Valor da função objetiva p/ os problemas 1 e 2, assim como informações sobre o numero de variáveis, numero de interações e nós avaliado são apresentados na tabela 19.

Tabela 19 dados finais dos dois problemas apresentados

Problemas	Numero de equações	Numero de variáveis	Interações	Nós avaliado	Função objetiva(\$)
Problema 1	10	3578	2442	59	441089,00
Problema 2	10	7989	4567	202	771676,00

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por finalidade estudar métodos matemáticos para resolução de um problema de transporte marítimo em plataforma. A partir da modelagem, foi possível simular problemas de escoamento de produção do óleo, das plataformas petrolíferas para as refinarias. Dentro de uma frota de navio, com navios de característica diferentes, o modelo é capaz de identificar dentro um conjunto de navios, qual embarcação a qual deverá ser selecionada e que o produto irá transporta, em cada um dos seus tanques, assim como a frota que represente o melhor caminho. Também mostra quando de óleo será transportado das plataformas para as refinarias e quanto será estocado pelas plataformas, sempre atendendo o prazo estabelecido em relação ao tempo de entrega e minimizando cada parcela de custo, que está associada à distância, tempo e ao atraco do navio.

Esse trabalho de dissertação permitiu aprofundar conhecimentos com relação à influência do uso de modelos no planejamento operacional e na integração desse planejamento ao processo de planejamento das atividades logísticas.

O modelo matemático utilizando a PLIM do presente trabalho atendeu as expectativas de forma teórica se mostrando uma excelente ferramenta no auxílio para o planejamento de transporte de petróleo extraído das refinarias, diminuído de forma considerável seu custo total de transporte. Podendo ser aplicado de forma real alterando seus parâmetros para chegar de forma mais concreta no resultado real.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, R. M. Simulando operações de manutenção em poços de petróleo. 2000. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ALCOFORADO, M.A.P. 2003. Comunicação Pessoal. Monografia, USP, São Paulo.

ANTAQ (Agência Nacional de Transporte Aquaviário). 2008. Anuário Estatístico dos Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília.

BALLOU, Ronald H. 1993. Logística empresarial. São Paulo: Atlas, Brasil.

BALLOU, Ronald H. 1995. Business Logistics Management: Planning and Control. Prentice Hall, 2ª edição. New Jersey.

BODINGTON, C. Edward. 1995. Planning, scheduling, and control integration in the process industries. *McGraw-Hill*

BRASIL ENERGIA . Revista, nº 262, setembro 2002.

BROOKE, A., KENDRICK, D., MEERAUS P. A. GAMS - A user's guide, The Scientific Press.

CARRION, R.M, 1999. Reestruturação da indústria petroquímica no Rio Grande do Sul e a qualificação dos operadores. VI Encontro de estados do trabalho. Anais: ABET. Rio Grande do Sul.

CHRISTOPHER, Martin. 1997. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos. 1ª ed. São Paulo: Pioneira.

CHIYOSHI, F. Y. 2002. Simulando operações de manutenção em poços de petróleo. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ – Prog. Eng. Produção. Rio de Janeiro.

DORING, R. 1998. Desenvolvimento gerencial. Dissertação de mestrado, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

EPPEN, G.D. 1998. Introductory management science. Prentice Hall.

FAGERHOLT, K. 2001. Ship scheduling with soft time windows: an optimisation based Approach. *European Journal of Operational Research*, 20.

FAGERHOLT, K. 2000. Evaluating the trade-off between the level of customer service and transportation cost in a ship scheduling problem. *Maritime Policy Management*, 27(2):145 -153.

FERREIRA, L. A. 2002. É proibido vacilar Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo. Monografia, UFRJ. Rio de Janeiro.

FRONAPE. 2006. Plano de emergência para derrames de hidrocarbonetos. PETROBRAS-FRONAPE, Inspeção Geral, Rio de Janeiro.

HARTMANN, J.C.M. 1999. Is your refinery model balanced Hydrocarbon Processing, tese de doutorado, *Trondheim, Norway*

INTERTANKO (The International Association of Independent Tanker Owners). site internet: www.intertanko.com/search/artikkel.asp?id=3701, acesso em 12/09/2008.

JETLUND A. & KARIMI I.A. 2004. Improving the Logistics of Multi-compartment. *Chemical Tankers. Computers and Chemical Engng*, 28, 1267-1283.

KLINGMAN. Darwin. 1989. Combining recent advances in information and optimization technologies for competitive advantage in the downstream petroleum industry. *Proceedings of the Shell conference on logistics, Apeldoorn, the Netherlands.*

MARIELLE, C.; KJETIL F. 2002. Ship routing and scheduling: status and perspectives. Norwegian University of science and technology Trondheim, Norway.

MASSERON, J. 1990. *Petroleum Economics*. 4 ed. Ed. Technip. 131.

MÁS R. 1998. scheduling de óleo cru de curto prazo: técnica de programação mista Inteira. Disponível em: www.anp.gov.br , acesso em 15/03/2008

MENEZES, J. D. 2000. Uma plataforma para expedição de combustíveis. Departamento de engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Santa Catarina.

MURACT, A, E. 2008. *Scheduling* de escoamento de petróleo bruto das plataformas marítimas e atendimento a centros consumidores. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Alagoas, UFAL, mestrado em modelagem computacional, Alagoas.

NEIVA, J. 1986. Conheça o petróleo. 1 ed, Editora Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, J.P. 1993. Análise do gerenciamento de riscos ambientais do transporte marítimo de petróleo e derivados no Estado do Rio de Janeiro. Tese doutorado., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ONO, R. T. 2001. Estudo de viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira. *Master's thesis, Departamento de Engenharia Naval, Escola Politécnica da USP, São Paulo.*

PAPADAKIS, N.; PERAKIS , A. 1989a Minimal time vessel routing in a time-dependent environment. *Transportation Science*, 23(4):266 -276.

PAPADAKIS, N.; PERAKIS , A. 1989b. A nonlinear approach to the multiorigin, multideestination fleet employment problem. *Naval Research Logistics*, 36:515 -528.

PUCU, P, A, B. 2009. Distribuição de granéis líquido na costa brasileira através de uma frota de navios. Monografia, Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Engenharia Química, Alagoas.

PUCU, P, A, B. SOLETTI, J, I e CARVALHO, S, H. Distribuição de petróleo das plataformas marítima via transporte naval. Apresentado no CILANCE 2009, Búzios, Rio de Janeiro

SIMÕES. C. P. 2002. A logística reversa aplicada à exploração e produção de petróleo, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia de Produção, Santa Catarina.

SILVA, G.H. 1996. Percepção ambiental da indústria de petróleo no litoral brasileiro. *Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos UFSCs, São Carlos.*

SORDI, J. O. 2005. otimização de processos portuários a partir da aplicação de recursos de tecnologia da informação análise do porto de santo, Dissertação de mestrado, Universidade Católica de Santos, Gestão de negócios, Santos.

SPERANZA. 1992. Minimizing transportation and inventory costs for several products on single link. *Operations Research*, 42:879 -894.

SPERANZA; UKOVICH. 1996 An algorithm or optimal shipments with given frequencies .Naval Research Logistics, 43:655 -671.

TEIXEIRA, W. S. 1995. Uma linguagem visual de interação sobre gráficos quantitativos em aplicação computacionais. Dissertação de mestrado, COPPE, Rio de Janeiro.

TRANSPETRO. 2009. Site internet www.transpetro.com.br Acesso em Fevereiro/2009

Anexo 1

Tabela A1 Característica dos navios da FRONAPE

Navio	Ano	TPB	Capacidade Volumétrica ³ (m ³)	Casco duplo	Lastro Segregado	Produto transporta do
Ataulfo Alves	2000	153.000	166.392	Sim	Sim	Petróleo
Avaré	1975	28.903	32.146	Não	Não	Navio cisterna
Bagé	1985	91.647	100.896	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Bicas	1985	91.671	100.896	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Brotas	1985	91.902	100.896	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Camocim	1986	18.900	19.193	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Candiota	1990	18.799	19.231	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Cantagal o	1990	18.835	19.231	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Carangol a	1989	18.823	19.231	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Caravela s	1986	18.922	19.193	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos escuros
Carioca	1986	18.997	19.193	Não	Sim	Petróleo/Pr odutos

(Continuação)

Navio	Ano	TPB	Capacidade Volumétrica 3 (m)	Casco duplo	Lastro Segregado	Produto transporta do
Cartola	2000	153.000	166.392	Sim	Sim	Petróleo
Dílya	1980	18.074	22.684	Não	Sim	Produtos claros
Diva	1980	18.012	22.684	Não	Sim	Produtos claros
Grajaú	1987	8.875	8.142	Não	Sim	Gases
Guaporé	1982	4.490	6.202	Não	Sim	Gases
Guará	1981	4.494	6.202	Não	Sim	Gases
Guarujá	1981	4.514	6.202	Não	Sim	Gases
Gurupá	1987	8.907	8.136	Não	Sim	Gases
Gurupi	1987	8.891	8.149	Não	Sim	Gases
Itabuna	1993	44.555	46.746	Sim	Sim	Produtos claros
Itaituba	1996	44.138	49.965	Sim	Sim	Produtos claros
Itajubá	1993	44.555	46.746	Sim	Sim	Produtos claros
Itamonte	1995	44.138	46.965	Sim	Sim	Produtos claros
Itaperuna	1994	44.555	46.746	Sim	Sim	Produtos claros
Jurupem a	1977	131.584	154.873	Não	Não	Navio cisterna
Lages	1991	29.995	34.969	Não	Sim	Produtos claros

(continuação)

Navio	Ano	TPB	Capacidade Volumétrica ³ (m)	Casco duplo	Lastro Segregado	Produto transport ado
Lambari	1993	29.995	34.969	Não	Sim	Produtos claros
Lavras	1992	29.995	34.969	Não	Sim	Produtos claros
Lindóia BR	1996	44.582	42.386	Sim	Sim	Produtos claros
Livramento	1997	44.583	42.386	Sim	Sim	Produtos claros
Lobato	1993	44.600	42.770	Sim	Sim	Produtos escuros e claros
Londrina	1994	45.229	42.770	Sim	Sim	Produtos escuros e claros
Lorena BR	1996	45.229	42.770	Sim	Sim	Petróleo/ Produtos escuros
Maracá	1981	133.752	156.584	Não	Não	Petróleo
Maruim	1980	133.752	156.584	Não	Não	Petróleo
Marta	1981	17.935	22.684	Não	Sim	Produtos claros
Muriaé	1979	133.752	156.584	Não	Não	Petróleo
Nara	1982	17.859	22.684	Não	Sim	Produtos
Nara	1982	17.859	22.684	Não	Sim	Produtos claros
Nilza	1981	17.999	22.684	Não	Sim	Produtos claros
Norma	1982	17878	22684	Não	Sim	Produtos claros

(Continuação)

Navio	Ano	TPB	Capacidade Volumétrica ³ (m)	Casco duplo	Lastro Segregado	Produto transportado
Pedreiras	1993	55067	65142	Sim	Sim	Produtos claros
Neusa	1983	17.909	22.684	Não	Sim	Produtos claros
Pedreiras	1993	55.067	65.142	Sim	Sim	Produtos escuros e claros
Piquete	1989	66.876	67.379	Sim	Sim	Produtos escuros e claros
Piraí	1990	66.672	67.379	Sim	Sim	Produtos escuros e claros
Pirajuí	1990	66.721	67.379	Sim	Sim	Produtos escuros e claros
Potengi	1991	55.067	65.145	Sim	Sim	Produtos escuros e claros
Poti	1996	55.067	65.142	Sim	Sim	Petróleo/ Produtos escuros
Rebouças	1989	30.651	31.678	Não	Sim	Petróleo/ Produtos escuros
Rodeio	1990	30.551	31.678	Não	Sim	Petróleo/ Produtos escuros