



Daniel Barroso Bottino

**Modelagem integrada para otimização da
cadeia logística de combustíveis no Brasil**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Eugênio Leal

Rio de Janeiro
Setembro de 2018



Daniel Barroso Bottino

**Modelagem integrada para otimização da cadeia logística
de combustíveis no Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Eugenio Leal

Presidente e Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC/Rio

Prof. Antônio Márcio Tavares Thomé

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Marcelo Maciel Monteiro

UFF

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador (a) Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de setembro de 2018.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Daniel Barroso Bottino

Graduou-se em Engenharia de Produção na UFF (Universidade Federal Fluminense) em 2008. Atualmente trabalha com planejamento operacional da logística da Petrobras, com ênfase em análise e soluções logísticas para refino, transporte e comercialização.

Ficha Catalográfica

Bottino, Daniel Barroso

Modelagem integrada para otimização da cadeia logística de combustíveis no Brasil / Daniel Barroso Bottino; orientador: José Eugenio Leal. – 2018.

128 f. ; il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2018.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Modelagem de rede. 3. Otimização. 4. Cadeia do downstream. 5. Distribuição de combustíveis. 6. Refino de petróleo. I. Leal, José Eugenio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

A Deus, criador do universo, fonte de luz e virtude, por aumentar a nossa força e nos guiar com sabedoria e justiça à perfeição.

A minha esposa, por todo amor e acolhimento durante essa empreitada. Aos meus filhos, por elevar minha motivação para meu desenvolvimento e aprimoramento como indivíduo, de forma a auxiliá-los em sua caminhada com equilíbrio e firmeza.

Aos meus pais, por toda confiança e suporte durante essa jornada que me trouxe até aqui. Aos demais familiares e amigos que me incentivaram no dia a dia.

A meu orientador, professor José Eugenio Leal, por ter aceitado esse desafio com dedicação e disponibilidade sempre que necessário, agregando inestimável conhecimento e valiosas recomendações na conduta desta dissertação.

À Petrobras e seus gestores, pela oportunidade da realização deste programa, em especial ao Eduardo Ávila, pelo apoio e participação desde os primeiros passos deste trabalho.

A meus colegas de empresa, Guilherme, Oscar e Luiz Claudio pelos ensinamentos e compartilhamento de informações úteis a esta pesquisa e a todos que de alguma forma cooperaram com importantes conhecimentos técnicos ou acadêmicos.

Resumo

Bottino, Daniel Barroso; Leal, José Eugênio. **Modelagem integrada para otimização da cadeia logística de combustíveis no Brasil**. Rio de Janeiro, 2018. 128p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O mercado brasileiro de combustíveis apresenta uma nova realidade com a mudança na política de preços praticados por sua principal empresa de petróleo, onde até o ano de 2016 foi caracterizado pelo monopólio devido aos preços artificiais impostos por esta de modo a controlar a inflação no país. Atualmente os preços dos produtos nas refinarias nacionais estão alinhados ao mercado internacional de commodities, viabilizando a entrada de novos competidores para atender a demanda do país. Com este cenário, surgem questões relativas a utilização do refino e níveis de preços a serem adotados no mercado interno de forma a trazer maior competitividade no mercado de forma duradoura e sustentável. Modelos de otimização são utilizados para suportar a tomada de decisão no planejamento da cadeia de *downstream* e definir a melhor utilização dos recursos disponíveis. Clientes e fornecedores possuem objetivos e custos diferentes, e a necessidade de integrar modelos que dialoguem entre as cadeias de abastecimento destes grupos faz-se necessária, onde os resultados da empresa são impactados de acordo com suas decisões de produção e participação no mercado. O experimento consistiu na construção uma modelagem de rede para a cadeia de distribuição de combustíveis no Brasil a partir de duas ferramentas de otimização existentes, uma delas utilizando-se SIG. Assim, esta modelagem traz uma aplicação eficaz para a empresa, pois a auxilia na quantificação de seus resultados em um cenário de competição em que a mesma se encontra inserida, considerando as singularidades do mercado e indústria no país.

Palavras-chave

Modelagem de rede; otimização; cadeia do downstream; distribuição de combustíveis; refino de petróleo.

Abstract

Bottino, Daniel Barroso; Leal, José Eugênio (Advisor). **Integrated optimization model for the fuel supply chain in Brazil**. Rio de Janeiro, 2018. 128p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brazil.

A recent change in the national Brazilian oil company price policy introduced a new market reality as the imposed artificial prices scheme used in order to control inflation was abandoned. Currently, refined products prices' in the national territory are matched to the international commodities market, allowing the entry of new competitors to meet national demands. According to this scenario issues relating to infrastructure and a new set of prices to be adopted by the Brazilian domestic market aiming for increased competitiveness on the national market on a long-lasting and sustainable basis begin to appear. Optimization models are used to support the downstream supply chain planning decision-making and to ensure the best use of available production resources. Customers and suppliers have different objectives and costs, and it is necessary to integrate models which allow supply chain groups to dialogue among themselves, where the company's result are affected according to their production decisions and market share. The experiment described here consists of the building of a network modelling for the Brazilian fuel distribution chain starting from two optimization tools already available, one of them using GIS. Thus, this modelling brings an effective application to the company, as it assists in the quantification of its results in a competition scenario in which it is inserted, considering the singularities of the Brazilian market and industry.

Keywords

Network modeling; optimization; downstream supply chain; fuel distribution; oil refining.

Sumário

1 Introdução	15
1.1. Apresentação do problema	15
1.2. Objetivos do trabalho	16
1.3. Metodologia	17
1.4. Relevância e contribuição	18
1.5. Delimitação do escopo	19
1.6. Estrutura da dissertação	19
2 Referencial Teórico	20
2.1. O setor de downstream na indústria do petróleo	20
2.2. Mercado brasileiro de combustíveis	23
2.2.1. Nova política de preços da estatal brasileira	24
2.2.2. Composição de Preços de Venda	26
2.3. Infraestrutura Logística	28
2.4. Problemas de rede	36
2.4.1. Caminho mínimo	38
2.4.2. O algoritmo Out-of-Kilter	40
2.5. Estrutura e modelagem da rede	41
2.5.1. Construções de modelo a partir do SIG	42
2.5.2. Modelo para distribuição de combustíveis	45
2.6. Modelos de otimização	46
3 Método e construção do modelo	51
3.1. Definição do problema	51
3.2. Definição do projeto de pesquisa	52
3.3. Variáveis escolhidas	54
3.4. Sistema de Análise Logística de Mercado (SIAM)	55
3.4.1. Camadas do SIG	57

3.4.2. Minimização dos custos do distribuidor	60
3.5. PLANINV	64
3.5.1. Maximização do lucro no modelo	66
3.6. Modelagem integrada aplicada ao caso	72
4 O Experimento e Análise dos resultados	76
4.1. Dados da cadeia do distribuidor	77
4.1.1. Camadas de transporte e bases	78
4.1.2. Demanda de derivados	82
4.1.3. Oferta nacional e Importações	83
4.1.4. Valoração do produto e Custos Tributários	85
4.2. Dados para cadeia de abastecimento do produtor	87
4.2.1. Premissas financeiras e mercado	87
4.2.2. Produção nacional e a balança comercial	88
4.2.3. Custos da cadeia logística	90
4.3. Desenvolvimento de cenários	91
4.4. Resultado da otimização do SIG: Áreas de influência	92
4.5. Otimização do ganho para a empresa estatal	95
4.6. Análise dos cenários	97
5 Conclusão	99
5.1. Considerações gerais	99
5.2. Aplicação prática e Contribuição para a Indústria e a Academia	100
5.3. Sugestões para trabalhos futuros	101
6 Referências bibliográficas	103
APÊNDICE I Detalhamento do problema no SIAM	109
I.1 Dados de entrada para o SIAM	109
I.2 Resultados da otimização no SIAM	115
APÊNDICE II Detalhamento do problema no PLANINV	123
II.1 Dados de entrada para o PLANINV	123
II.2 Resultados da otimização no PLANINV	124

Lista de Figuras

Figura 1 – Visão da cadeia de petróleo e derivados	21
Figura 2 – Esquema de refino para a produção de combustíveis	22
Figura 3 – Esquemático da cadeia de distribuição de gasolina e diesel no mercado	24
Figura 4 – Preço médio de Gasolina e Diesel ao consumidor final	26
Figura 5 – Dutos de petróleo e derivados no Brasil e nos Estados Unidos	30
Figura 6 – Participação relativa de cada modal no transporte de carga por país.	32
Figura 7 – Hubs para importação de combustíveis	34
Figura 8 – Mapa da infraestrutura e bases de distribuição	35
Figura 9 – Rede criada a partir das possíveis combinações de rotas	41
Figura 10 – Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica	43
Figura 11 – Rede de distribuição de derivados de petróleo	45
Figura 12 – Representação do modelo de otimização	48
Figura 13 – Valor estimado dos derivados no mercado internacional x Custo Petróleo (Brent)	51
Figura 14 – Metodologia para formulação do problema de otimização da distribuição	55
Figura 15 – Representação da Rede (Visão das Distribuidoras)	56
Figura 16 – Camadas com refinarias (polos de venda), ferrovias e hidrovias (arcos da rede).	58
Figura 17 – Camada do SIAM com SIG Rodovias federais e estaduais e bases de distribuição	59
Figura 18 – Cadeia de downstream representada no PLANINV	65
Figura 19 – Sistemas de planejamento da cadeia de downstream	73
Figura 20 – Curva de aprendizado dos competidores	74
Figura 21 – Expectativa do ganho com variação de preços	75

Figura 22 – Representação de Hidrovias e Ferrovias com fluxos observados entre bases (nós)	79
Figura 23 – Representação de Arcos Rodoviários entre Bases de Distribuição no SIAM	81
Figura 24 – Balança comercial de petróleo e derivados	89
Figura 25 – Resultado econômico do refinador com a variação de preço e mercado de gasolina	96
Figura 26 – Resultado econômico do refinador com a variação de preço e mercado de diesel	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Matriz de transportes por modal e fonte de pesquisa	28
Tabela 2 – Principais conceitos de simulação computacional	47
Tabela 3 – Situações relevantes em diferentes estratégias de pesquisa	53
Tabela 4 – Parâmetros, variáveis e índices do problema do distribuidor	60
Tabela 5 – Parâmetros, variáveis e índices do problema do produtor	68
Tabela 6 – Fator de competitividade nos tipos de rodovias do país	80
Tabela 7 – Demanda dos produtos do modelo por região	83
Tabela 8 – Entregas registradas por tipo de agente com máximos locais	84
Tabela 9 – Preços paridade importação por porto em R\$/litro	85
Tabela 10 – Cenários desenvolvidos na ferramenta SIAM	92
Tabela 11 – Cenários para otimização no PLANINV a partir dos resultados do SIAM	92
Tabela 12 – Resultados das escolhas para atendimento nos modelos:	93
Tabela 13 – Utilização do modal ferroviário nos modelos	93
Tabela 14 – Resultados SIAM para Gasolina	93
Tabela 15 – Resultados SIAM para Diesel S500 (ATE)	94
Tabela 16 – Resultados SIAM para Diesel S10 (BTE)	94
Tabela 17 – Valores marginais nos polos de importação	95
Tabela I-1 – Frete e preços de importação por localidade (em R\$/m ³)	109
Tabela I-2 – Preços médio praticados pela empresa estatal igualados ao PPI (em R\$/m ³)	110
Tabela I-3 – Capacidade máxima mensal de oferta em cada polo de venda no país (em mil m ³)	110
Tabela I-4 – Variação de ICMS e PMPF (em R\$/litro) no Diesel e Gasolina por estado	112
Tabela I-5 – Média mensal da demanda dos municípios brasileiros (em mil m ³)	112

Tabela I-6 – Rotas ferroviárias de combustíveis com capacidades e tarifas	113
Tabela I-7 – Custo unitário de transporte rodoviário por km rodado em cada estado	114
Tabela I-8 – Resultado da área de influência por polo de venda	115
Tabela I-9 – Resultado de vendas da empresa por região (Cenário PPI+120)	122
Tabela II-1 – Dados operacionais de produção e comercialização	123
Tabela II-2 – Média mensal de vendas no país em 2017 por região	123
Tabela II-3 – Refinarias no Brasil com capacidades de produção e volumes refinado em kbpd	123
Tabela II-4 – Resultado econômico dos cenários avaliados no modelo	124
Tabela II-5 – Resumo de volumes dos cenários avaliados no modelo (em kbpd)	126
Tabela II-6 – Taxa de utilização por refinarias (%)	128

Lista de Abreviaturas e Siglas

AIMMS	Advanced Interactive Multidimensional Modeling System
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ATE	Alto teor de enxofre
BBL	Barril
BPD	Barris por dia
BTE	Baixo teor de enxofre
CAP	Capacidade
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
DSL	Diesel
EIA	U.S. Energy Information Administration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPL	Empresa de Planejamento e Logística
E&P	Exploração e Produção
GEIPOT	Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GSL	Gasolina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM	International Business Machines
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
ILOS	Instituto de Logística e Supply Chain
IMP	Importador
KBPD	Mil barris por dia
LGN	Líquido de Gás Natural
LUBNOR	Refinaria Lubrificantes e Derivados do Nordeste
MBPD	Milhões de barris por dia
MME	Ministério de Minas e Energia

OC	Óleo Combustível
PIB	Produto Interno Bruto
PIS/PASEP	Programa de Integração Social / Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PL	Programação Linear
PLANAB	Modelo de Planejamento do Abastecimento
PLANINV	Modelo de Planejamento de Investimentos
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PMPF	Preço Médio Ponderado ao consumidor final
PMR	Preço Médio de Realização
PNLI	Plano Nacional de Logística Integrada
PNLIM	Programação Não Linear Inteira Mista
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transporte
PPI	Preços de Paridade de Importação
QAV	Querosene de Aviação
RECAP	Refinaria de Capuava
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
REMAN	Refinaria Isaac Sabbá
REPAR	Refinaria Getúlio Vargas
REPLAN	Refinaria de Paulínia
REVAP	Refinaria Henrique Lage
RLAM	Refinaria Landulpho Alves
RNEST	Refinaria Abreu e Lima
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes
R\$	Reais (moeda brasileira)
SIAM	Sistema de Análise Logística de Mercado
SIG	Sistema de Informações Georreferenciadas
SPNT	Secretaria de Política Nacional de Transportes
TCP	Time Charter Party
TRIB	Tributos
TRRs	Transportadores Revendedores Retalhistas
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural
US\$	Dólar (moeda americana)
VCP	Voyage Charter Party

1

Introdução

1.1.

Apresentação do problema

Durante quase meio século, o cenário brasileiro de comercialização de derivados de petróleo representava um monopólio legal da sua principal empresa nacional quanto ao abastecimento do mercado, onde até início do século XXI era a única empresa autorizada a importar derivados de petróleo. Apesar da quebra do monopólio iniciada em 1996, progredindo de forma mais efetiva com a Lei do Petróleo nº 9.478/1997, e concluída em 2001 através a Portaria Interministerial MF/MME nº 240, que liberaria os preços de venda em todo o País, essa situação perdurou até início de 2016, pela falta de estímulo a competidores, provocado por preços artificiais impostos por esta de modo a controlar a inflação no país. Atualmente o mercado de combustíveis apresenta uma nova realidade com as mudanças estratégicas recentes da companhia, entre as quais a mudança na política de preços para maximização de margens na cadeia de abastecimento, com ajustes diários e preços do produto nacional alinhados ao mercado internacional de commodities, aliada a não garantia integral do mercado, o que viabilizou a entrada de novos competidores para atendimento a demanda do país.

Como resultado, as importações de gasolina e diesel por outras empresas atingiram máximas históricas, com uma menor utilização do parque nacional de refino e perda de market share da produtora nacional de derivados. A exportação de petróleo ou seu derivado é feita em comparação com a alternativa de venda no mercado. As refinarias são otimizadas em busca de sua utilização da forma mais rentável. Uma unidade pode operar em sua capacidade máxima volumétrica, mas com perda de eficiência em seu rendimento de refino e transformação, ou pode operar abaixo da capacidade máxima aumentando sua eficiência. O resultado econômico influencia diretamente o ponto ótimo em que as refinarias devem operar, de acordo com os mercados e alternativas. Com isso, a estratégia adotada tem como objetivo trazer melhores resultados econômicos para a empresa, e ao mesmo tempo tornar o mercado interno sustentável no longo prazo, mais saudável para a indústria petroleira com a possibilidade de introdução de outros atores no

refino e logística através de investimentos ou parcerias, além de gerar a oportunidade de ampliar a exportação de petróleo ou derivados. Os preços praticados pela empresa devem refletir o equilíbrio entre a otimização do parque de refino, avaliando alternativas com a exportação do petróleo, e a atratividade para importação de derivados por outros agentes a fim de garantir o market share necessário.

Produtos como Diesel e Gasolina são *commodities*, isto é, produtos com pouca ou nenhuma diferenciação, produzidos em larga escala e negociados internacionalmente. Os preços de commodities em mercados abertos são formados a partir do custo de oportunidade da entrega dos produtos em determinada localidade, dependendo dos desafios logísticos e limitações dos demais competidores, além do valor de aquisição no mercado internacional. De acordo com PETROBRAS (2017), a referência de preço para toda e qualquer localidade de venda é conhecida por Preço Paridade Importação, ou simplesmente *PPI*, que representa a alternativa de suprimento mais econômica para o mercado de importação. O PPI já contempla custos com hedge cambial, hedge de commodity e custos financeiros com estoque em trânsito. Além disso, deve-se considerar a tributação local, que no caso da comercialização de Gasolina e Diesel compreende CIDE, PIS/COFINS e ICMS.

Assim como em outros setores da economia, o agente regulador pode atuar garantindo um ambiente competitivo e alinhado com os preços internacionais visando a redução de interferências políticas, com uma adoção de uma política de preços de combustíveis transparente, gerando um cenário de atratividade para investimentos no setor. Dessa forma, surgem questões relativas a níveis de preços a serem adotados no mercado e à competitividade das refinarias nacionais com a infraestrutura logística na cadeia de distribuição diante dos produtos importados.

1.2. Objetivos do trabalho

O crescimento da comercialização de petróleo e derivados com o mercado externo, atrelado a mudanças no mercado e entrada de novos competidores vêm desafiando as empresas a definirem sua estratégia de negócio e política de vendas.

Assim, a presente pesquisa tem por finalidade principal realizar uma modelagem da cadeia de distribuição atual integrada entre empresa e seus clientes, considerando suas alternativas e minimização dos custos de atendimento ao mercado e propor uma arbitragem de preço entre o produto nacional e importado, com objetivo de maximizar o resultado para empresa de refino nacional. Neste caso, as perguntas de pesquisa que devam ser respondidas são:

- Como aumentar o lucro da empresa de petróleo brasileira?
- Até quanto o aumento do preço de venda com a redução de *Marketshare* contribui com o objetivo?
- Porque o nível de refino máximo não significa maior rentabilidade?

Para tal, faz-se necessária uma integração com modelos que analise o comportamento dos clientes conforme os custos de atendimento, de modo a escolher a melhor forma de utilizar os recursos existentes. Ainda, foi possível responder no resultado da otimização questões relevantes a cadeia de distribuição, como valor marginal em cada instalação, gargalos observados, nível de refino associado, possíveis modificações na atual configuração de suprimento do mercado, temas que poderão ser aprofundados e servir como base para proposição de futuros trabalhos.

1.3. Metodologia

Modelos de otimização são eficientes para suportar o planejamento da cadeia de *downstream* e definir como otimizar os recursos de produção e ativos logísticos, trazendo uma maximização dos ganhos para os fornecedores. Acredita-se na continuidade da competição em oligopólio, onde a margem converge para um ponto de equilíbrio, no qual o modelo de planejamento deve representar as previsões de mercado de acordo com os preços a serem praticados. Modelagem e sistemas que possam representar os ganhos para os clientes desempenham um papel vital para suportar a tomada de decisões no planejamento da empresa, e dessa maneira ferramentas de otimização e algoritmo exato são frequentemente utilizados na busca por eficiência e problemas de custos mínimos.

O estudo realizado para esta dissertação teve como primeiro passo a compreensão do problema para definição da modelagem com a escolha dos modelos matemáticos. Esta etapa consistiu em entrevistas com funcionários de uma empresa de petróleo estatal para compreender as necessidades da cadeia.

Em conjunto foi realizado o levantamento de dados e informações publicadas pelas empresas e agentes do setor que serviriam como base do modelo, tais como oferta de produtos, demanda de clientes e custos de distribuição. Uma vez entendido o negócio, a modelagem proposta foi desenvolvida através da integração de dois modelos de pesquisa operacional, um desenvolvido em AIMMS e outro que associa otimização com SIG.

Terminado a modelagem do problema, passou-se para a etapa de validação. Para tal, foi desenvolvido a técnica de cenários para se comparar os resultados da distribuição conforme racionalidade econômica dos clientes diante das variações de preço propostas no experimento. Para visualização e análise dos resultados, utilizou-se de auxílio gráfico de mapas com a distribuição dos fluxos e relatórios formando um banco de dados com indicadores econômicos, auferindo o lucro em cada cenário. Esses resultados foram validados por especialistas da companhia através de entrevistas.

1.4. Relevância e contribuição

O cenário de ampla concorrência na indústria de petróleo é um assunto recente no Brasil e traz a oportunidade de estudar os impactos para o mercado e apresentar uma modelagem integrada com os elos da cadeia de *downstream*, do petróleo até o cliente final dos combustíveis. Este estudo permitiu quantificar ganhos para um fornecedor em um cenário competitivo, implantando dentro do modelo e planejamento da empresa as decisões tomadas pelos clientes de acordo com as mudanças de preço e ofertas disponíveis por terceiros.

A indústria será beneficiada com as ferramentas aqui aplicadas pois as mesmas podem valer para a cadeia de distribuição de outros setores industriais, uma vez que a malha viária brasileira utiliza predominantemente o modal rodoviário. Da mesma forma, o modelo de otimização também pode ser aplicado em outras indústrias que trabalhem com fabricação de produtos com valorações para o mercado a partir de matéria prima finita, contribuindo para o resultado do sistema.

1.5. Delimitação do escopo

Este estudo tem como escopo avaliar a logística de distribuição de Gasolina A e Diesel A na cadeia de *downstream*, desde a refinaria até a chegada aos municípios (clientes). Dessa forma, não será abordada a logística dos biocombustíveis que fazem parte da mistura obrigatória destes produtos, que pode exercer influência nas decisões dos clientes. Em tempo, não será abordado a elasticidade da demanda do mercado em relação a variação do preço relacionado a produtos substitutos. A proposta dessa dissertação de avaliar a maximização do ganho da empresa de petróleo nacional se restringe a receita e custos envolvidos para comercialização destes produtos citados acima (Gasolina e Diesel). Esse estudo não irá abranger a distribuição dos demais derivados do petróleo da empresa, ficando estes como complementares ao estudo realizado e poderá ser utilizado em pesquisas futuras.

1.6. Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado por capítulos ordenados como a seguir:

Capítulo 1: Introdução, apresentação do problema e motivação, objetivos e sua relevância, com a delimitação do escopo da dissertação.

Capítulo 2: Referencial teórico, com a análise situacional do setor de *downstream* e restrições do mercado brasileiro, abrangendo a revisão de modelos de otimização e literatura existente de problemas que motivaram o estudo.

Capítulo 3: Método e construção do modelo, construção da modelagem do problema e aplicações das ferramentas de otimização escolhidas, com a integração dos modelos de modo a atingir os objetivos propostos.

Capítulo 4: O Experimento e Análise dos resultados, com dados do setor para modelagem da rede de *downstream* e aplicação das ferramentas, os cenários desenvolvidos para o experimento visando o melhor resultado em acordo com a tomada de decisão das distribuidoras de gasolina e diesel.

Capítulo 5: Conclusões da dissertação, com aplicações do modelo na empresa e recomendações de futuras pesquisas.

Capítulo 6: Referências Bibliográficas

2 Referencial Teórico

Este capítulo propõe descrever as especificidades do setor de *downstream* no Brasil, apresentando sua indústria e logística de distribuição, tipos de transporte e principais fluxos em cada modal, além da infraestrutura de terminais de armazenagem disponíveis. Será detalhada a política de mercado e a composição de preços dos combustíveis que servirão como referência para construir a modelagem que virá adiante.

A seguir, será apresentada a revisão bibliográfica relevante sobre modelagem e modelos matemáticos focadas na indústria de petróleo e outros que possam subsidiar o desenvolvimento do estudo e a utilização das ferramentas para a modelagem e otimização do mercado de derivados de petróleo. Será exibido estudos e abordagens encontradas na academia e em seguida, teorias e conceitos de algoritmos que subsidiará no desenvolvimento da metodologia de pesquisa e na escolha das ferramentas de otimização para a determinação dos ganhos para a empresa de petróleo estudada.

2.1. O setor de downstream na indústria do petróleo

A indústria do petróleo tem uma das cadeias de suprimentos mais complexas e avançadas do mundo, abrangendo atividades desde a exploração até a distribuição aos consumidores. Inclui produção do óleo, transporte, transformação em vários produtos refinados e distribuição para mercados consumidores através de uma grande rede logística.

Na literatura, a cadeia de suprimento de petróleo é dividida em dois setores: *Upstream* e *downstream*, ou em três, com a inclusão do *midstream*. Para Furman et al. (2017), *upstream* se refere às atividades exploratórias e de produção de hidrocarbonetos – petróleo e gás. Essas atividades incluem a pesquisa e descobertas de campos com acumulação subterrânea de hidrocarbonetos, poços de perfuração e produção desses recursos. O setor de *midstream* compreende o transporte, armazenamento e comercialização de petróleo bruto, produtos

petrolíferos refinados, enquanto o *downstream* inclui a distribuição e revenda de produtos refinados, como gasolina, querosene de aviação, GLP e óleo diesel. Destaca-se atividade logística de transporte, armazenagem e distribuição dos produtos até os locais de consumo. Fanchi et. al (2016) relatam que o setor *midstream* conecta os setores *upstream* e *downstream* e abrange o transporte e o armazenamento de petróleo e gás, e no caso do sistema com somente dois setores, o setor do *midstream* fará parte do setor de *downstream*, conforme será apresentado neste trabalho. Gomes e Alves (2007) complementam que na integração vertical, operam em conjunto a estrutura de exploração e produção de petróleo, segmento *upstream*, e o refino, denominado *downstream*, com uma logística própria de dimensões globais, e ainda a distribuição e a comercialização, com a própria priorização de seus produtos.

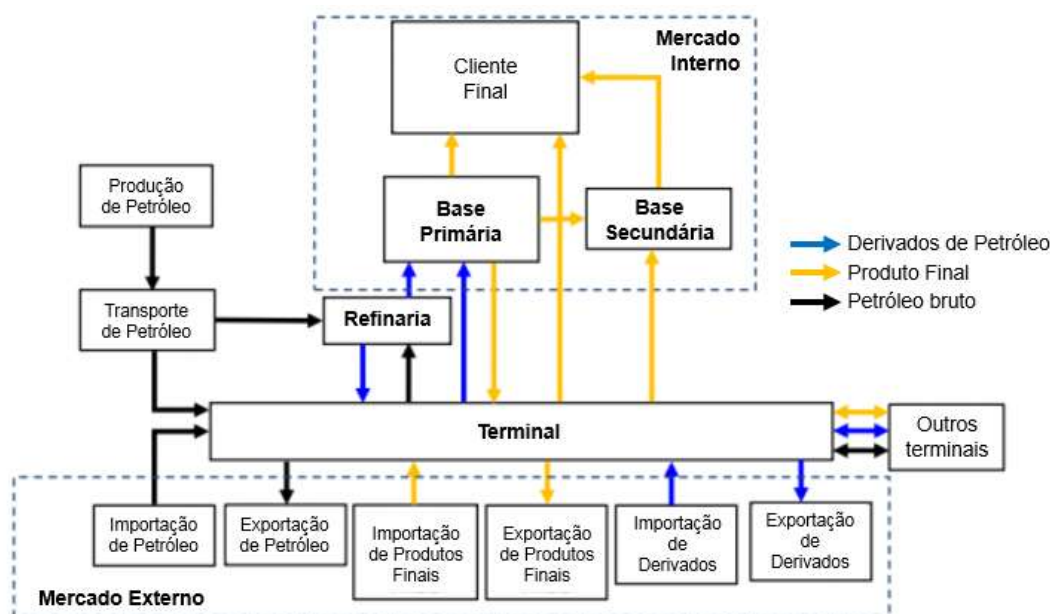


Figura 1 – Visão da cadeia de petróleo e derivados

A empresa estatal de petróleo brasileira, foco deste estudo, atua de forma integrada e especializada na indústria de petróleo, presente nos segmentos de exploração e produção, refino, comercialização, transporte, petroquímica, distribuição de derivados, gás natural, energia elétrica, gás-química e

biocombustíveis. Essa dissertação irá focar no *downstream* da cadeia de petróleo, isto é, a distribuição de derivados, em especial gasolina e diesel. Também serão considerados na segunda etapa os fluxos de petróleo que suprirão as refinarias do sistema e o processamento do refino, conforme será detalhado a seguir.

O parque brasileiro de refino é composto por 17 refinarias, distribuídas em 10 estados nas 5 regiões geográficas do país, com capacidade para processar 2,4 milhões de barris/dia (Mbpd), onde treze dessas refinarias pertencem a empresa estatal e respondem por 98,4% da capacidade total de acordo com o anuário da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2018a).

Cada refinaria é construída de acordo com o tipo de petróleo e necessidades daquele mercado onde ela se encontra, passando periodicamente por investimentos em modernização para elevar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos, como o hidrotratamento do diesel de baixo teor de enxofre (Diesel S10), por isso alguns derivados só podem ser produzidos em determinadas refinarias. Todas as refinarias possuem o desafio de processar o petróleo cru para satisfazer a demanda de derivados, conforme pode-se observar na figura 2 esses principais processos e produtos, de uma forma genérica e simplificada na indústria nacional.

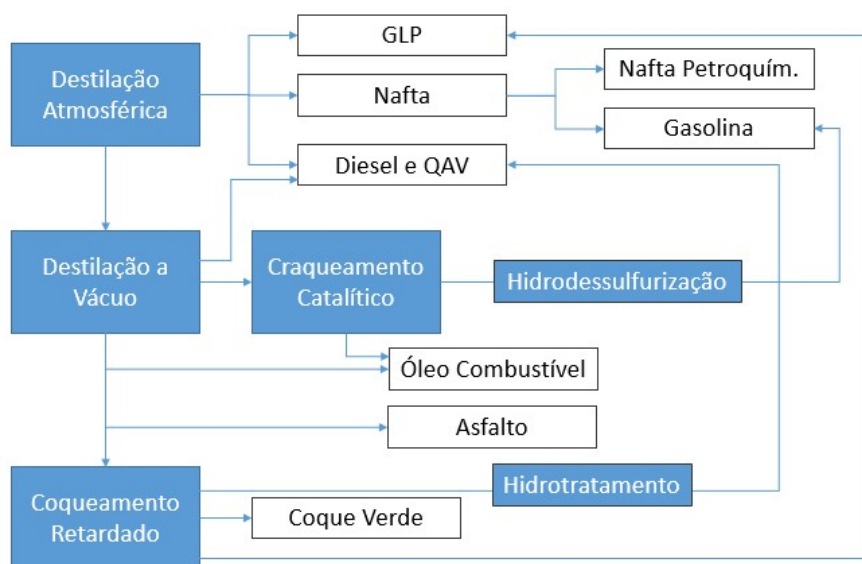


Figura 2 – Esquema de refino para a produção de combustíveis

Fonte: Adaptado pelo autor de EPE (2007)

Os derivados de petróleo podem ser divididos em categorias de leves (como GLP e Nafta), médios (Diesel e QAV) e pesados (óleo combustível), além

de produtos não energéticos (Asfalto) e sólidos (Coque). Mais adiante, será possível observar que a valoração desses produtos está associada a demanda dos mercados atendidos, com maior predisposição por derivados leves e médios.

2.2.

Mercado brasileiro de combustíveis

Em primeiro lugar, deve-se informar que a gasolina e o diesel vendidos às distribuidoras não são os mesmos produtos que chegam aos veículos do país. Estes combustíveis refinados do petróleo são conhecidos como tipo “A”, ou seja, ainda serão misturados aos biocombustíveis conforme regulamentação ANP. Ao abastecer o veículo no posto revendedor, o consumidor adquire a gasolina tipo C, uma mistura da gasolina tipo A, com Etanol Anidro. A gasolina produzida pelas refinarias é pura, sem etanol. As distribuidoras compram gasolina A das refinarias da Petrobras ou de terceiros e petroquímicas do país e o Etanol Anidro das usinas produtoras (assim como fazem com o Etanol Hidratado, porém o Anidro se diferencia pela ausência de água). Assim, mistura-se esses dois produtos para formular a gasolina C. A adição do etanol é uma obrigação legal dos distribuidores de combustíveis, conforme a Lei N 8.723, de 1993. A proporção de Etanol Anidro nessa mistura é determinada pelo Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA), podendo variar entre 18% e 27%. Desde março de 2015, o percentual obrigatório de etanol anidro combustível na gasolina comum é de 27%, conforme Portaria MAPA nº 75/2015.

O Diesel também segue determinação do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) regido pela Lei N 13.263, que todo o óleo diesel automotivo vendido no Brasil seja misturado com o biocombustível, nesse caso o biodiesel, produzido pelas usinas a partir de óleos vegetais – basicamente soja – ou gorduras animais. Desde março de 2018, a proporção do biodiesel representa 10% do volume final do diesel vendido nas bombas, o tipo C, que a partir de então passa a ser chamado de diesel B10. O mercado de óleo diesel no Brasil é regulamentado pela ANP e pela Lei Federal 9.478/97 (Lei do Petróleo). O consumo de diesel automotivo no Brasil se restringe ao setor agrícola e de transporte rodoviário, setores são de extrema importância para a economia do país. O óleo diesel que é consumido aqui pode ser produzido pela Petrobras, por outros refinadores instalados no país, pelas centrais petroquímicas, ou importado por empresa autorizada pela ANP. Além do óleo diesel automotivo, há os grandes

consumidores desse produto, como usinas termelétricas. A partir de então, as distribuidoras revendem o diesel com a mistura do biodiesel para postos de abastecimento, diretamente para grandes consumidores, como fazendas, indústrias, empresas de transporte de passageiros e carga, ou para transportadores revendedores retalhistas (TRR's), responsáveis pela revenda a grandes consumidores que não possuem estrutura própria.

Na figura 3 é possível observar o esquemático do fluxo de gasolina e diesel com a adição dos biocombustíveis no mercado brasileiro:

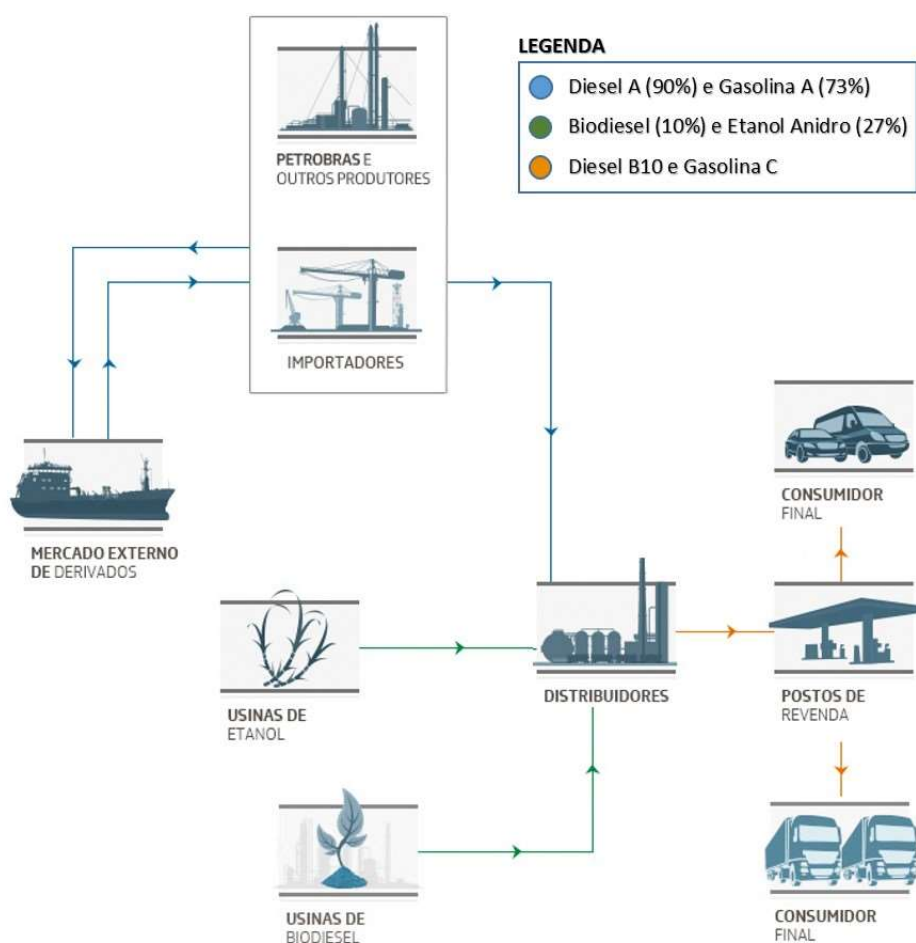


Figura 3 – Esquemático da cadeia de distribuição de gasolina e diesel no mercado

Fonte: Autor, adaptado de PETROBRAS (2018c)

2.2.1.

Nova política de preços da estatal brasileira

A partir de 2016, a empresa estatal do país implantou uma nova política de preços de gasolina e diesel comercializados em suas refinarias. Essa política baseou-se em três princípios: o primeiro é o Preço de Paridade Internacional (PPI),

que será extensivamente abordado neste estudo, que é o preço para que o combustível internacional seja vendido para as companhias distribuidoras brasileiras, isto é, está incluso todos os custos da internação, como frete de navios, custos de transporte terrestre e terminal marítimo, além de taxas portuárias; o segundo, além da prática do PPI, a estatal revisa periodicamente uma margem para remuneração dos riscos inerentes ao negócio, tais como, flutuação cambial e volatilidade nos preços das *commodities*, sobreestadias em portos e o próprio lucro, além de tributos; e o terceiro, nível de participação no mercado, ou seja, a depender do valor marginal e custo de oportunidade de outros produtos na indústria petrolífera, pode ser mais atrativo aumentar ou reduzir a oferta.

Importante ressaltar que o valor do combustível acompanha o mercado internacional, ficando os preços praticados nas refinarias sujeitos a variações, para cima ou para baixo. Como a lei brasileira garante liberdade de preços no mercado de petróleo e derivados, essas revisões feitas nas refinarias podem ou não refletir no preço final ao consumidor. Isso dependerá dos demais agentes da cadeia de distribuição, o quais ficarão responsáveis por repassar ou não essas flutuações para o mercado. A variação dos preços nas refinarias é importante para que possa existir uma competição justa e eficiente no mercado brasileiro, e com esta política a estatal propõe para a indústria de petróleo um mercado interno sustentável no longo prazo, trazendo equilíbrio tanto para fornecedores quanto para consumidores. Conforme citado na introdução deste estudo, esse preço competitivo que se busca na refinaria será formado com forte influência do PPI (Preço de Paridade Importação), com a soma das parcelas na equação (1):

$$\text{Preço Competitivo} = \text{PPI} + \text{Margem (com risco)} + \text{Tributos} \quad (1)$$

Com a nova política de preços, o mercado brasileiro passou a ser atraente para importação por competidores. Preços descolados do mercado internacional torna o negócio sem atratividade e difícil para se manter no médio e longo prazo. Assim, esta política torna o refino e a logística no Brasil economicamente sustentável, uma opção no mercado ao invés do atendimento compulsório. Isso ocorre em outros mercados no mundo, como os Estados Unidos, que, mesmo com um grande parque de refino, atua com importação de derivados e exportação de petróleo.

2.2.2. Composição de Preços de Venda

Com a política de preços e o mercado brasileiro de combustíveis aberto à livre concorrência, convém explicitar as parcelas do preço que será formado para o consumidor final para melhor análise dos mercados e dos custos da distribuidora na escolha entre a compra de um refinador nacional ou um agente importador de produtos. Para o presente estudo, serão considerados os preços médios que se referem aos produtos tipo "A", antes da incidência de biocombustíveis, porém mais adiante será analisado a incidência de tributos no mercado.

Logo, o preço final cobrado por estes produtos não depende exclusivamente do derivado de refino. Na figura 4 é possível visualizar como funciona a composição de preços, baseado nos preços médios do principal refinador (gasolina A e diesel A) e nos preços médios ao consumidor final (gasolina C e diesel C), com estudo realizado pela ANP em março de 2018 a partir de 13 capitais e regiões metropolitanas brasileiras.

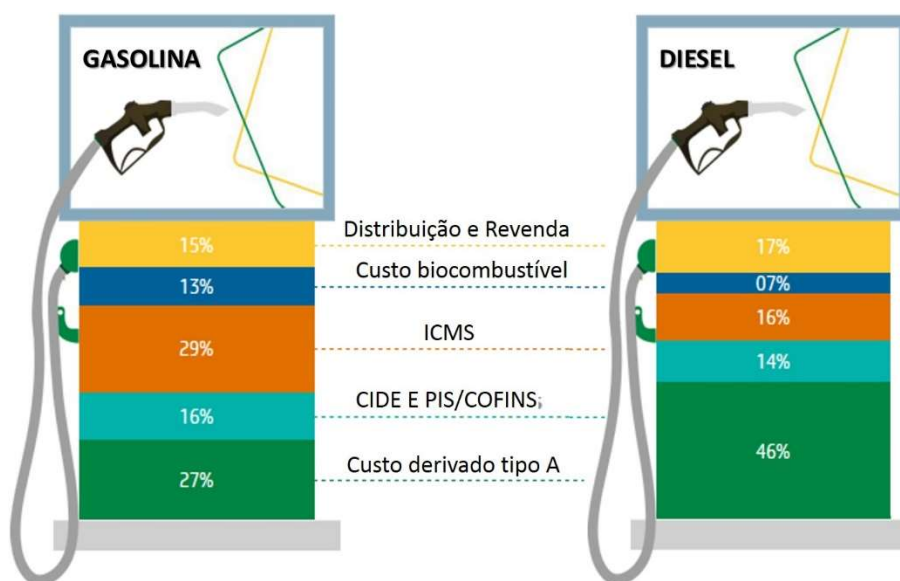


Figura 4 – Preço médio de Gasolina e Diesel ao consumidor final

Fonte: Adaptado pelo autor de PETROBRAS, 2018c

O preço que a empresa estatal exerce para os distribuidores ao comercializar a gasolina "A" e Diesel "A" pode ser representado pela soma de duas parcelas: valor do produto e custo dos tributos.

O ICMS inclui a parcela referente à Substituição Tributária, que é o valor recolhido pela Petrobras referente às operações de venda das distribuidoras para

os postos revendedores e destes para o consumidor final. O cálculo do ICMS é baseado em um preço médio ponderado ao consumidor final (PMPF) nos estados, atualizado quinzenalmente pelos seus governos. Isso significa que o preço nos postos de revenda sofre alteração sem que tenha havido alteração na parcela do preço que cabe à Petrobras, o que gera diferenças no recolhimento do imposto.

Pelo ANP (2018d), é possível descrever a estrutura de formação do preço do produto tipo “C” a partir da distribuidora até a venda no posto revendedor:

Pr_{ki} : Preço de faturamento do refinador i com ICMS

Fd_{kij} : Frete do derivado k ponderado dos refinadores i até a base de distribuição j

Mix_k : Percentual do biocombustível na mistura do produto k tipo “C”

Pb_{ki} : Preço de faturamento médio ponderado do produtor de biocombustível i sem ICMS (O ICMS incidente sobre o etanol anidro foi cobrado na etapa de produção da gasolina A na proporção da mistura para formação da gasolina C)

Fb_{kij} : Frete do biocombustível k médio ponderado das usinas i até a base de distribuição j

MD_{kj} : Margem da distribuidora unitária com produto k na base j

Fc_{kjl} : Frete médio unitário do produto k a base de distribuição j até o posto revendedor l

MR_{kl} : Margem da revenda unitária do produto k em l

Logo, chegaremos a (2), com o custo de aquisição da distribuidora CD_{kj} de um produto k para uma base j , (3) que representa ao preço de faturamento da distribuidora PF_{kl} do produto k ao posto revendedor l e (4) que atribui ao preço na bomba PR_{kl} do posto revendedor l com a margem de revenda, sequencialmente demonstrado através das equações abaixo:

$$CD_{kj} = (Pr_{ki} + Fd_{kij}).(1 - Mix_k) + (Pb_{ki} + Fb_{kij}).Mix_k \quad (2)$$

$$PF_{kl} = CD_{kj} + MD_{kj} + Fc_{kjl} \quad (3)$$

$$PR_{kl} = PF_{kl} + MR_{kl} \quad (4)$$

Ao entender que a formação do preço da gasolina e do diesel é composta por diversas parcelas, é possível perceber que qualquer alteração em pelo menos uma delas trará reflexos no preço que o consumidor destes combustíveis pagará na bomba. Como se vê, os refinadores nacionais e importadores possuem influência apenas sobre uma parcela na formação do preço final ao consumidor, que é representada pelo preço nas suas refinarias, sem incidência de tributos.

Dessa forma, é possível compreender que a produção de petróleo e seus custos de extração não definem o preço da gasolina e do diesel nas refinarias, pois trata-se de um mercado de *commodities*, atrelado à cotação internacional. Isso ocorre em qualquer país com abertura econômica, com um cenário onde existe importações e exportações e livre concorrência.

2.3. Infraestrutura Logística

Desde a origem até os centros consumidores, o fluxo de produtos envolve diferentes modais: aquaviário, dutoviário, ferroviário e rodoviário. A Tabela 1 mostra que houve pouca variação na matriz brasileira de transporte nos últimos 25 anos, onde predomina-se o modal rodoviário, responsável por 65% da movimentação de carga total no país, enquanto o modal dutoviário representa apenas 4% (EPL, 2015).

Tabela 1 – Matriz de transportes por modal e fonte de pesquisa

Modo\Fonte	GEIPOT-1993	GEIPOT-2000	PNLT-2007	ILOS-2008	ILOS-2013	CNT-2015	PNLI-2015
Rodoviário	62 %	61 %	61 %	65 %	67 %	61 %	65 %
Ferrovário	23 %	21 %	30 %	19 %	19 %	21 %	15 %
Hidroviário	11 %	14 %	4 %	2 %	2 %	14 %	5 %
Cabotagem			1 %	10 %	9 %		11 %
Dutoviário	4 %	4 %	4 %	4 %	3 %	4 %	4 %

Fonte: EPL (2015)

Entretanto, essa proporção não se mantém na indústria de petróleo e gás, no qual o transporte dutoviário é considerado estratégico em diversas etapas da cadeia logística e mais competitivo que outros modais, ocupando 25% da matriz

(EPL, 2015). Essa competitividade se estabelece à medida que existe a necessidade de transporte contínuo de grandes volumes de fluidos, de um ponto de oferta a um ponto de demanda, com os dutos entregando um alto grau de confiabilidade por não se sujeitarem a incertezas meteorológicas ou congestionamentos. Os grandes volumes transportados e os baixos custos variáveis característicos do modal compensam os altos investimentos necessários para a construção e implantação de uma malha de dutos, como equipamentos, mão de obra, desapropriações e direito de acesso às terras.

Os dutos são classificados em dois tipos: dutos de transporte, aqueles que movimentam produtos em meio ou percurso considerado de interesse geral, e dutos de transferência, em que a movimentação ocorre em meio ou percurso considerado de interesse específico e exclusivo do proprietário ou explorador das facilidades, e podem ser reclassificados pela ANP caso haja comprovado interesse de terceiros em sua utilização. Os dutos que movimentam derivados e outros combustíveis de forma sequencial são chamados de polidutos, enquanto os dutos que interligam pontos de atracação (píer, cais, monoboias e quadro de boias) a instalações são denominados genericamente de oleodutos portuários.

A relevância desse modal para o abastecimento nacional de combustíveis é expressiva em razão do descasamento entre os locais de produção e consumo no país. O poliduto Osbra, que conecta a Refinaria de Paulínia (Replan), no estado de São Paulo, ao Terminal Terrestre de Brasília, com 964 km de extensão, tem capacidade para transportar aproximadamente 900 mil m³ de combustíveis por mês, sendo fundamental para suprir o consumo desta região. ANP (2017) relata ainda que a maior extensão dutoviária está concentrada nas regiões Sul e Sudeste: 63% de dutos situados nestas regiões, onde se localiza também a maior parte das instalações de processamento. Segundo os dados do último levantamento da ANP, o Brasil possui uma malha dutoviária de 15.069 km de extensão, com 446 dutos que interligam 27 terminais terrestres, 53 terminais aquaviários e 9 centros coletores de álcool. Desta malha, 7.404 km são oleodutos, destinados à movimentação de petróleo, seus derivados e álcool, sendo que o conjunto de oleodutos de transporte tem aproximadamente 5.000 quilômetros operados pela Transpetro e 350 quilômetros de duto da empresa Logum. Os outros 7.665 km transportam gás natural e são denominados gasodutos.

Apesar da extensa área territorial, propício para utilização de dutos no transporte de petróleo e derivados, a malha dutoviária do Brasil ainda é pequena em comparação a outros países. Nos Estados Unidos, o modal dutoviário de petróleo possui 89 mil km de extensão e a de derivados, 153 mil km, conforme a figura 5. Em consequência dessa vasta extensão do sistema dutoviário americano, os EUA têm neste modal uma participação de 19% do total transportado em TKU no país, operando a um custo 36% menor que no Brasil (ILOS, 2013).

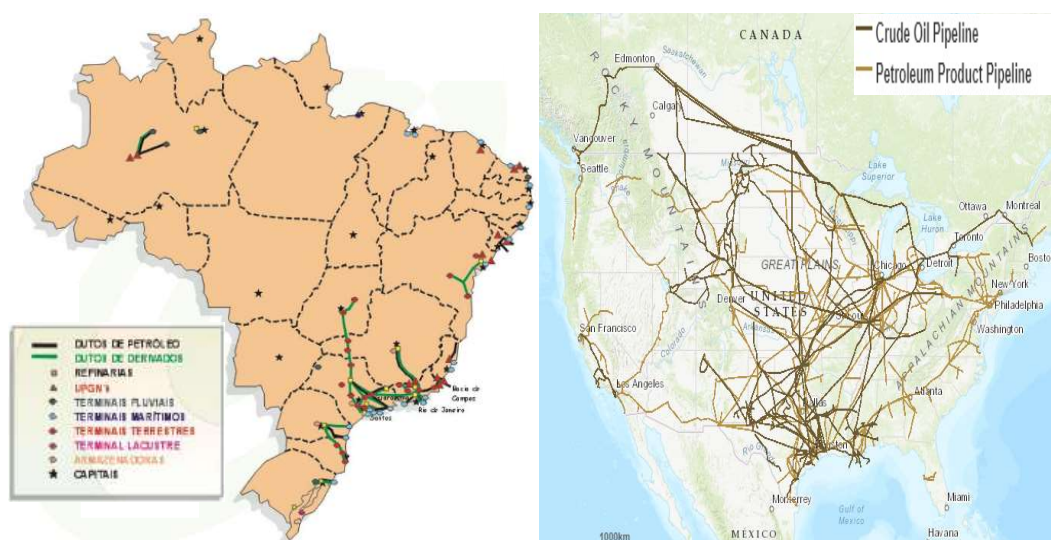


Figura 5 – Dutos de petróleo e derivados no Brasil e nos Estados Unidos

Fonte: ANP e EIA, 2018

Como consequência a matriz de transportes no Brasil, o custo logístico do país é mais elevado quando comparado a outros de dimensões continentais como os Estados Unidos. Além do modal dutoviário, os combustíveis são transferidos para terminais e bases de distribuição por meio de diversos modos de transportes, entre eles o aquaviário (cabotagem), ferroviário e rodoviário.

O transporte aquaviário é composto pelo transporte marítimo para importação e cabotagem de combustíveis e fluvial, com uso de hidrovias para atendimento a alguns centros consumidores da região Norte.

A tarifa do frete marítimo é composta basicamente do valor cobrado segundo o peso ou o volume da mercadoria (cubagem); Sobretaxa de combustível com a finalidade de cobrir os custos com combustível durante a viagem; Taxa de seguro (ad valorem rate), um percentual da mercadoria; Taxa portuária, para operação do navio; e Sobretaxa por congestionamento, nos portos onde há grande movimentação e demora para atracar o navio. Os contratos de afretamento

de navio mais utilizados são o VCP – Voyage Charter Party –, quando é contratado para uma viagem específica, e o TCP – Time Charter Party –, quando o mesmo é contratado de aluguel por um período de tempo. Neste segundo caso, ao invés de uma tarifa de frete calculada em função dos custos da viagem, paga-se pelo hire (diária), combustível e despesas portuárias.

ANTT (2018) informa que o transporte ferroviário conta com 12 concessões ferroviárias, aproximadamente 3.000 locomotivas e com quase 30 mil quilômetros de extensão distribuídas em dois principais tipos de bitolas, métrica com cerca de 23 mil km e larga (ou irlandesa), com aproximadamente 7 mil km. Sua utilização é limitada para abastecimento a alguns centros, tendo maior importância para Sul e Centro-Oeste; utilização na região Norte vem ganhando importância com a inauguração do tramo norte da Ferrovia Norte-Sul (Somos Plural, 2018a). Possui como principais vantagens o baixo custo quando comparado ao modal rodoviário, com baixa incidência de taxas e combustíveis mais baratos, grande capacidade de carga e menor risco de acidentes e maior segurança no transporte da carga. Sua desvantagem é o tempo de entrega mais prolongado e consequente aumento de produto em estoque, além das rotas fixas e inflexíveis, o que o torna dependente de outros modais de transporte para fazer com que as cargas cheguem aos seus destinos finais. Segundo levantamento SPNT (2018), 607 mil m³ de combustíveis como gasolina e diesel, ou aproximadamente 9% destes mercados, foram transportados por este modal.

Conforme representado na figura 6, o modal rodoviário é a principal opção atual para movimentação de cargas a partir de bases aos centros consumidores, devido à grande flexibilidade e carência de infraestrutura, sofrendo com a má qualidade das rodovias, das ferrovias, dos portos e dos aeroportos, o que torna mais complicada a movimentação das mercadorias (FLEURY, 2011). Este modal deveria ser focado no transporte de produtos com rotas curtas e pequenos volumes. No entanto, se observa no Brasil que essa modalidade é bastante utilizada em grandes volumes e distâncias no transporte de commodities como soja, derivados de petróleo e cimento (ARAÚJO et al., 2014). Seu alto custo e capacidade de carga reduzida fazem com que este modal seja ineficiente, onde exemplos de outros países mostram que o uso equilibrado de rodovias, ferrovias e hidrovias traz resultados positivos para a competitividade.

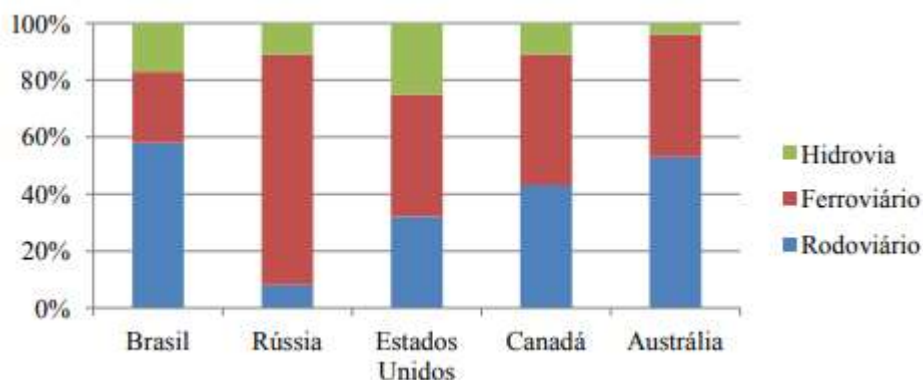


Figura 6 – Participação relativa de cada modal no transporte de carga por país.

Fonte: SPNT, 2012

Para cumprimento à Lei 9478/97, a empresa nacional de petróleo foi obrigada a constituir uma subsidiária com atribuições específicas de operar e construir seus dutos, bem como terminais marítimos e terrestres para movimentação de petróleo, seus derivados e gás natural. Com isso, foi criada a Petrobras Transporte S.A. (TRANSPETRO), que gere a cadeia de suprimento do *downstream* operando navios, dutos e terminais. A gestão da cadeia logística integra atividades referentes à diversas etapas da indústria, como escoamento da produção de petróleo, com operações de importação e exportação, até a entrega aos clientes da empresa (distribuidoras) no Brasil e no exterior.

A logística de petróleo e derivados conecta os sistemas de produção de petróleo às refinarias e aos mercados, buscando minimizar os custos envolvidos com transporte e armazenamento e otimizando o resultado das operações de refino de petróleo e comercialização de petróleo e derivados, no Brasil e exterior. Conforme TRANSPETRO (2018), os mais de 7.500 km de oleodutos estão ramificados por todo o País, possuem 10 milhões de m³ de capacidade interligados com 543 tanques instalados em 20 terminais terrestres e 27 terminais aquaviários da empresa, o que garante a movimentação de produtos entre regiões produtoras de petróleo, refinarias e bases de processamento e de distribuição. Além de dutos e terminais, a empresa conta ainda com 55 navios entre próprios e afretados (TRANSPETRO, 2018).

O Brasil possui enorme potencial para transporte por cabotagem de acordo com ANP (2017), com 7.367 km de costa e 80% de sua população habitando áreas até 200 km desta costa e com grande concentração de atividade industrial ao longo da mesma. Um fato relevante sobre a cabotagem de combustíveis é que a frota para movimentação marítima está concentrada na Transpetro (98% do total).

Assim, é desejável a entrada de novos agentes para atuação no setor e ampliação da diversidade da frota. Contudo, simultaneamente, deve haver investimento em instalações portuárias mais eficientes e em portos com maior calado.

Quanto aos recursos e infraestrutura disponível para importação, de acordo com Somos Plural (2018b), destacam-se a consolidação dos portos de Paranaguá e Santos como principais portos de entrada de diesel, e de Suape e São Luís para a importação de gasolina. Foi registrada uma elevação de 30% no número de licenças de importação anuídas pela ANP entre 2016 e 2017. Mesmo com o mercado relativamente estável em 2017, as importações atingiram níveis recordes, com um crescimento de 65% em relação a 2016, visto que durante grande parte do ano a janela de importações da gasolina e do diesel foram altamente favoráveis. (Somos Plural, 2018b).

Somos Plural (2018b) analisa que Santos e Itaqui representam hubs primários, e Paranaguá e Suape com papel secundário, conforme representados na figura 7. O Porto do Itaqui conta com uma localização geográfica favorável para importações da Europa e Golfo do México, e uma entrada estratégica, se conectando a ferrovias para as Regiões Centro-Oeste e Nordeste e hidrovias à região Norte. O Porto de Suape possui uma boa estrutura com a entrada da refinaria (RNEST), e oferece atuação potencial como hub secundário no atendimento aos estados do Nordeste diretamente com importações ou via cabotagem a partir de Itaqui. O Complexo Portuário de Santos, o maior do Brasil e próximo aos maiores mercados consumidores, conta com acessos ferroviários e dutoviários a outros estados do Centro-Oeste e Sudeste. Por fim, o Porto de Paranaguá é um hub secundário para atendimento ao Sul, com conexão ferroviária entre os três estados da região, além de corredores estratégicos de escoamento da safra do centro oeste.

Por outro lado, o MME (2017) reporta que distribuidores, importadores e operadores logísticos afirmaram que a infraestrutura portuária existente é insuficiente, sendo um dos pontos críticos a disponibilidade de píeres (pontos de atracação para os navios). Além disso, restrições em dutos para transporte, tanques para armazenagem, calado para navios de maior porte e braços para carregamento rodoviário, desestimulam a atividade de importação, já que há saturação da infraestrutura atual que, em grande medida, não dispõe de folgas para serem utilizadas por outros agentes. A atual estrutura portuária brasileira é insuficiente para atender a todos os interessados em realizar importações, ocasionando uma baixa concorrência entre os importadores que revendem derivados às distribuidoras. Contudo, deve-se reconhecer que, com a nova política

de preços de gasolina e óleo diesel praticados pela Petrobras, mais alinhada com o mercado internacional e com avaliação e reajustes mensais, a infraestrutura portuária está passando por ajustes para oferecer alternativas e melhores oportunidades para importação.

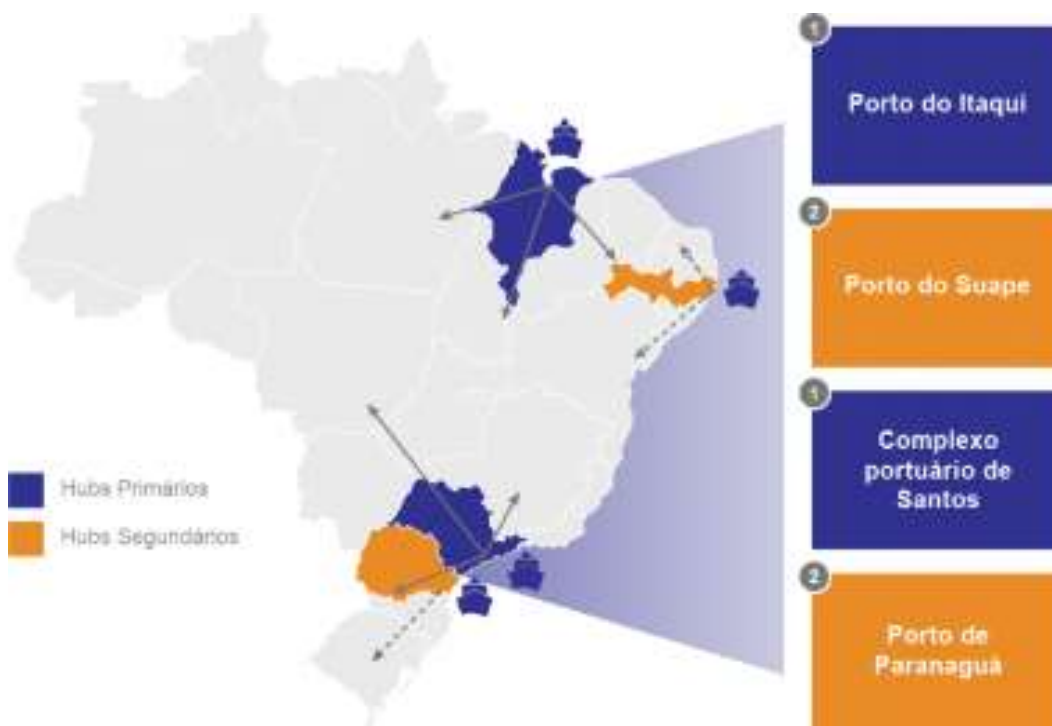


Figura 7 – Hubs para importação de combustíveis

Fonte: SOMOS PLURAL (2018b)

De acordo com a definição da ANP (2018e), Base de Distribuição de Combustíveis “é a instalação com facilidades necessárias ao recebimento de derivados de petróleo, ao armazenamento, mistura, embalagem e distribuição, em uma dada área do mercado, de derivados de petróleo”.

As Bases de Distribuição se dividem em dois grupos, Bases Primárias e Bases Secundárias. Bases Primárias (ou Principais) possuem como característica o recebimento dos produtos diretamente do produtor ou importador, sem passar por nenhuma outra base. Este envio é feito por modal dutoviário, nos casos das bases interligadas a refinarias ou terminais, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, e por navegação de cabotagem, no caso de bases no litoral que recebem produto diretamente do navio, predominantemente no litoral das regiões brasileiras do Norte e Nordeste. Bases Secundárias (ou Interior) são caracterizadas por receberem o produto de outra base, seja primária ou secundária. Essa transferência é predominantemente pelo modal rodoviário,

podendo ainda ocorrer pelos modais ferroviário ou fluvial. Na figura 9 é possível observar os principais modais que interligam as bases do país.

Levantamento da ANP (2018e) indica que atualmente o Brasil conta com 293 bases de distribuição, espalhadas em 130 cidades de todos os 27 estados da federação, com uma capacidade de armazenagem de 2,7 milhões de m³ para todos os derivados de petróleo, exceto GLP, além de 175 mil m³ para Biodiesel e 777 mil m³ para Etanol. As bases estão distribuídas da seguinte forma: 90 no Sudeste; 63 no Sul; 51 no Centro-Oeste; 44 no Nordeste e 45 no Norte. Por sua vez, as unidades da Federação com maior número de bases são São Paulo (54), Paraná (33), Mato Grosso (27), Minas Gerais e Bahia (20). O grande desafio logístico que as Distribuidoras enfrentam atualmente é o de disponibilizar seus produtos nos pontos mais remotos do Brasil, com qualidade e preços competitivos.



Figura 8 – Mapa da infraestrutura e bases de distribuição

Fonte: LEGGIO, 2017

2.4. Problemas de rede

Na sua raiz, os modelos de rede usam uma abordagem geral, podendo atacar diversos tipos de problemas, tais como sistemas elétricos, de comunicação ou sistemas de transportes, foco do estudo em questão. Uma rede de transportes é um grafo no qual se analisam fluxos de veículos, produtos ou pessoas sendo transferidos.

De acordo com Szwarcfter (1984), “um grafo $G(V, E)$ é uma estrutura matemática constituída de um conjunto V , finito e não vazio de n vértices, e um conjunto E de m arestas, que são pares não ordenados de elementos de V ”. Dessa forma, a cardinalidade de V é igual a n e a de E é igual m : x . Em um grafo, a aresta é formada por dois vértices que são suas extremidades.

Dois importantes problemas de fluxos em redes de transporte, que fazem parte de uma Teoria clássica de redes, são conhecidos como Fluxo Máximo e Fluxo de Custo Mínimo (uso do simplex na rede). No primeiro caso (Fluxo Máximo), o problema a ser resolvido consiste em descobrir qual a máxima quantidade de fluxo que pode transitar em determinado arco, enquanto que o problema de fluxo de custo mínimo consiste em enviar o fluxo de oferta para os pontos de demanda com um custo total mínimo. O problema de fluxo de custo mínimo ocorre em redes de transporte, ou de logística, para a distribuição dos produtos.

Cormen (2002) define fluxo em redes como a transferência de algum tipo de recurso quantificável de um local (nó de origem ou fonte) para outro (nó de destino ou sumidouro) através da rede, sem violar quaisquer restrições de capacidade. Considera-se que há conservação de fluxo, ou seja, que o fluxo que parte da origem chega totalmente ao destino não havendo, portanto, perdas no caminho. A rede residual G_f consiste em arestas que podem admitir mais fluxo, e a equação (5) define a capacidade residual c_f como a quantidade de fluxo f que pode passar por (u, v) sem exceder a capacidade c , onde u e v são dois vértices quaisquer da rede G :

$$c_f(u, v) = c(u, v) - f(u, v) \quad (5)$$

Para resolver o problema do fluxo máximo foram propostos alguns algoritmos, entre eles: o Método de Ford e Fulkerson (1958), o primeiro algoritmo proposto, e posteriormente em 1962 o algoritmo de etiquetagem; Algoritmo de Edmonds e Karp (1972), utiliza-se do Ford-Fulkerson com busca em profundidade para definir o caminho de menor ordem; O método de push-relabel, mais rápido que os anteriores, foi desenvolvido pelos autores Goldberg e Tarjan (1988), que nesta publicação anos depois propuseram um novo método conhecido como método do pré-fluxo.

Já Botelho (2001) explica o problema do fluxo máximo admitindo-se que cada arco tenha uma limitação de capacidade, ou seja, uma quantidade máxima a ser transferida. Assim, um método de solução deste problema foi desenvolvido por Ford e Fulkerson utilizando uma “técnica de rotulação”. Esta técnica é a base de diversos outros algoritmos para solução de outros problemas que na verdade são variações do problema original, como existência também de uma limitação inferior da capacidade de cada arco, fluxo máximo entre cada par de nós, e existência de um determinado número de fontes e consumidores com diversos produtos sendo transportados. Essas diversas variações podem ser ajustadas de forma a se transformarem no modelo básico de máximo fluxo da fonte ao consumidor, permitindo seu estudo pela formulação básica de Ford e Fulkerson.

Ahuja et. al (1993) define o problema de fluxo de custo mínimo em redes se aplica a uma rede $G=(N,A)$, aonde cada nó i se associa um número b_i , que representa a oferta (fonte) ou demanda (sumidouro) de um determinado item. Os demais nós são denominados nós intermediários ou de transbordo. Cada arco se associa a um custo unitário c_{ij} de trafegá-lo, com uma quantidade de fluxo x_{ij} . Caso a oferta seja maior do que a demanda, se agrega um nó artificial de demanda $(m+1)$ com fluxo igual a $-b_i$ e arcos com custo zero.

É aplicado para encontrar a melhor rota de entrega de um polo de venda até uma base de distribuição, onde a rede de transporte possui capacidade e custo associados. É um problema de otimização dos mais fundamentais, pois muitos outros problemas podem ser assim resolvidos a partir dele com o algoritmo simplex. Uma versão específica do simplex, denominado Método Simplex de Redes, pode ser utilizado de maneira mais eficiente nestes problemas (Ahuja et. al, 1993). Assim, o problema de fluxo foi definido como:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{k=1}^m x_{ki} = 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$x_{ij} \geq l_{ij} \quad (8)$$

$$x_{ij} \leq u_{ij} \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i, j = 1, \dots, m \quad (10)$$

A restrição (7) indica a conservação de fluxo nos nós da rede, com a primeira parcela indicando o total de fluxo que sai do nó i e a segunda parcela o total de fluxo que chega no nó i . Nós de oferta (fonte) possuem somente fluxo de saída, enquanto os nós de demanda (sumidouro) tem apenas fluxos de entrada. Os nós intermediários terão fluxo de entrada igual ao fluxo de saída. As condições (8) e (9) atendem aos limites superiores e inferiores de fluxo em cada arco, enquanto a (10) só existirá caso não exista um limite inferior.

Segundo Botelho (2001), o modelo básico de distribuição é o modelo de mínimo custo. Este modelo considera que uma determinada demanda deverá ser obrigatoriamente atendida, ao menor custo. Os custos unitários são fixos, não variando com a quantidade. O autor cita ainda duas variações deste modelo, um chamado maximização do lucro, diferindo do anterior pois a demanda passa a ser função do preço, onde o atendimento à demanda deixa de ser obrigatório e o sistema busca o maior lucro, e outro de concorrência perfeita, onde tanto a demanda como a produção variam com o preço.

2.4.1. Caminho mínimo

Os problemas de caminho mínimo compreendem a determinação do caminho ou rota de menor tamanho (distância, tempo ou um custo qualquer) entre dois nós de uma rede (Szwarcfiter, 1984). O caminho ótimo é aquele que apresenta uma sequência de arcos conectando o nó de origem e o nó de destino de tal forma que a soma dos valores dos arcos no caminho é minimizada. Se o caminho é mínimo entre um par de nós então qualquer caminho que é parte deste caminho também é mínimo. Um problema de caminho mínimo possui diferentes formulações:

- de um nó para outro nó;
- de um nó para todos os outros nós da rede;

- entre todos os nós da rede; e
- K caminhos mínimos entre dois nós.

Os modelos de caminhos mínimos resolvem o problema mais fundamental dentre os problemas de rede, com grande aplicabilidade e utilização em sub-rotinas de algoritmos mais complexos. Existem basicamente dois tipos de estrutura de algoritmos para caminhos mínimos, árvores e matrizes. Nos algoritmos tipo em árvore, determinam-se os caminhos mínimos de um nó para todos os outros nós da rede ou simplesmente entre um par de nós. Assim, neste algoritmo, a solução é obtida construindo-se passo a passo uma árvore de caminhos mínimos. Todavia, para a finalidade de se obter os caminhos mínimos de todos os nós para todos os demais nós da rede, utilizam-se os algoritmos com estrutura de matriz para que os resultados sejam obtidos simultaneamente. Alguns algoritmos mais famosos serão citados a seguir.

O Algoritmo DJKSTRA (1956) é considerado bastante eficiente e a sua utilização só é possível quando o valor (tempo, distancia ou outros) atribuído a cada arco da rede é positivo. Trata-se de um algoritmo iterativo que se utiliza de uma fórmula de recorrência e considera que um nó é “fechado” quando se encontra o caminho mínimo da origem até este nó e aqueles nós cujos caminhos mínimos ainda não foram encontrados são considerados ativos ou “abertos”.

Bellman-Ford trata-se de uma generalização do algoritmo de Dijkstra, permitindo a utilização de arcos com valor negativo, a partir de uma pequena modificação. Observa-se assim a existência de ciclos negativos, pois neste caso o algoritmo não chega a uma solução.

Floyd-Warshall (1962) trata-se de um algoritmo que utiliza matrizes para determinar os caminhos mínimos entre todos os pares de nós da rede. No algoritmo de Floyd são feitas n iterações que corresponde ao número de nós da rede. A cada iteração corresponde uma matriz $n \times n$ cujos valores são modificados utilizando também uma fórmula de recorrência. Assim trabalha-se com K matrizes de $n \times n$ ($k=1, \dots, n$). Por outro lado, para um n grande em uma rede de grande porte, o tamanho da matriz torna-se proibitivo, o que favorece o uso do algoritmo Dijkstra por n vezes.

2.4.2. O algoritmo Out-of-Kilter

O algoritmo mais conhecido para resolver o problema do mínimo custo foi desenvolvido por Ford e Fulkerson (1962) e ficou conhecido como o algoritmo out-of-kilter. Teixeira e Da Cunha (2002) relatam que tal algoritmo surgiu do interesse de avaliar seu desempenho, podendo ser utilizado para resolver diferentes tipos de problemas de fluxos de rede, tais como problema do transporte, do transbordo, de designação, de caminho mínimo e de fluxo máximo.

Botelho (2001) cita que este algoritmo compreende três fases: a inicial, a primal e a dual. Um algoritmo será chamado de primal quando inicia estabelecendo um determinado fluxo, a um custo conhecido, e vai alterando os padrões de fluxo, com redução de custos, até chegar ao custo mínimo. O algoritmo será chamado de dual quando, ao invés disso, inicia estabelecendo um padrão de fluxo que transporte, a um mínimo custo, uma determinada quantidade, menor que a desejada (esta quantidade pode ser zero); vai aumentando a quantidade, mantendo o custo mínimo, até que a quantidade total seja alcançada. Outros algoritmos, conceitualmente mais simples que o out-of-kilter, foram desenvolvidos por Klein e Busacker e Gowen para resolver o mesmo problema.

Conforme Daskin (1995), problemas de fluxo em redes, como problemas de transporte e de caminho mínimo, devem ser estruturados como problemas de fluxo de circulação de custo mínimo, e podem ser solucionados através do uso de algoritmo de fluxo *out-of-kilter*. Portanto, a função objetivo do algoritmo é a minimização do custo total do fluxo nos arcos, e as restrições devem determinar que cada fluxo constitua um fluxo de circulação, além do limite mínimo e máximo de fluxo em cada arco.

Como exemplo da aplicação do algoritmo na solução de problemas, Teixeira e Da Cunha (2002) descrevem que ao formular um problema de transporte utilizando o algoritmo *out-of-kilter*, deve-se adicionar um novo nó fornecedor e um novo nó receptor com capacidade ilimitada, exemplificado na figura 10. Este novo nó fornecedor deve estar conectado a cada nó fornecedor já existente, e os arcos devem ter limite inferior igual a zero, custo zero e limite superior igual à oferta do respectivo nó fornecedor. Da mesma forma, cada nó de demanda existente deve estar conectado ao novo nó de demanda com capacidade ilimitada, e os arcos devem ter limite inferior igual à demanda no nó, custo zero e limite máximo ilimitado. Cada nó fornecedor também é conectado a cada nó receptor, e os arcos entre eles tem limite inferior igual a zero, limite

superior infinito e custo equivalente ao custo unitário de transporte entre os nós conectados. Finalmente, o nó fornecedor s e o nó receptor t são conectados entre si através de um arco de retorno, com capacidade maior ou igual a zero e ilimitada e custo zero.

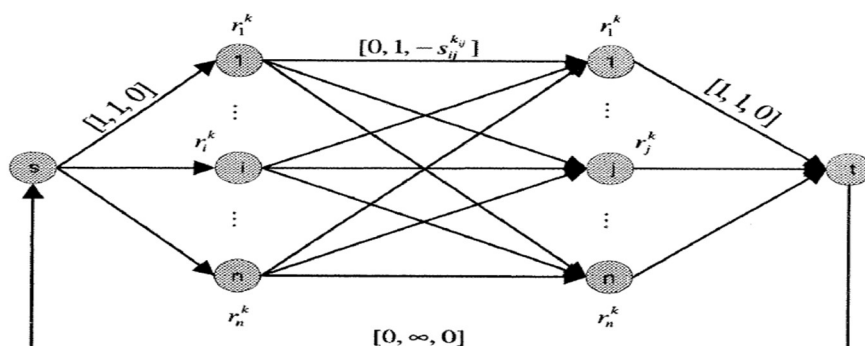


Figura 9 – Rede criada a partir das possíveis combinações de rotas

Fonte: Teixeira e Da Cunha (2002)

2.5. Estrutura e modelagem da rede

Câmara (1995) define redes como estruturas lineares conectadas que armazenam informações sobre os recursos que fluem entre localizações geográficas distintas. Cada nó de cada arco tem características próprias, armazenadas no banco de dados.

A maioria dos estudos da cadeia de suprimento de petróleo no *downstream* tratou de conceber a rede e determinar fluxo (An et al., 2011). Os programas matemáticos aplicam-se à distribuição de produtos, otimização do transporte produtos da refinaria para o mercado, e às vezes considerando armazenamento e mistura (Fiorencio et al., 2014). De acordo com Fiorencio et. al (2014), o uso de um sistema de apoio à decisão, que engloba a complexidade da cadeia de suprimento de petróleo para apoiar as decisões de investimento, torna-se crucial, e propõem um modelo de Programação Linear Inteira Mista – PLIM, ou ainda, em inglês, *MILP* – que permite avaliar diferentes alternativas de investimento em redes logísticas, como a expansão da capacidade de transporte, manuseio e / ou armazenamento, composto por uma estrutura de banco de dados, ambiente de business intelligence e ferramenta de visualização gráfica.

Kazemi et. al (2015) consideraram uma estrutura de rede de distribuição integrada, com centro de distribuição e alocação de multiprodutos e configuração multimodais, abordando o problema no contexto de planejamento de transporte

na distribuição de produtos derivados de petróleo em uma área geográfica grande, porém específica. A rede que foi definida para a cadeia de abastecimento engloba refinarias, centros de distribuição (CDs) e transporte para satisfazer a demanda por produtos petrolíferos. Com a finalidade de distribuir os combustíveis das refinarias para os mercados com a otimização do custo, seleciona-se localização geográfica, o número e a capacidade dos CDs para atender aos nós de demanda, e o modo de transporte, minimizando os custos fixos totais e custos de distribuição associados.

Pompermayer (2007) relata que modelos de equilíbrio de mercado consideram mercados totalmente competitivos, onde as empresas possuem estruturas de custo parecidas, e ainda são pequenas quando comparadas ao conjunto do mercado. Entretanto, estas suposições são, às vezes, irrealistas, especialmente se o conjunto de firmas suprindo um determinado mercado é composto por produtores, com grandes plantas de produção, e por *traders*, que compram produtos no mercado global para vendê-los localmente. Mercados de produtos derivados de petróleo, são exemplos de mercados não totalmente competitivos. De acordo com Tominac et al. (2017) existem poucos trabalhos em que a produção da refinaria e o planejamento da distribuição foram elaborados em um contexto competitivo onde exista a presença de refinadores competindo entre si para um mercado limitado. O compartilhamento das decisões é levado em consideração no planejamento em nível estratégico ou tático.

2.5.1.

Construções de modelo a partir do SIG

As definições de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, Câmara (1997) cita que é possível indicar duas importantes características de SIGs. Primeiro, tais sistemas possibilitam a integração, numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas. Segundo, SIGs oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados, através de algoritmos de manipulação e análise. De uma forma abrangente, é possível considerar que um SIG tem os seguintes componentes: interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; e armazenamento e

recuperação de dados. A figura 11 indica o relacionamento entre eles; cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, os implementa de forma distinta, mas todos estão usualmente presentes.

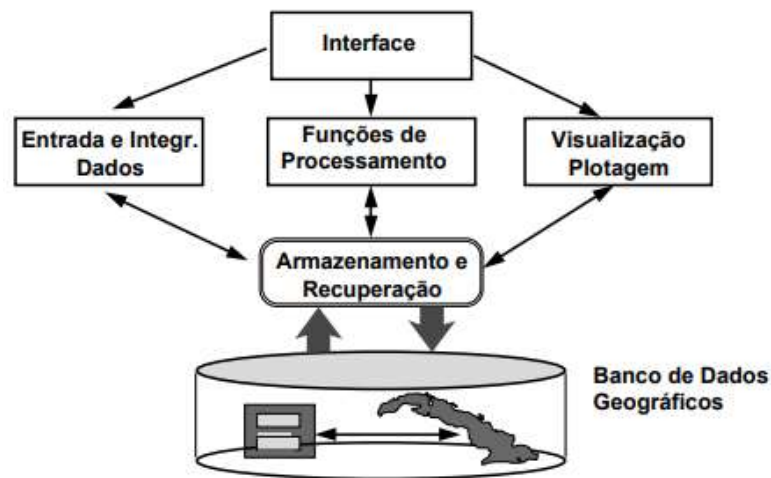


Figura 10 – Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica

Fonte: Câmara (1997)

O SIG é atualmente o sistema mais adequado para representação e processamento de informações geográficas com finalidade de suportar a construção de modelos de rede e análises quantitativas, com grande sucesso na estrutura de suporte à decisão e análise espacial. O SIG aplicado a logística é definido como o desenvolvimento e implantação de sistemas de programação e controle dos serviços de transporte, usando tecnologias modernas de otimização e georreferenciamento. Diminuindo custos com a otimização de rotas, os sistemas oferecidos permitem agilizar e otimizar o uso da frota ou de recursos existentes. Fitz (2008) conceitua SIG como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido, com a finalidade de que gestores de organizações possam tomar as melhores decisões.

Existem vários modelos de dados aplicáveis em SIGs (Sistemas de Informação Geográfica). Por exemplo, o SIG pode funcionar como uma base de dados com informação geográfica (dados alfanuméricos) que se encontra associada por um identificador comum aos objetos gráficos de um mapa digital. Assim, o SIG é capaz de separar a informação em diferentes camadas temáticas e armazena-as independentemente, permitindo trabalhar com elas de modo rápido e simples, oferecendo a possibilidade de relacionar a informação existente através da posição e topologia dos objetos, auxiliando na interface visual com a

sobreposição de mapas. Para Santos et. al (2010), entre as questões em que um SIG pode ter um papel relevante, estão a localização de novas instalações, condições restritivas, tendências (comparação temporais), rotas, modelos e coberturas jornalísticas (online).

Para Lorena et al. (2001), uma das ferramentas que auxiliam na resolução dos problemas de transporte são os SIGs, pela sua grande capacidade em armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos. Essa capacidade aumenta consideravelmente quando se faz seu uso combinado com técnicas de Pesquisa Operacional. Mapa e Lima (2012) apresentaram o uso combinado de SIG-T (sistemas de informações geográficas para transportes) e PLIM desenvolvido externo ao SIG para dois tipos de problemas e comparou a qualidade das soluções. Os problemas de localização de instalações apresentaram resultados idênticos, enquanto os problemas de transporte apresentaram resultados significativamente diferentes.

Mapa (2012) avaliou a qualidade das soluções para o problema de localização-alocação de instalações geradas por um SIG-T (Sistema de Informação Geográfica para Transportes), obtidas após a utilização combinada das rotinas “Localização de Facilidades” e “Problema do Transporte”, quando comparadas com as soluções ótimas obtidas a partir de modelo matemático exato baseado em PLIM, desenvolvido externamente ao SIG. Os resultados mostraram que, quando se considera a capacidade das instalações, o modelo otimizador PLIM chegou a apresentar, em um dos cenários simulados, resultados até 37% melhores do que o SIG, além de propor locais diferentes para abertura de novas instalações. Quando não se considera a capacidade, o modelo SIG se mostrou tão eficiente quanto o modelo exato PLIM, chegando exatamente às mesmas soluções. Logo o modelo usado no SIG é não capacitado.

Câmara (1995) observa que, como as características dos elementos da rede são armazenadas como atributos em bancos de dados, é necessário dispor de meios para visualizar esta informação. Para tanto, os SIGs devem dispor de linguagem de apresentação, que permita controlar a simbologia associada aos componentes da rede, que varia conforme a escala de plotagem. No caso das aplicações de redes, a ligação com banco de dados é fundamental. Toda a informação descritiva está guardada no banco de dados, pois os dados espaciais têm formatos relativamente simples. O pacote mínimo disponível nos sistemas comerciais consiste tipicamente de cálculo de caminho ótimo e crítico. Este pacote básico é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada

usuário tem necessidades completamente distintas. Isto impõe uma característica básica para esta aplicação: os sistemas devem ser versáteis e maleáveis.

2.5.2. Modelo para distribuição de combustíveis

Segundo Botelho (2001), os problemas de distribuição de derivados de petróleo podem ser estudados pela teoria de fluxos em redes, sendo que os nós do sistema serão os produtores (refinarias), os terminais e bases de distribuição e os consumidores finais, representados pelos municípios (mercados). Os links ou arcos de transferência serão as dutovias, as rotas marítimas, as hidrovias, as ferrovias, as rodovias e os arcos rodoviários. Para efeito deste trabalho que será detalhado mais adiante, arcos rodoviário é um link entre duas bases quando não há entre elas disponibilidade de ferrovias ou dutovias e se diferencia do transporte rodoviário comum pois opera maiores volumes e utiliza carretas de maior porte. Deve-se considerar que as rodovias que interligam cada mercado consumidor à sua base representam um caminho mínimo, composto de uma seqüência de trechos rodoviários. O modelo a ser utilizado no estudo é uma combinação de modelos, pois envolve mais de uma fonte (refinarias), e mais de um consumidor (municípios); envolve arcos com limitações máximas e mínimas; transporta diversos produtos; e as quantidades que entram e saem de cada nó são constantes. A rede de distribuição dos derivados é demonstrada na figura 12:

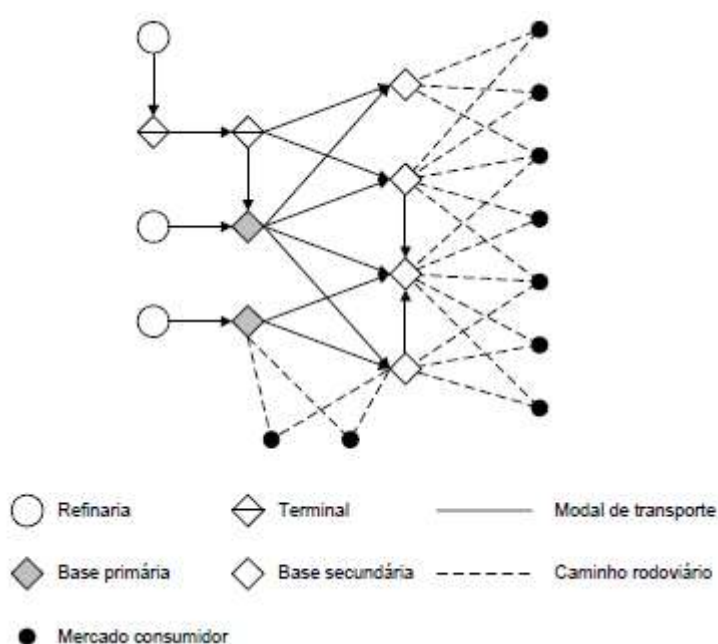


Figura 11 – Rede de distribuição de derivados de petróleo

Fonte: Botelho (2001)

Numa primeira etapa é considerado que há um fluxo a ser atendido, buscando-se o menor custo (modelo de fluxo de mínimo custo). Em etapas posteriores, são consideradas curvas de consumo com demanda variando em função do custo. O escopo do trabalho consiste em estudar o sistema desde as refinarias, local de venda dos derivados pela empresa estatal, até os consumidores finais ou mercados. A rede é direcionada, sendo o fluxo orientado das refinarias para os consumidores finais, passando pelos terminais, também conhecidos como bases de distribuição.

Kasemi et. al (2015) propôs um modelo de PLIM para a rede de cadeia de suprimento de petróleo a fim de determinar localizações, capacidades, modos de transporte e volumes de transferência do centro de distribuição. O modelo proposto minimiza todo o custo da cadeia de suprimento de petróleo. O modelo inclui refinarias, centros de distribuição, nós de demanda e modos de transporte (oleodutos, hidroviários, ferroviários e rodoviários) na cadeia com intuito de analisar a importância do uso de modais diferentes no desenho da cadeia de suprimentos e nas medidas de desempenho. Foi realizado um estudo de caso considerando dados reais da indústria de petróleo dos EUA e redes de transporte dentro do Sistema de Informação Geográfica (SIG). Uma análise de cenário também é realizada para demonstrar o impacto dos parâmetros-chave nas decisões da cadeia e no custo total.

Kazemi et. al (2015) citam que foi encontrado um número limitado de estudos na literatura sobre a integração de abordagens baseadas em SIG na concepção da cadeia de fornecimento de combustíveis, considerando decisões detalhadas sobre níveis de planejamento, e, em seu estudo, foram capazes de aplicar o SIG às redes terrestres, redes hidroviárias, ferrovias e gasodutos baseado em um fator de impedância (distância) e algoritmos de caminho mais curto. Dessa forma, utilizou-se o SIG para selecionar potenciais locais do centro de distribuição e em seguida o modelo de otimização complementou a solução do problema de localização de instalação através da atribuição de volumes de transferência às redes de transporte.

2.6.

Modelos de otimização

Uma vez que a indústria petrolífera é caracterizada como altamente intensiva em capital, ao longo do tempo se investiu esforços para desenvolver ferramentas de programação matemática a fim de apoiar a tomada de decisões no processo de planejamento (Oliveira et al., 2014).

Um modelo é a representação abstrata e simplificada do sistema (SEILA, 1995). Modelos podem ser determinísticos ou estocásticos. Os modelos são determinísticos quando as variáveis de entrada que representam o sistema assumem valores fixos e conhecidos, dessa forma, os resultados desse modelo serão sempre os mesmos independentemente da quantidade de replicações que forem feitas. O modelo estocástico permite que o conjunto de variáveis de entrada possam assumir diversos valores dentro de um intervalo com uma distribuição de probabilidades, podendo ser definido pelo usuário. Os resultados gerados pelos modelos estocásticos são diferentes a cada replicação, em razão da natureza aleatória das variáveis que dão entrada no modelo, resumidos na tabela 2 (Pereira, 2000).

Tabela 2 – Principais conceitos de simulação computacional

SISTEMA	MODELO		SIMULAÇÃO
DISCRETO: variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	DETERMINÍSTICO: variáveis assumem valores determinados.	ESTÁTICO: estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	TERMINANTE: há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.
CONTÍNUO: variáveis mudam constantemente com o tempo.	ESTOCÁSTICO: variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	DINÂMICO: representa o sistema a qualquer tempo.	NÃO TERMINANTE: há interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo prolongar-se indefinidamente.

Fonte: Pereira (2000)

Segundo Chung (2004), a modelagem e simulação é o processo de representar e testar um sistema físico através de experimento com modelo matemático. Um sistema é definido através de um conjunto de regiões ou processos que interagem com a inserção de dados de entrada e oferecem resultados para alguma finalidade. São ingredientes de um modelo as decisões, com a definição das variáveis de decisão para identificar as possíveis soluções, os objetivos, definindo critérios de avaliação que são capazes de mostrar a melhor decisão, e as restrições, que identificam as condicionantes e limitação dos recursos disponíveis. A figura 13 representa o passo a passo para a construção do modelo e implementação a partir do problema real:

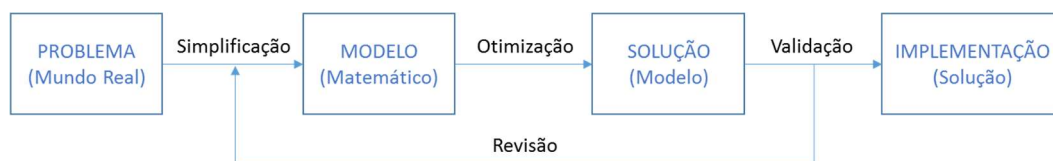


Figura 12 – Representação do modelo de otimização

Um problema de otimização, segundo Pompermayer (2002), se caracteriza pela função objetivo que deve ser maximizada ou minimizada, que podem incluir expressões representando lucro, custos, market share, carteira de riscos, etc. Restrições podem representar limites de orçamento ou de matéria prima, restrições de não negatividade das variáveis, equações de conservação, etc.

Sear (1993) foi um dos pioneiros na abordagem da gestão e logística da cadeia de suprimentos de petróleo e gás, desenvolvendo um modelo de programação linear que compreende a compra de petróleo bruto, transporte para os depósitos e clientes considerando diferentes custos em cada etapa. Sobre a aplicabilidade e a importância dos modelos de programação matemática para a otimização dos processos de refino, Hamacher et al (2012, p. 1833) destacaram que:

“Os modelos de programação matemática voltados para o processo de refino apoiam decisões de planejamento e programação da produção e têm como objetivo apoiar a tomada de decisão sobre a carga para a alimentação de cada unidade de processo, composições de blending e modo operacional da refinaria.”

Rejowski e Pinto (2002) abordam o modelo de otimização em PLIM baseado em formulação de polígono convexo para movimentação de poliduto conectado a vários depósitos e os mercados consumidores correspondentes que recebem grandes quantidades de gasolina, diesel, GLP e combustível de aviação. Oliveira et al. (2016) acrescentam incerteza de fornecimento através da combinação de modelo de PLIM estocástico de duas fases com geração de cenários. Shobrys e White (2000) e Katzer et al. (2000) mencionam a importância dos modelos PNLIM para a programação de operações em refinarias devido as não-linearidades inerentes aos processos químicos e a possibilidade de representar funções descontínuas de decisões operacionais.

Lima et al (2017) desenvolvem uma programação estocástica de múltiplos estágios para resolver de maneira otimizada o problema de distribuição de derivados. O modelo estocástico se baseia em uma análise de séries temporais, bem como em uma análise de árvore de cenário, para efetivamente negociar e representar a incerteza no preço e na demanda do petróleo. O modelo ARIMA é

explorado para estudar as séries temporais dos parâmetros aleatórios com o objetivo de fornecer seus resultados futuros, que são então usados na abordagem baseada em cenário. Como a metodologia projetada leva a um problema de otimização de grande escala, uma abordagem de redução de cenário é empregada para comprimir o tamanho do problema e melhorar seu desempenho computacional. Um exemplo do mundo real motiva o estudo de caso, baseado na cadeia de abastecimento de petróleo em Portugal, utilizada para validar a aplicabilidade do modelo estocástico. Os resultados indicam explicitamente o desempenho da abordagem projetada no enfrentamento de problemas grandes e complexos, onde a incerteza está presente.

Aires et al. (2004) abordam um modelo simplificado da cadeia de abastecimento da empresa estatal petrolífera brasileira, integrada verticalmente, que possui amplo portfólio de atividades desde a exploração e produção de petróleo até o refino e distribuição dos combustíveis. A primeira etapa do modelo é feito através do PLANAB, um sistema desenvolvido em AIMMS baseado em modelo de programação linear multiperíodo, executado para um horizonte de curto (até 18 meses) ou médio prazo (até 5 anos). Assim, muitas empresas de petróleo desenvolveram sua própria solução caseira, de forma a agilizar a estrutura de valor em termos de preço marginal e identificar seu custo de oportunidade. Para Denardin (2014) o custo de oportunidade é aquele no qual os agentes econômicos, que possuem recursos finitos disponíveis, deparam-se frequentemente com diversas alternativas para investimentos, com diferentes características quanto ao retorno financeiro, prazo e risco. Uma vez que se opta por uma das alternativas disponíveis, perde-se os ganhos proporcionados pelas demais, logo a melhor escolha fica restrita àquela que maximiza a satisfação dos agentes.

Ignácio e Ferreira Filho (2004) abordaram o uso do software de modelagem AIMMS — *Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software* – na solução de problemas, concluindo que se trata de um ambiente de desenvolvimento no qual é possível criar a modelagem com aplicações funcionais para usuários finais. O AIMMS proporciona ambiente adequado para modelar problemas de otimização, criando uma interface ajustada às necessidades do usuário para possibilitar a captura de complexidade de problemas reais, além de resolver modelos com restrições lineares e não lineares. Com apenas uma simples declaração, um modelo de otimização pode ser transferido para o *solver* e resolvido por ferramentas, tais como CPLEX, XA, CONOPT e XPRESS. Possibilita uma combinação de características de métodos matemáticos e de ferramentas de

desenvolvimento, tais como explorador de modelos em ambiente gráfico para construção de modelagem complexa, métodos de solução exata, interação com as linguagens de computação e ferramentas de interface com bases de dados. Ignácio e Ferreira Filho (2004) relatam ainda que o AIMMS fornece ferramentas para desenvolver e construir sistemas de apoio à decisão, o que permite melhorar a tomada de decisões através do uso das ferramentas da Pesquisa Operacional. Segundo Bisschop (2002), o AIMMS é uma ferramenta que inclui as duas formas gerais de uso dos modelos matemáticos, já que permite construí-los ao nível estratégico e ao nível operacional, através de ferramentas de apoio à decisão iterativa para a solução dos problemas.

3

Método e construção do modelo

3.1.

Definição do problema

Conforme relatado na introdução, o mercado brasileiro de combustíveis automotivos (derivados) atingiu níveis máximos históricos em importações de gasolina e diesel por outras empresas nos últimos meses, o que resultou em uma redução do volume refinado com a perda de market share da principal empresa produtora nacional de derivados.

Porém, de acordo com relatos de executivos da empresa, acredita-se que esta perda de mercado é saudável, pois permite uma otimização do parque de refino de forma a garantir o melhor resultado entre as receitas geradas pelos derivados quando o petróleo é utilizado como carga para a refinaria e sua exportação. Ou seja, utilizar toda a capacidade de refino existente pode não ser a melhor alternativa do ponto de vista financeiro.

Isso porque o refino é composto por diversos derivados, alguns com valores de mercado maior que o petróleo, como Diesel e Gasolina, e outros com valor de mercado abaixo, como Óleo Combustível e Coque Verde de Petróleo, conforme demonstrado na figura 14.

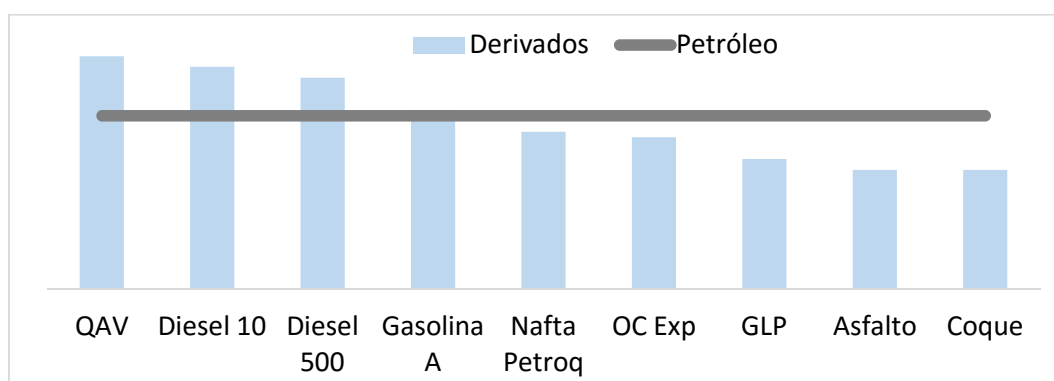


Figura 13 – Valor estimado dos derivados no mercado internacional x Custo Petróleo (Brent)

Conforme foi possível observar na Figura 2 presente no capítulo 2, o processo de refino conta com unidades de conversão que transformam frações de baixo valor comercial, gasóleos ou resíduos pesados, em outras de maior valor,

como GLP, nafta e diesel. Quando se atinge o limite dessas unidades de conversão, o processamento de petróleo apenas pela destilação resulta em grande quantidade de produto que vale abaixo do petróleo. É neste ponto que vale mais a pena exportar petróleo cru e importar diesel.

Esses derivados têm seu valor composto por um equilíbrio de preços com fatores como oferta e demanda e combustíveis alternativos destes produtos (Pompermayer, 2002). O Coque Verde, por exemplo, é um produto sólido utilizado em diversas indústrias, como metalurgia, siderurgia e cimenteiras, tornando-o um substituto do carvão mineral. Dessa forma, a formação do preço de venda deste produto está associada não só a sua demanda e ofertas de importação para o mercado, mas também a oferta e eventuais rendimentos de produtos substitutos. Assim como este, gasolina e diesel também podem ter sua demanda modificada através do preço, seja por substitutos como o etanol hidratado ou GNV (gás natural veicular) para a gasolina ou a própria redução do consumo, com escolhas alternativas como transportes coletivos e trens para os veículos de passeio, e rotas com menor consumo ou até mesmo a substituição da frota de caminhão por ferrovia ou hidrovia. Para atender ao objetivo deste estudo, será considerada a demanda inelástica a estes fatores, variando somente a escolha entre o produtor nacional ou importador.

O objetivo do planejamento operacional é buscar a otimização dos recursos de forma a maximizar os resultados da empresa, com análise e direcionamento da cadeia de suprimento, de forma integrada. Assim, o procedimento de avaliação envolverá dois passos, para cada cenário analisado em que serão avaliados as vendas e receitas com a comercialização de gasolina e diesel, primeiramente na avaliação da distribuição através do SIAM e o respectivo impacto sobre o produtor em termos de necessidade de refino e trocas de óleo cru e demais derivados, com a avaliação do abastecimento através do PLANINV.

3.2.

Definição do projeto de pesquisa

Hedrick et. al (1993) ressaltam as variadas maneiras de se fazer pesquisa, que incluem estudo de caso, experimentos, levantamentos, pesquisas históricas e análise de informações em arquivos (como em estudos de economia). Yin (2001) relata que cada estratégia apresenta vantagens e desvantagens próprias,

dependendo basicamente do tipo de questão da pesquisa, do controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais efetivos, e do foco em fenômenos históricos, em oposição a fenômenos contemporâneos. Um esquema básico de categorização das estratégias de pesquisa é proposto por Yin na tabela 3.

Tabela 3 – Situações relevantes em diferentes estratégias de pesquisa

Estratégia	Forma da questão de pesquisa	Exige controle sobre eventos comportamentais?	Focaliza acontecimentos contemporâneos?
Experimento	como, por que	Sim	Sim
Levantamento	quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim
Análise de arquivos	quem, o que, onde, quantos, quanto	Não	Sim/Não
Pesquisa histórica	como, por que	Não	Não
Estudo de caso	como, por que	Não	Sim

Fonte: Cosmos Corporation, Yin (2001)

A estrutura e o propósito do estudo de caso, é aplicável a estudos explanatórios, descritivos ou exploratórios. O experimento, muitas vezes análogo e confundido com o estudo de caso, é a estratégia utilizada quando o pesquisador pode manipular o comportamento direta, precisa e sistematicamente, no qual se pode focar uma ou duas variáveis isoladas e presume-se que possa "controlar" todas as variáveis restantes além do escopo de interesse.

Logo, é possível concluir quanto a natureza da dissertação que se trata de um experimento exploratório baseado em hipóteses, e não um estudo de caso. Ainda, a metodologia adotada engloba abordagens quantitativas de valor, auxiliando processos de tomada de decisões e lidando frequentemente com variações das premissas em múltiplos cenários.

Foram realizadas pesquisas por referencial teórico para fundamentar os principais conceitos relacionados ao estudo de forma a construir a proposta do modelo para precificação dos combustíveis. A partir dessas pesquisas percebeu-se que diversos autores já realizaram trabalhos com modelagem em redes para definir fluxos através dos custos, dentro e fora da indústria do petróleo, assim como existem uma ampla oferta de modelos matemáticos para otimizar e simular a cadeia de abastecimento do refinador. Apesar desses assuntos serem clássicos na literatura, realizando-se buscas em ferramentas de base de dados Scopus e Science Direct, foi observado uma escassez de trabalhos voltados especificamente para competição em oligopólio a partir da precificação de

produtos, com poucas referências desse tipo de trabalho na indústria de petróleo no Brasil, sendo mais comum o resultado da pesquisa relacionado a indústria norte americana, europeia e até mesmo sul africana. As buscas resultaram em mais de 600 artigos, onde aproximadamente 200 foram analisados e 30 citados neste estudo, resultado da utilização de palavras-chave como:

- *(logistics OR network) AND (optimal model OR optimization) AND (oil OR fuel)*
- *logistics cost AND (oil OR fuel)*
- *downstream AND petroleum supply chain AND model*
- *refinery AND scheduling AND optimization model AND supply chain*
- *(optimal model OR optimization) AND competition*
- *GIS AND supply chain AND distribution*

3.3. Variáveis escolhidas

Conforme mencionado na introdução e na definição do problema acima, o principal objetivo deste trabalho é avaliar a influência dos preços para o dimensionamento do mercado e atendimento a partir dos polos de venda nacionais que serão entrada no modelo determinístico de planejamento. Com o intuito de elaborar as premissas para a construção dos cenários planejados com os valores de fato realizados foram levantados quatro grandes conjuntos de variáveis: cotações internacionais e preços de realização nacionais, produção de petróleo e ofertas no exterior para importação, demandas de derivados de petróleo, com destaque para gasolina e diesel, e capacidades e custos de ativos de refino e logística.

Para elaboração dos preços foram escolhidas e monitoradas as principais cotações internacionais e média do mercado interno divulgados pela ANP. Para análise da produção de petróleo foram escolhidos os petróleos produzidos pela Petrobras no Brasil e agrupados por regiões e características similares, além da curva de produção divulgada pela Petrobras. As ofertas de fontes externas foram consideradas através das últimas importações relacionadas pela empresa. Para construção da rede, a demanda de gasolina e diesel, tanto de baixo teor de enxofre quanto de alto teor, foi estimada de acordo com histórico de vendas de cada município. Para análise de capacidade e custos dos ativos de refino e logística, foi considerada a malha logística utilizada tanto pelas distribuidoras quanto pelo refinador, com terminais de petróleo e derivados, bases de

distribuição, cabotagem e longo curso, dutos, ferrovias e rodovias, além das unidades comuns ao sistema de refino.

3.4.

Sistema de Análise Logística de Mercado (SIAM)

O SIAM – Sistema de Análise Logística de Mercado - é uma ferramenta de apoio para representar os fluxos das companhias distribuidoras de combustíveis ou demais derivados de petróleo. Esse sistema permite a comparação entre cenários, também conhecidos como casos, de acordo com as decisões dos produtores e importadores, de forma a apresentar soluções em redes de transportes com a minimização dos custos para mercados geograficamente distribuídos.

Um modelo de otimização será utilizado com auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para distribuição de produtos de acordo com a demanda por município que será atendida através das bases primárias ou secundárias das companhias distribuidoras, conforme demonstrado na figura 15. Tem como objetivo observar o comportamento das distribuidoras conforme racionalidade de custos de atendimento dos seus mercados, representando custos tais como aquisição, operação, transporte e tributário da distribuição.

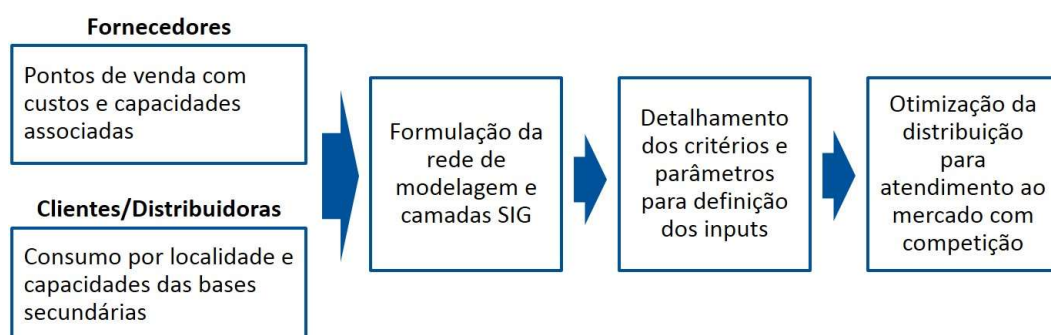


Figura 14 – Metodologia para formulação do problema de otimização da distribuição

A otimização tem como objetivo minimizar o custo para o distribuidor médio com a máxima entrega, visando o atendimento integral da demanda, e respeitando as capacidades de cada nó. A partir disto, busca a otimização na distribuição de combustíveis, indicando a quantidade a ser entregue em cada polo de venda, assim como os fluxos de movimentação de produto ao longo da rede de distribuição até os municípios, de acordo com as premissas de custos (sendo o

preço no polo de venda um custo de aquisição para o distribuidor) e capacidades da infraestrutura.

Na figura 16 observa-se o funcionamento deste modelo, onde PV representa os Polos de Venda, B as Bases de Distribuição e M os municípios que serão atendidos. Todo polo de venda é conectado aos municípios através de uma base, ou seja, todo volume ofertado precisa passar ao menos por uma base, representando a localidade onde ocorre a operação de venda entre produtor e distribuidora. Os nós podem ser atendidos por modais terrestres (rodoviário e ferroviário) e marítimos, através de links orientados, entre dois nós, sempre em um sentido único da origem para o destino, ou através dos links não orientados, compreendendo as rodovias mapeadas no SIG, podendo ter os dois sentidos de fluxo na malha, tanto de ida quanto de volta. No sistema, polos de venda, base, ferrovia, rodovia, entre outros elementos, tem cadastrados seus respectivos atributos que os caracterizam como uma entidade única. São associados atributos relacionados à sua condição operacional, como custos e capacidades, construindo a base de dados do sistema.

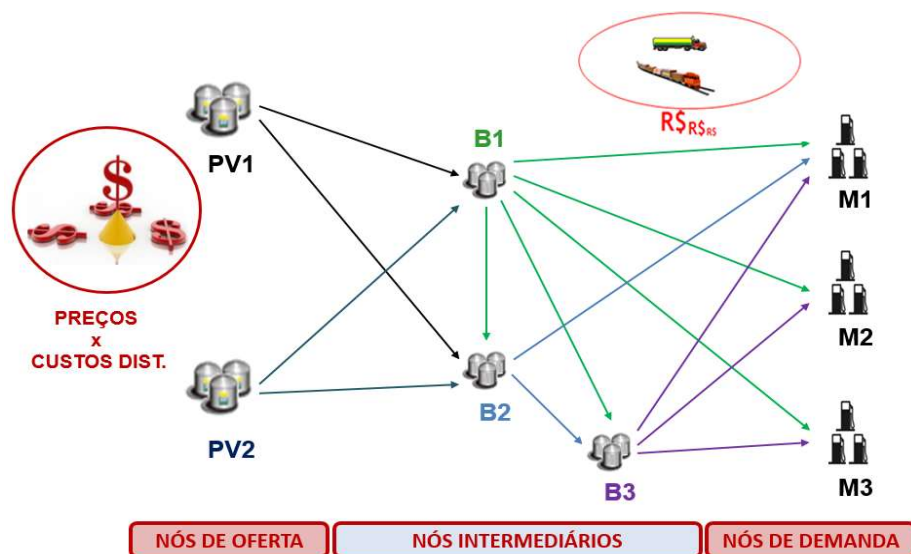


Figura 15 – Representação da Rede (Visão das Distribuidoras)

Esse problema de minimização dos custos de distribuição, em particular, considera que os preços dos fornecedores e a demanda dos clientes são constantes. O atendimento à demanda é obrigatório, tratando-se de um mercado inelástico, pois não há uma análise de preço-demanda nem consumo ou produtos substitutos na ferramenta. O SIAM não trabalha com multiperíodos, ou seja, cada solução é válida para um único período, o que convém trabalhar com médias de um dado intervalo de tempo. Assim, o algoritmo buscará encontrar os caminhos

de mínimo custo em cada arco origem-destino para criar, montar a rede e resolver o problema de fluxo de custo mínimo por programação linear. Deve-se observar que, se os preços forem iguais a zero, apenas os custos de distribuição serão considerados, e a competição entre polos se dará pela logística mais econômica. Se todas as relações polos-municípios forem explicitadas com respectivos custos unitários, se reduzirá para um problema de transporte (ou de atribuição de volumes ao mínimo custo total). Essa ferramenta não apresenta os custos associados a movimentação e transporte dos biocombustíveis que serão misturados ao produto final, o etanol anidro e o biodiesel.

3.4.1. Camadas do SIG

Os dados geográficos são carregados no sistema através das “camadas”, com clara visualização no mapa conforme se segue na figura 16. Esses dados de entrada formam as entidades conforme visto acima, as mais abrangentes com estados, municípios, cidades e rodovias e as mais específicas, refinarias, bases, arcos rodoviários, ferrovias, hidrovias e rotas marítimas. Nessas camadas específicas, é possível a inserção de elementos novos e exclusão de existentes, de modo a configurar a realidade que se deseja representar no sistema. Por simplificação, os polos de venda estão presentes na camada denominada “Refinarias”, mesmo que a venda ocorra em um terminal da empresa onde não houve produção, ou seja, o produto foi transferido até este por duto ou navio (eventualmente outros modais).

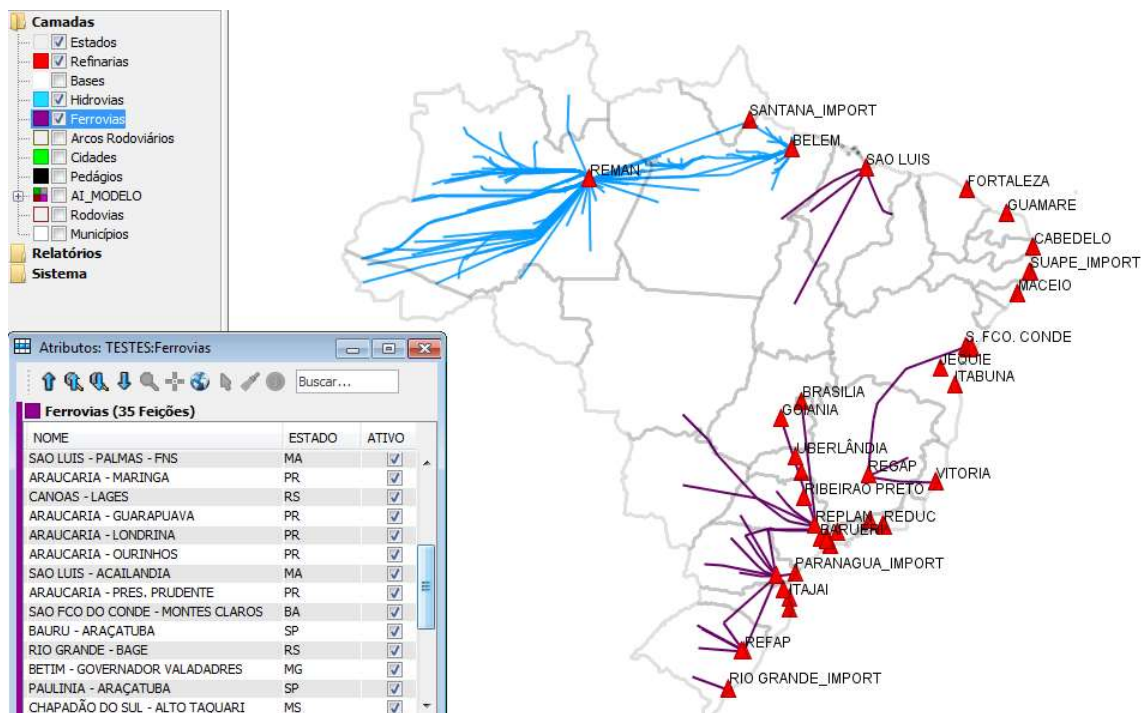


Figura 16 – Camadas com refinarias (polos de venda), ferrovias e hidrovias (arcos da rede).

Nesta visão, o SIAM considera o suprimento da demanda de cada município por produto, a partir de um grupo de bases de distribuição atendidas por refinarias (nacionais ou importadores), maximizando a utilização dos recursos da infraestrutura logística existente no País ao menor custo logístico. Em primeiro lugar, o modelo se utiliza da camada georeferenciada para resolver o problema do caminho de custo mínimo rodoviário entre dois nós, onde cada segmento de rodovia é representado com um custo em relação ao estado em que ela se encontra, tipo de pavimento e condições da estrada. Assim, com auxílio da rede física gerenciável do SIG, é possível resolver o primeiro problema de otimização de custos através dos algoritmos da biblioteca interna da ferramenta, entre eles o out-of-kilter. Posteriormente, a rede customizada que foi cadastrada pelo usuário, como ferrovias, arcos rodoviários, entre outros, é complementada à rede de caminhos mínimos rodoviários, gerando a rede final sobre a qual será resolvido o segundo problema de otimização: a definição dos fluxos entre polos e municípios.

A flexibilidade dos recursos para exibição das camadas permite que as mesmas sejam selecionadas individualmente para exibição e que sua ordenação na pilha seja livremente alterada, de forma que a visualização do mapa na tela seja clara e com destaque para os elementos de interesse em cada situação. (Botelho, 2001). A figura 18 representa com clareza o conceito das camadas, onde fora selecionado somente as camadas “Estados”, “Bases” e “Rodovias”:

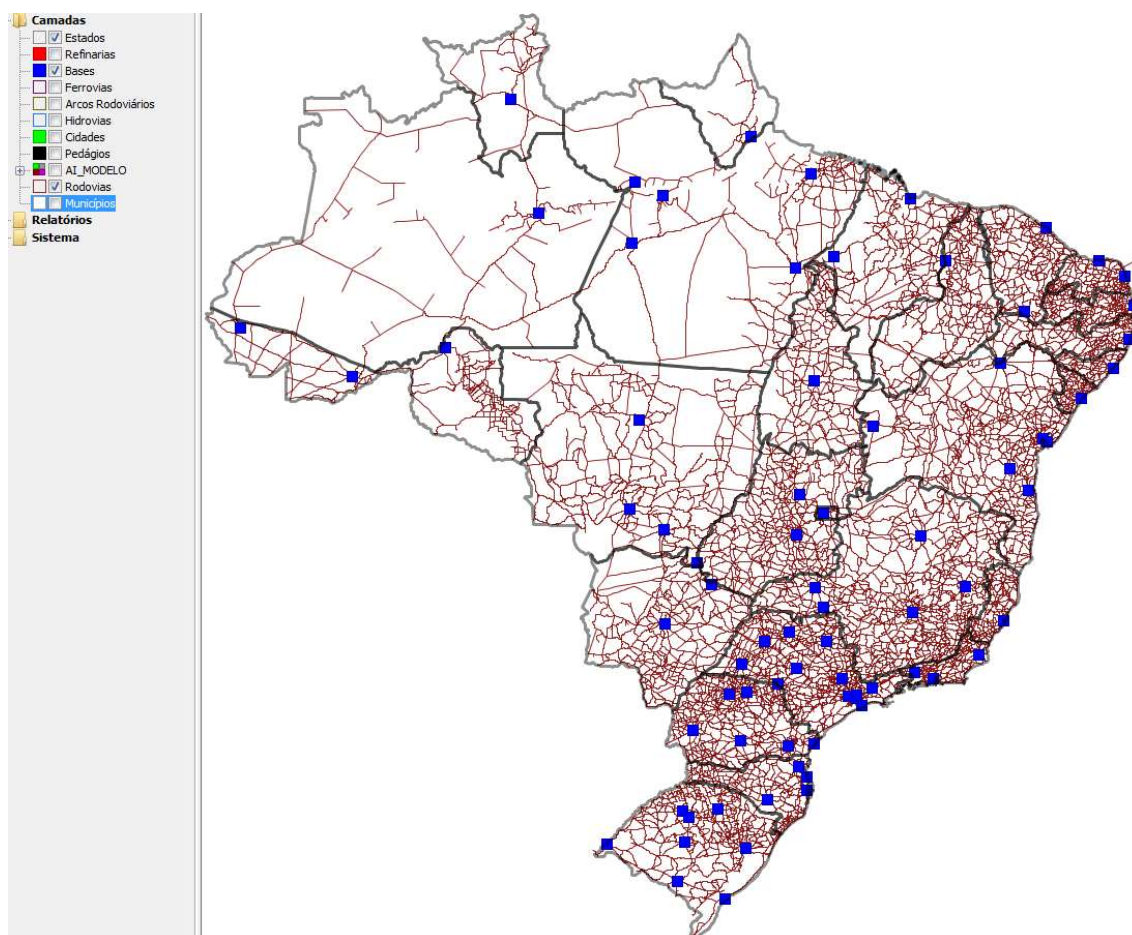


Figura 17 – Camada do SIAM com SIG Rodovias federais e estaduais e bases de distribuição

As camadas também orientam na visualização da área de influência de bases e refinarias com a formação dos mapas temáticos, desenvolvidos para que as informações numéricas de um relatório contendo mais de cinco mil municípios possam ser facilmente assimiladas visualmente, por meio de formas e cores.

BIBLIOTECA LEMON

O modelo citado neste estudo utiliza como biblioteca LEMON (2018) – Library for Efficient Modeling and Optimization in Networks, desenvolvida em 2003 por um grupo de pesquisadores da Eotvos Loránd *University*, localizada em Budapeste, Hungria. É uma biblioteca de modelos C++ que fornece implementações eficientes de estruturas de dados comuns e algoritmos com foco em tarefas de otimização combinatória conectadas principalmente a grafos e redes. Os algoritmos são utilizados em duas etapas, visando resolver os dois problemas do modelo. Para o problema do caminho de custo mínimo, destacam-se os algoritmos com conceitos de sistemas de transporte, tais como pesquisa de

grafo, caminhos mínimos como Dijkstra e Bellman-Ford, arborescência, e conectividade. Já na segunda etapa com a rede lógica construída, destacam-se os conceitos de fluxos de rede, onde pode-se encontrar diversos tipos de algoritmos para o problema de fluxo de custo mínimo, entre estes o simplex na rede.

3.4.2. Minimização dos custos do distribuidor

Este problema será primeiramente formulado como um problema de programação linear, onde cada produto k será otimizado isoladamente. Neste modelo é adotado uma demanda fixa por município que obrigatoriamente deverá ser atendida ao menor custo, buscando-se os fluxos em cada arco. Este modelo considera um único ator responsável pelo suprimento do mercado, representando um cenário monopolista semelhante ao vivido pela empresa estatal. A forma de representar outros agentes no modelo, nacionais ou importadores, é através da criação de um novo polo de venda (nó) para cadastrar suas ofertas, ou seja, uma nova refinaria conectada a malha, assim é possível determinar o volume entregue por cada refinaria inserida no modelo, independente do seu proprietário.

Todos os custos considerados neste modelo são calculados multiplicando a quantidade movimentada, por um custo unitário fixo previamente definido. Desta forma, dado que toda a demanda deve ser atendida e a quantidade ofertada e capacidade nos arcos é superior a necessidade, o objetivo desse modelo é atender a todos os consumidores com o menor custo total de distribuição. Como visto, a manutenção do índice k é necessária pois os dados de custos, capacidades, demandas e ofertas são diferentes para cada produto.

Dada uma rede composta de polos de venda, de um determinado produto nacional e importado, bases e municípios, interligados através de uma rede de transporte, pode-se definir o problema com os índices: k para o produto que será inserido os dados, com o conjunto $k \in \{1: \textit{Gasolina}; 2: \textit{Diesel S500}; 3: \textit{Diesel S10}\}$; i para localidades onde há envio de produto, sendo $i \in \{R, B\}$ para as refinarias (polos de venda) e bases de distribuição, respectivamente; e j para municípios que possuem recebimento de produto, podendo ser o próprio mercado ($j \in M$) ou bases secundárias ($j \in B$).

Tabela 4 – Parâmetros, variáveis e índices do problema do distribuidor

Parâmetros

CP_{ki}	Custo do nó polo de venda do produto k em $i \in R$
CD_{ki}	Custo do nó operação nas bases de distribuição do produto k em $i \in B$
CT_{kij}	Custo de transporte do produto k de i para j
CF_{kij}	Custo financeiro do produto k de i para j
CL_{kij}	Capacidade do arco para transportar o produto k de i para j
OP_{ki}	Oferta do nó polo de venda (fonte) do produto k em $i \in R$
DEM_{kj}	Demanda do nó município (sumidouro) do produto k em j

Variáveis

X_{kij}	Volume do produto k transportado de i para j
X_{kjl}	Volume do produto k transportado de j para l

Índices

k	Produto $\{1,2,3\}$
i	Refinarias (polos de venda) e Bases de Distribuição $\{R,B\}$
j	Municípios com consumo de produto $\{M,B\}$

(A) MODELO COM CAPACIDADE

Considerando que uma rede seja constituída por nós e arcos, interligados da fonte até o sumidouro, um dos problemas mais relevantes é determinar a que custo um determinado fluxo pode ser transferido entre dois nós conectados nesta rede. Assim, admite-se uma limitação de capacidade em arco da rede, que será a quantidade máxima de fluxo que pode transitar por ele. A partir da função objetiva desenvolvida em (A), podemos definir a função objetiva para o modelo com capacidade como:

Minimizar, para $k=1,2,3$

$$\sum_{i \in R} \sum_j CP_{kj} X_{kij} + \sum_{i \in B} \sum_j CD_{ki} X_{kij} + \sum_i \sum_j CT_{kij} X_{kij} \quad (11)$$

Sujeito a:

$$\sum_j X_{kij} \leq OP_{ki} \quad \forall i \in R \cup B, k \quad (12)$$

$$\sum_i X_{kij} \geq DEM_{kj} \quad \forall j \in M, k \quad (13)$$

$$X_{kij} \leq CL_{kij} \quad \forall k, i, j \quad (14)$$

$$X_{kij} > 0 \quad \forall k, i, j \quad (15)$$

A função objetivo (11) do modelo (A) minimiza o custo total de distribuição através da soma dos custos de polo de venda, base de distribuição e transporte (custo de movimentação do produto em todos os arcos, desde o polo de venda, denominado refinaria, até e o município de demanda). A restrição (12) determina que o volume total de k transportado de i para j respeite a oferta dos polos de venda em i e (13) condiciona que este volume transportado não ultrapasse à demanda em j . A restrição (14) define a capacidade máxima de transporte entre dois pontos da rede, enquanto a restrição (15) define o domínio de não negatividade das variáveis de decisão.

(B) MODELO COM TRIBUTOS, SEM CAPACIDADE

O modelo com tributos foi desenvolvido internamente pela empresa para representar a existência do custo financeiro do ressarcimento do tributo ICMS-ST para o distribuidor, que servem como penalização para fluxos interestaduais. Dessa forma, este modelo não é formulado como um problema de programação linear, sendo realizado no SIAM uma customização apoiada pela Lemon para resolver este problema via algoritmo de fluxos. Para ilustrar o objetivo deste modelo aqui, será descrito aparentando uma modelagem matemática via programação linear inteira mista, com a implementação de uma variável binária para representar pares origem-destino dos estados.

O ICMS-ST (Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços – Substituição Tributária) é um regime de tributação que assegura a retenção antecipada na origem pela Petrobras, conforme declaração das distribuidoras das vendas previstas para cada Estado. Sua base de Cálculo é feito através da estimativa sobre vendas previstas publicadas: MVA, margem de valor agregado ou PMPF, preço médio ponderado ao consumidor final. Assim, se as vendas interestaduais ocorrerem por um valor menor que o previsto, a carga tributária estimada na origem será maior que a apurada, e deve ocorrer o ressarcimento de ICMS do Estado as distribuidoras. Portanto, deseja-se penalizar os fluxos interestaduais onde ocorra o custo do ressarcimento, pois quanto maior o tempo de devolução dos estados de destino, maior será a perda financeira reduzindo o valor recuperado. Caso contrário, há o complemento de ICMS, devido pela

distribuidora ao Estado. Para o modelo, podemos definir o custo financeiro conforme equação (16):

$$CF_{kij} = (\%ICMS_i \times PMPF_i - \%ICMS_j \times PMPF_j) \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+c)^{n_j}}\right) \quad (16)$$

onde:

c = custo de capital da distribuidora (% a.m.)

n = número de meses de devolução no destino j

Assim, é necessário implementar uma variável binária Y no custo financeiro da função objetivo, que passa a ser um modelo não linear, a ser resolvido através de um método heurístico iterativo:

Minimizar, para $k = 1, 2, 3$

$$\begin{aligned} \sum_j CP_{kj} \sum_{i \in R} x_{kij} + \sum_{i \in B} CD_{ki} \sum_j x_{kij} + \sum_i \sum_j CT_{kij} x_{kij} \\ + \sum_{i \in R} \sum_{j \in M} CF_{kij} Y_{kij} x_{kij} \end{aligned} \quad (17)$$

Sujeito a:

$$\sum_j x_{kij} \leq OP_{ki} \quad \forall i \in R \cup B, k \quad (18)$$

$$\sum_i x_{kij} \leq DEM_{kj} \quad \forall j \in M, k \quad (19)$$

$$\sum_i x_{kij} = \sum_l x_{kjl} \quad \forall j \in B \quad (20)$$

$$x_{kij} > 0 \quad \forall k, i, j \quad (21)$$

$$Y_{kij} \in \{0, 1\} \quad (22)$$

A função objetivo (17) do modelo (B) minimiza o custo total de distribuição através da soma dos custos de polo de venda, operação da base de distribuição, transporte (custo de movimentação do produto em todos os arcos, desde o polo de venda, denominado refinaria, até o município de demanda), e através de uma heurística para problema de fluxo mínimo, atribui-se o custo financeiro com uma variável binária, que só pode ser identificado após o processo de alocação e com ajuste iterativo. A restrição (18) determina que o volume total de k transportado de i para j respeite a oferta dos polos de venda em i , (19) condiciona que este volume transportado seja menor ou igual à demanda em j , e (20) todo o volume que entra

em j seja igual ao que saiu. A restrição (21) define o domínio de não negatividade das variáveis de decisão enquanto a restrição (22) indica a variável de decisão. Entretanto, este modelo de tributos não consegue solução viável quando há restrições de capacidade, devido a dificuldade em estabelecer os custos financeiros associados aos estados de destino antes da solução do problema, uma vez que os fluxos entre polos de venda e municípios consumidores muitas vezes utilizam outros estados vizinhos em transferências envolvendo bases secundárias. Neste caso específico, vale ressaltar que, com a remoção da restrição de capacidade, o problema foi reduzido ao problema do caminho mais curto.

3.5. PLANINV

O PLANINV é uma ferramenta de otimização desenvolvida internamente na empresa através do software AIMMS, cuja função objetivo é maximizar o resultado operacional da empresa, de modo a atender todas as restrições existentes. O modelo considera como dados de entrada informações sobre a infraestrutura atual de logística e refino com limites de capacidade, o mercado interno e externo, produção nacional e ofertas de terceiros, seja de petróleo ou produtos que atenderão os mercados prospectados. Ainda possui a expectativa do preço de referência internacional de petróleo e derivados, além de preços no mercado interno de produtos cuja demanda não é fixa, ou seja, mercado não obrigatório ou parcialmente obrigatório. O modelo, como o próprio nome diz, possui uma instância para cadastro de novos investimentos e o retorno econômico daquele dispêndio, que não será utilizado neste estudo, uma vez que o objetivo inicial da maximização do resultado não será através de novos investimentos e sim em função da variação dos preços e mercado.

O modelo consiste em 13 refinarias com 141 unidades de processamento, sendo 21 destilações. Possui oferta de 14 petróleos nacionais e 13 petróleos importados, já previamente identificados comercialmente para melhor otimizar o processamento de cerca dos 65 produtos finais atendidos no mercado em cerca de 50 polos de venda nacionais. Conta ainda com cerca de 3 mil arcos de transporte, nos modais marítimo, rodoviário, dutoviário e ferroviário, e 76 terminais, incluindo pontos de produção de óleo off-shore. Além do conjunto citado, a ferramenta contém outros inputs que somados podem atingir mais de

100 mil variáveis, além de registrar mais cerca de 60 mil restrições por período selecionado, refletindo as premissas operacionais relacionadas aos limites de escoamento de produtos, limites de processamento, capacidades das unidades, rendimentos e características de qualidade, dentre outras. Balanços e restrições locais afetam as valorizações internamente no modelo.

Assim, é capaz de responder o custo da cadeia e sua receita, através da venda de produtos no mercado, importações e exportações, necessidade de transporte por modal, nível de refino e alocação de petróleo, operações descritas na figura 18.

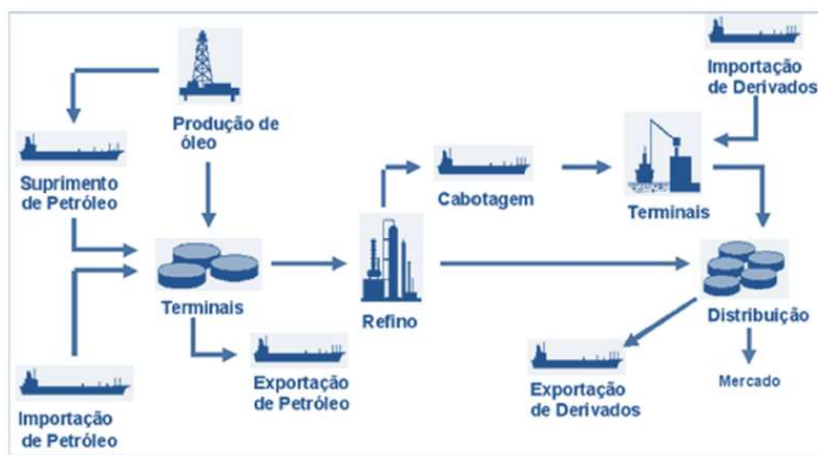


Figura 18 – Cadeia de downstream representada no PLANINV

A dependência de produção entre os derivados de petróleo é considerada no modelo através das taxas de rendimento para cada tipo de petróleo e conversão de cada unidade da refinaria, fazendo com que uma unidade de petróleo processado resulte em frações de diversos derivados, no qual o somatório da margem dessa cesta seja positivo, mesmo que alguns individualmente representem prejuízo. Diferentes unidades podem ser utilizadas nas refinarias, o que garante a flexibilidade operacional das refinarias.

BIBLIOTECA PARA PPL

O GUROBI Optimizer é um solucionador de otimização comercial para programação linear, programação quadrática, programação quadraticamente restrita, programação linear inteira mista, programação quadrática inteira mista e inteiro misto quadraticamente programação restrita, com variáveis no modelo

contínuas ou mais restritas para terem somente valores inteiros. Gurobi é nomeado por seus fundadores: Zonghao Gu, Edward Rothberg e Robert Bixby. Bixby também foi o fundador do CPLEX – também conhecido solucionador licenciado pela IBM com bibliotecas para resolver problemas de programação linear, enquanto Rothberg e Gu lideraram a equipe de desenvolvimento do CPLEX (GUROBI, 2018). Suporta uma variedade de linguagens de programação conectadas para linguagens de modelagem padrão, dentre os quais se insere o AIMMS.

Dentre os algoritmos para programação linear do otimizador, GUROBI (2018) destaca o algoritmo simplex, primal e dual, algoritmo de barreira paralela com crossover, otimização simultânea e algoritmo de peneiramento, além dos algoritmos de programação inteira tais como pesquisa de árvore de árvores determinística, paralela, ramificada e não-tradicional, heurística padrão múltipla, melhoria de solução, planos de corte e detecção de simetria. Para problemas grandes e esparsos, o barrier method (método de barreira) é o mais indicado. Assim, o GUROBI encontra as soluções primárias da formulação primal e simultaneamente as soluções da formulação dual, medindo a viabilidade e o gap de dualidade em cada iteração, e o otimizador para quando encontra soluções viáveis que são complementares dentro de uma tolerância de zero. Como cada vetor é estritamente positivo, a soma pode ser próxima de zero somente se cada um dos produtos individuais estiver próximo de zero. A soma desses produtos é conhecida como a complementaridade do problema.

3.5.1. Maximização do lucro no modelo

O modelo pode escolher entre processar o óleo nas refinarias, seja para atender ao mercado nacional ou exportar o derivado, ou vender esse óleo para outros mercados através de exportação; ou ainda, pode escolher óleos importados que melhor se adequem ao perfil do parque, fazendo com que este refino tenha maior valor marginal quando comparado ao óleo nacional, fazendo uma troca no elenco que será processado. Dessa forma o problema será formulado como problema de programação linear. Em resumo, o modelo busca a maximização do lucro através de (23):

$$\begin{aligned}
& \text{Lucro (Resultado Economico)} = \\
& \sum \text{Receitas (Venda Local e Exportação)} - \\
& \sum \text{Custos (Importação, Logística, Refino)}
\end{aligned} \tag{23}$$

A receita em (23) é composta pela venda de derivados no Brasil e exportação, tanto de petróleo quanto produtos refinados, neste caso determinada pelo preço pv_j^k e quantidade qv_k^i do produto p que se deseja atender no mercado k ou refinaria j , além da exportação do petróleo q_j^p ao preço p_j^p . Alguns produtos no mercado nacional, como gasolina e diesel, o atendimento é obrigatório, isto é, a empresa não pode deixar de atender no preço que esta determinar, sob pena contratual por não cumprimento. Nestes casos, a demanda mínima $d_{i\min}^k$ é igual a demanda máxima $d_{i\max}^k$, e os preços de venda não influenciam na decisão do modelo. Os tipos de petróleo serão divididos em dois subgrupos: *PN* contendo os petróleos nacionais produzidos pela própria empresa, com produção P_i fixa em cada campo, que produz somente um tipo de petróleo; e *PI* contendo os outros petróleos disponíveis para importação no mercado. Somente os petróleos importados terão custo de aquisição, o petróleo nacional terá seu valor determinado para o modelo a partir do custo de oportunidade da exportação para o mercado externo frente a produção de refino.

O custo na função (23) é formado por três parcelas, onde a primeira representa as importações: de derivados, com preço de compra na fonte pc_j^p e quantidade qc_j^p ; e de petróleo qc_i , ao preço de compra pc_i no produtor. Neste caso, como o próprio petróleo já indica a região de origem dele, não necessita determinar a localidade do mercado.

A segunda parcela refere-se aos custos logísticos, onde somente a venda do produto qv_j^p no mercado local das refinarias não possui custo. Para o custo logístico deve-se considerar o custo do transporte e armazenamento de petróleo, onde o volume y_{aj}^i de petróleo i até a refinaria j possui um custo logístico por arco cl_a^i , que será o somatório do frete marítimo desde o campo de produção ou país de compra, a armazenagem e sobrestadia do terminal marítimo, e o transporte dutoviário até a refinaria, podendo haver ainda terminais terrestre intermediários. Dessa forma, é considerada a capacidade mais restrita dentro dos modais. Para todas as demais movimentações e comercializações de derivados e petróleo,

haverá transferência através de dutos, rodovias, ferrovias ou marítimo. Neste caso a movimentação y_{ajk}^p de uma fonte produtora ou refinaria j até um mercado k e os custos logísticos cl_a^p farão referência a cada produto p e a cada arco a , uma vez que o transporte é multimodal com custos e capacidades diferentes a cada trajeto.

A terceira parcela refere-se ao custo de refino, onde cada refinaria j possui suas próprias características, com o processamento do óleo cru x_j^i possui uma capacidade CP_j . A produção de certa quantidade de um derivado lucrativo, tal como diesel, provoca a produção de outros produtos menos lucrativos, como o óleo combustível, dessa forma é possível estimar a produção da cesta de produtos s_j^{ip} a partir de um mesmo petróleo i , devido a diferentes rendimentos. De acordo com as características da refinaria e do óleo cru, esta cesta é formada respeitando a capacidade de refino CR_{uj}^p , de acordo com as unidades de produção u disponíveis no parque. O custo de refino cr_j^i será determinado conforme o consumo dessas unidades em energia, catalisadores e outros insumos para o funcionamento.

Tabela 5 – Parâmetros, variáveis e índices do problema do produtor

<u>Parâmetros:</u>	
p_v	Preço unitário de venda do produto em k ou j ou petróleo em k
p_c	Preço unitário de compra do produto em j ou petróleo
d_{\min}	Demanda mínima
d_{\max}	Demanda máxima
o	Oferta disponível
cl	Custo logístico do arco (armazenamento e transporte marítimo, dutoviário, ferroviário e rodoviário)
cr	Custo de refino (catalisadores, consumo energia)
r	Rendimento da refinaria por óleo
CP	Capacidade de processamento de óleo
CR	Capacidade de produção nas unidades da refinaria
CL	Capacidade do arco
PR	Produção de petróleo nacional
<u>Variáveis:</u>	
q_v	Volume vendido de produto (nacional ou exportação) ou petróleo exportado
q_c	Volume comprado de produto (nacional ou importado) ou petróleo importado
y	Volume movimentado nos arcos de produto ou petróleo

s	Volume produzido por tipo de petróleo na refinaria
p	Volume de produção na refinaria
x	Volume de petróleo processado
<u>Índices:</u>	
k	Produtos refinados (derivados <i>D</i>)
i	Local de produção (refinarias <i>R</i> , fontes UPGNs <i>F</i> , <i>produtor nacional N</i> ou <i>importação I</i>)
j	Mercados (nacional <i>M</i> ou externo <i>E</i>)
p	Matéria prima (petróleo ou corrente {nacional <i>PN</i> , importado <i>PI</i> })
u	Unidades da refinaria
a	Transporte (arcos de derivados <i>AD</i> ou arcos de petróleo <i>AP</i>)

Assim, o problema de programação linear que irá maximizar o lucro da empresa pode ser definido como:

Maximizar

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k \in D} \sum_{j \in M, E} p v_j^k q v_j^k + \sum_{p \in PN} \sum_{j \in E} p v_j^p q v_j^p - \sum_{k \in D} \sum_{i \in N, I} p c_i^k q c_i^k - \sum_{p \in PI} p c^p q c^p \\
 & - \sum_{k \in D} \sum_{a \in AD} c l_a^k \cdot \left(\sum_{i \in R, F, N, I} \sum_{j \in M, E} y_{aij}^k \right) \\
 & - \sum_{p \in PN, PI} \sum_{a \in AP} c l_a^p \cdot \left(\sum_{i \in R} y_{ai}^p \right) - \sum_{p \in PN, PI} \sum_{i \in R} c r_i^p x_i^p
 \end{aligned} \tag{24}$$

Sujeito a:

- restrição de capacidade de ativos de refino:

$$\sum_p x_i^p \leq C P_i, \quad \text{para cada } i \in R \tag{25}$$

$$\sum_p s_i^{pk} \leq \sum_u C R_{ui}^k, \quad \text{para cada } k \in D, i \in R \tag{26}$$

- restrição de capacidade dos ativos de logística:

$$\sum_k \sum_i \sum_j y_{aij}^k \leq C L_a, \quad \text{para cada } a \in AD \tag{27}$$

$$\sum_p \sum_i y_{ai}^p \leq C L_a, \quad \text{para cada } a \in AP \tag{28}$$

- restrição de oferta e demanda em cada localidade:

$$q c_i^k \leq o_i^k, \quad \text{para cada } k \in D, i \in N, I \tag{29}$$

$$q c^p \leq o^p, \quad \text{para cada } p \in PI \tag{30}$$

$$d_{j \min}^k \leq q v_j^k \leq d_{j \max}^k, \quad \text{para cada } k \in D, j \in \{M, E\} \tag{31}$$

$$d_{j \min}^p \leq q v_j^p \leq d_{j \max}^p, \quad \text{para cada } p \in PN, j \in E \tag{32}$$

- restrições de taxa de conversão:

$$\sum_k r_i^{pk} = 1, \quad \text{para cada } p \in \{PN, PI\}, i \in R \quad (33)$$

$$s_i^{pk} = x_i^p \cdot r_i^{pk}, \quad \text{para cada } k \in D, p \in \{PN, PI\}, i \in R \quad (34)$$

$$\sum_p s_i^{pk} = p_i^k, \quad \text{para cada } k \in D, i \in R \quad (35)$$

- restrições de conservação de fluxo:

$$\sum_{a \in AD} \sum_{j \in M, E} y_{aji}^k + p_i^k \geq \sum_{a \in AD} \sum_{j \in M, E} y_{aij}^k, \quad \text{para cada } k \in D; i \in \{R, F\} \quad (36)$$

$$qc_i^k \geq \sum_{a \in AD} \sum_{j \in M, E} y_{aij}^k, \quad \text{para } k \in D, i \in \{N, I\} \quad (37)$$

$$\sum_{a \in AP} y_{ai}^p \geq x_i^p, \quad \text{para cada } p \in \{PN, PI\}, i \in R \quad (38)$$

$$\sum_{i \in R} x_i^p + \sum_{j \in E} qv_j^p \leq PR^p, \quad \text{para cada } p \in PN \quad (39)$$

$$\sum_{i \in R} x_i^p \leq qc^p, \quad \text{para cada } p \in PI \quad (40)$$

$$x \geq 0, y \geq 0, s \geq 0, qv \geq 0, qc \geq 0 \quad (41)$$

Na primeira parte da função objetivo (24) tem-se as parcelas de comercialização, com a receita obtida da venda de derivados para todas nos mercados nacionais (terminais e refinarias), exportação de derivados e exportação de petróleo, e o custo da aquisição de produtos em fontes externas e importação de petróleo. Na sequência encontram-se os custos logísticos, incluindo o transporte de produtos, com a representação dos arcos de fonte externa ou de refinarias até os mercados nacionais ou de refinarias até os mercados internacionais, e os arcos do petróleo nacional ou importado para cada refinaria. Na terceira linha está o custo operacional de cada refinaria, que depende do tipo de petróleo utilizado. Assim, os termos dessa função fornecem o lucro obtido da produção e comercialização de petróleo e derivados.

As restrições (25) e (26) referem-se as capacidades de ativos de refino, onde o volume de petróleo deve ser menor ou igual a capacidade de

processamento e o volume de derivados produzidos será limitado pela capacidade de refino das unidades respectivamente. As restrições (27) e (28) detalham a capacidade dos arcos logísticos para derivados e petróleo, respectivamente. A restrição (29) e (30) refere-se aos volumes importados de derivados e petróleos, menores ou iguais as ofertas cadastradas. A condição (31) indica os atendimentos aos mercados de derivados, nacional ou externo (exportação), com limite inferior podendo ser igual a zero ou maior (atendimento obrigatório), enquanto (32) indica a demanda por exportação de petróleo. Entre as restrições de conversão, (33) representa a taxa de rendimento de produção de um determinado petróleo, (34) a quantidade de derivados produzidos por cada tipo de petróleo e (35) o volume total produzido dentro de uma determinada refinaria. As restrições de conservação de fluxo estão indicadas (36) para os derivados em cada refinaria e fonte de produção, (37) para derivados comprados de terceiros – nacional ou importado –, (38) indica o volume processado de petróleo nacional ou importado não pode ser maior que o transportado, (39) a quantidade processada e exportada de petróleo nacional tem que ser menor ou igual produção nos campos, e (40) a quantidade processada de petróleo importada não pode ser maior que o volume comprado pela empresa. Por fim (41) representa a condição de não-negatividade das variáveis

3.6. Modelagem integrada aplicada ao caso

A cadeia de *downstream* é constituída por duas sub-cadeias, sendo o polo de venda o ponto de interseção de ambas. A primeira etapa avalia os custos da distribuição, do polo de venda até a demanda para o cliente final, no qual será utilizada a modelagem de otimização baseada em SIG. Nesta etapa, são considerados os impactos no mercado de distribuição, com cada cenário devidamente atualizado com os preços nos polos de venda e ofertas previstas. Assim, para cada nível de arbitragem no preço nos polos de venda, consegue-se avaliar o impacto sobre o mercado em termos de vendas por polo e o impacto sobre os custos e a receita total do sistema de comercialização. Assim, é possível identificar o preço máximo que o mercado está disposto a pagar pelo combustível antes de migrar para outro polo de venda em direção aos polos de importação que serão mantidos a preço fixo em todos os cenários. Será respondido a configuração de influência de cada polo de venda no mercado, com a indicação dos fluxos

ótimos das refinarias até os pontos de demanda, diferenciais de custos logísticos e receita de cada polo em cada cenário.

Já na segunda etapa da modelagem, para definir a melhor opção de suprimento para os polos de venda, se insere o outro modelo de planejamento do abastecimento do produtor. Este terá como objetivo determinar o planejamento de produção e entrega do fornecedor através dos mercados atendidos pelo modelo anterior, definindo os fluxos da cadeia de modo a otimizar a produção do parque de refino e balancear os produtos no mercado brasileiro com as exportações e importações. O valor é calculado avaliando a receita gerada pelos derivados com a subtração do custo de petróleo consumido na refinaria e os custos de transporte da cadeia. O ponto de equilíbrio será formado a cada cenário, ponderando as alternativas do que fazer com o petróleo.

Como representado na figura 20, o resultado da primeira etapa do volume vendido em cada polo de venda de acordo com a arbitragem de preços, servirá para alimentar o modelo de otimização do planejamento. O PLANINV indica, caso tenha ganho econômico, que as vendas não obrigatórias dos mercados associados às refinarias podem deixar de ser atendidas, para buscar um melhor resultado global.



Figura 19 – Sistemas de planejamento da cadeia de downstream

Uma vez definidos os quatro grandes conjuntos de variáveis: cotações internacionais, produção de petróleo, demanda de derivados, disponibilidade de ativos de refino e logística, serão analisados os dados de previsão de cada uma dessas variáveis. Para essa análise, serão utilizados dados publicados pela ANP, PETROBRAS, SPNT (2018), por exemplo. A coleta de dados será feita através de dados públicos divulgados pela ANP e operadores (mercados, tarifas de referência, preços praticados) e cenários com previsões de crescimento país e indústria de petróleo (informações divulgadas como PIB, estatísticas do IBGE e Planos de Negócio de empresas).

No planejamento, as decisões a serem tomadas no nível operacional de curto prazo consideram as mesmas variáveis definidas no nível tático de médio prazo. No entanto diferentes fatores proporcionam incertezas, como lead-time para o curto prazo e preço no médio prazo. A definição do preço a ser praticado considera conhecimento adquirido da experiência com entrada de importação no país. Essa precificação é móvel conforme indica a figura 21, pois a curva de aprendizado dos competidores estreita os deltas de margem ao longo do tempo e melhora a eficiência operacional com estímulo a investimentos em infraestrutura para o atendimento aos mercados.

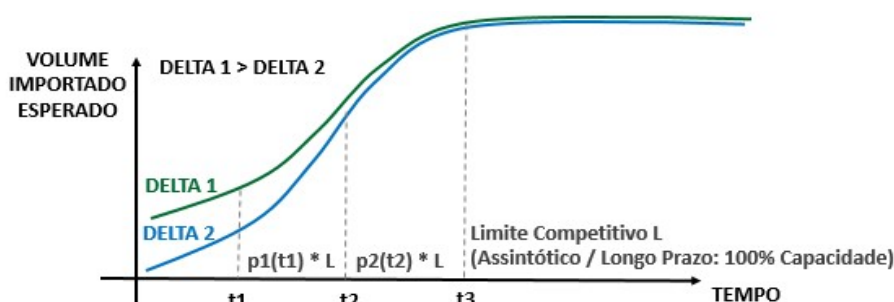


Figura 20 – Curva de aprendizado dos competidores

Apesar do modelo considerar a capacidade atual disponível e limitar a importação, a manutenção das condições de mercado a longo prazo tende a criar uma infraestrutura que acesse a todos os mercados, permitindo a livre escolha seja por importação ou produção nacional, não havendo obstáculos para a comercialização de toda a demanda existente no país.

Como resultado da modelagem, pretende-se responder quais os preços e condições de entrega são mais adequados, de modo a otimizar a distribuição para atender ao mercado em condição de competição. Esse resultado será obtido através da análise comparativa de cenários, onde cada período (ano) representará a demanda de diesel e gasolina de cada polo de venda da empresa no mercado nacional conforme resultado da otimização dos custos de distribuição. Assim, os resultados do SIAM de diesel (com número de otimizações igual a m) e de gasolina (com n otimizações), serão inseridos no PLANINV produzindo um número de cenários da matriz $m \times n$, sendo possível avaliar a correlação entre a variação da demanda de ambos os derivados.

O PLANINV maximiza margem sobre custo de oportunidade (Resultado Operacional), enquanto o SIAM minimiza custo variável, isto é, a margem do distribuidor é bem apertada, diferentemente do produtor, o que justifica a otimização da distribuição com base em custo. Na figura 21 é possível ver a

expectativa de resposta desse modelo, onde o lucro da empresa tende a crescer num primeiro momento, devido ao maior preço de venda no mercado e a possibilidade da troca na exportação de derivados que não possuem mercado nacional e agregam menos no resultado do que exportar o próprio petróleo. Porém esse lucro tende a cair quando os preços de venda extrapolarem esse ponto ótimo, uma vez que a perda de market-share reduzirá as receitas da empresa no mercado nacional, e a redução dos níveis de refino fará com que os produtos com alto valor de oportunidade deixem de ser produzidos em sua quantidade ideal, não aproveitando o máximo de eficácia do parque de refino, o que poderá ocasionar na necessidade de aumento dos volumes de importação para atendimento de outros mercados, antes atendidos através do refino nacional. Por fim, a falta de mercado nacional para gasolina ou diesel também traz limitações ao modelo no escoamento, com alternativas de demandas para estes derivados no exterior com menor valor marginal para a empresa.

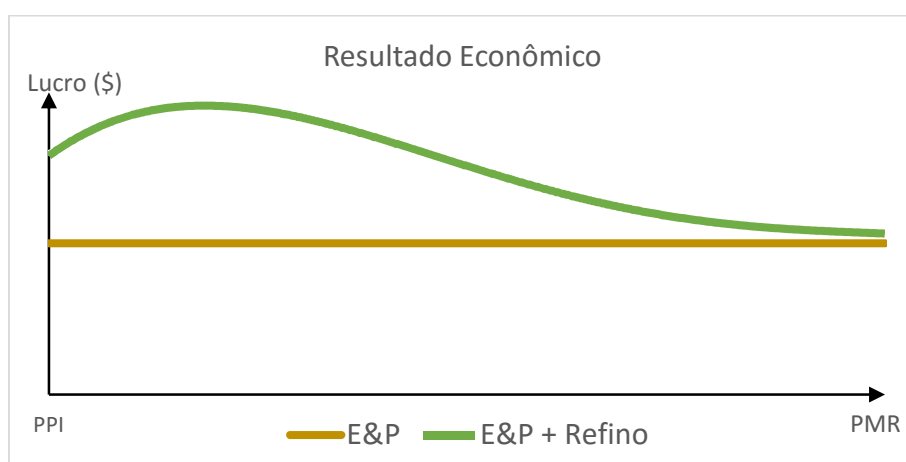


Figura 21 – Expectativa do ganho com variação de preços

4

O Experimento e Análise dos resultados

O problema de modelagem proposto consiste na integração de dois modelos de otimização existentes através de experimento controlado, ou seja, modifica-se os parâmetros previamente estabelecidos para avaliação do comportamento das variáveis, uma técnica conhecida como desenvolvimento de cenários. Nesta seção será apresentada a aplicação do problema juntamente com a análise dos resultados obtidos.

Três combustíveis derivados do petróleo foram considerados para a modelagem da rede, Gasolina, Diesel S10 (baixo teor de enxofre) e Diesel S500 (alto teor de enxofre). Os dados utilizados para a modelagem seguiram as etapas abaixo:

- **Coleta de Dados:** O levantamento de dados para elaboração da modelagem e aplicação ao caso foi realizado em bases publicadas oficialmente, como dados estatísticos disponibilizados pela ANP do consumo de gasolina e diesel por município, anuário estatístico com dados de produção, relatórios de entregas por localidades e comércio exterior com preço médio dos importadores e produtores nacionais, e relação e armazenagem de bases de distribuição; bases de informação contratadas pela Petrobras, como referências para fretes de transporte rodoviário e marítimo, através da ferramenta Zap Fretes, desenvolvida pela Zap Logística (2018), e Flat Rates (World Scale Association), respectivamente; coleta de dados em site da Agencia Nacional de Transporte Terrestre (ANTT) e Petrobras Transporte S.A. (TRANSPETRO), para referência de tarifas ferroviários e dutoviárias, respectivamente; e informações publicadas pela Petrobras através do portal de relacionamento com investidores, como preços e custos, produção e comercialização. Além destes, algumas informações foram coletadas diretamente com especialistas do setor, como rendimentos de unidades de refino, demandas dos demais derivados no mercado nacional e exportação, e preços dos combustíveis por polo de venda, uma vez que somente a média país é divulgada.

- **Banco de dados:** Foi criado um banco de dados com as publicações obtidas, onde foi armazenado organizando-se por data e fonte de referência para posterior tratamento dos dados para inserção nos modelos.
- **Validação dos dados coletados:** Realizou-se a validação dos dados através de pesquisa em outras fontes disponíveis, como publicações anteriores, mídia digital e até mesmo dados internos, que por questão de sigilo e confidencialidade das informações não poderão ser divulgados.

Neste capítulo será apresentado os resultados e será feito uma análise do impacto que a variação do preço dos combustíveis selecionados neste estudo traz para o resultado econômico integrado ao processo de *downstream* da empresa de petróleo, calculado através da diferença entre receitas e custos. Como comentado anteriormente, as receitas são obtidas a partir das vendas de derivados no mercado brasileiro e das exportações com petróleo e derivados, enquanto os custos representam a compra de petróleo importado e derivados, gastos com transporte, impostos e custos de produção e refino. Assim, o resultado não representará o lucro da empresa como um todo e sim uma parcela operacional, uma vez que não considera outros gastos como investimentos, manutenção, pessoal e outras operações, como produção de petróleo por exemplo. Mesmo assim, o resultado pode ser utilizado para estratégias de planejamento, pois representa custos e receitas variáveis do setor de *downstream*.

Para modelar a rede logística de *downstream* do petróleo, é importante compreender a infraestrutura da principal empresa do país e os grandes fluxos de produto desde a produção do petróleo. Para o caso da gasolina e diesel, tem-se comercialização em 11 refinarias e 20 terminais da empresa estatal e 5 produtores nacionais, além de terminais marítimos e aquaviários em 15 localidades diferentes que funcionam como porta de entrada para importações no país, totalizando 51 polos de venda para as distribuidoras. Entretanto, nem todos os polos possuem estrutura de recebimento e armazenagem para comercializar os três produtos analisados neste trabalho, como será mostrado logo adiante.

4.1. Dados da cadeia do distribuidor

Os dados de entradas para o modelo, conforme indicado no capítulo 3, são a camada georreferenciada de rede de transporte com custo variável dos arcos por distância percorrida, custo e capacidade de produtores, importadores e

transportadores, custo operacional das bases, custo financeiro relacionado à tributação, além da demanda dos consumidores em cada município. Serão atribuídos como *input* os custos de aquisição (valor de venda), movimentação nas bases, Transporte e Tributos (da distribuição).

Como resultados, é possível obter relatórios com fluxos de produto entre refinaria, base e municípios com transporte que satisfazem as restrições de capacidade, demanda e conservação de fluxo com o menor custo possível, custo marginal dos polos de venda, custo médio do produto nos diversos mercados, e o objetivo da função, a minimização do custo total do mercado. Além dos relatórios numéricos, mapas com as camadas selecionadas que facilitam a visualização do cenário resultante e dos efeitos a cada variável modificada nos dados de entrada.

4.1.1.

Camadas de transporte e bases

É possível obter capacidade das bases de distribuição na relação de distribuidores em ANP (2018e), que foi utilizado para este trabalho. Devido à dificuldade de obter publicações quanto ao custo de operação das bases de distribuição, se fez necessário entrevistas com especialistas da área de distribuição no país, e ficou constatado que operar uma base que tenha operação com navios é mais dispendioso que uma base terrestre, onde só há movimentação por caminhão ou trem. Isso ocorre devido aos altos custos de estadia paga em embarcações, além da exigência da descarga do navio no máximo em 24 horas, o que exige que essas bases operem em regimes de turno, com elevação dos custos de operação com maior número de funcionários ou com maior incidência de pagamento de horas extras. Além disso, os terrenos em áreas portuárias sofreram grande valorização devido à escassez de disponibilidade de espaço para novas construções. Para as bases primárias, aquelas interligadas por duto a uma refinaria ou terminal, considerou-se um custo mais baixo de operação por haver somente uma carga de transporte, diferente das bases secundárias onde há uma descarga e um carregamento. Além disso, bases primárias costumam ter giros maiores, contribuindo para diluir o custo de operação por volume (o modelo considera somente o custo variável). Dessa forma, foram formados três subgrupos para classificar os custos operacionais das bases, ordenados por custo iniciando do mais econômico: Primárias, Secundárias e Marítimas (quando ligadas a um terminal marítimo ou diretamente a um píer).

O modal ferroviário possui restrições para a movimentação de combustíveis, por mais que tenha um terminal ferroviário próximo a uma base de distribuição, pode estar indisponível para realizar este tipo de carga, seja por falta de vagões de combustível no comboio, ou mesmo ausência de conexão e ramal ferroviário. Assim, para refletir o uso deste modal, sua disponibilidade no modelo está de acordo com as movimentações informadas no anuário da Secretaria de Política Nacional de Transportes (SPNT, 2018). Na figura 23 observa-se o mapa com a representação dos polos de venda e bases de distribuição, juntamente com os arcos cadastrados para os modais ferroviários e hidroviários, onde os fretes foram calculados através de tarifas publicadas na ANTT (2018).

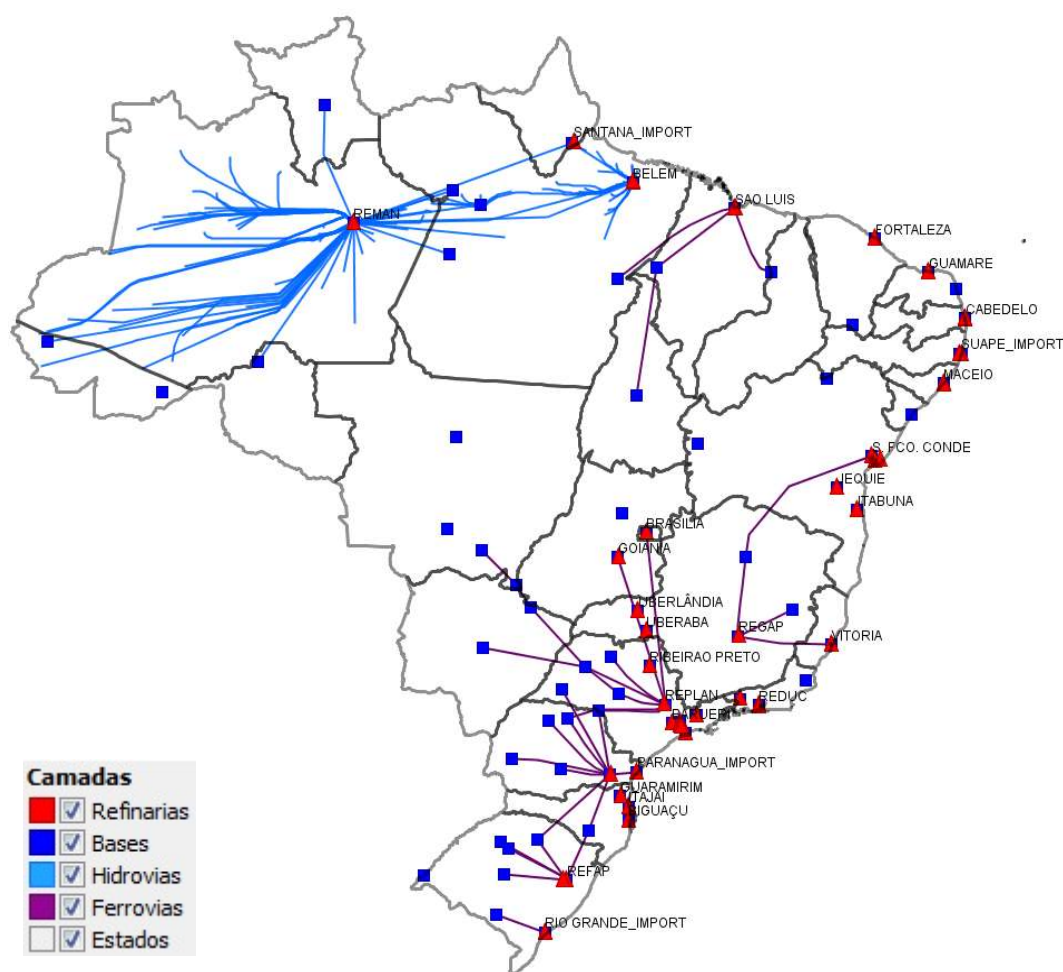


Figura 22 – Representação de Hidrovias e Ferrovias com fluxos observados entre bases (nós)

Além do modal ferroviário e hidroviário mapeados na figura 23, o principal custo para a distribuição na matriz de transporte vem do modal rodoviário, onde ocorrem as entregas para os clientes de cada município. Quando se fala de caminhões tanque, 2 tipos de caminhões são mais usuais entre as distribuidoras:

- Caminhão truck, utilizado para entrega a clientes, com tanques compartimentados ou multidivisões, isto é, capacidade 15 mil a 25 mil litros com tanques de 1 mil a 5 mil litros;
- Caminhão Carretas, utilizados para transferência de combustíveis, com 1 ou 2 compartimentos, e capacidades entre 30 mil e 46 mil litros, conhecido como bi-trem.

O SIAM utiliza da camada SIG de rodovias para calcular o frete da entrega dos polos de venda até os clientes nos municípios, em função da distância e custo por quilômetro rodado em cada estado definido obtido pela ferramenta Zap Fretes, (Zap Logística, 2018). Porém, as más condições em parte das rodovias brasileiras impactam nos custos da viagem, com maior desgaste e consumo de combustível, acréscimo de tempo, redução da segurança, entre outros. Para que o modelo possa ter maior aderência com a realidade do transporte praticado, o mesmo permite que cada arco do SIG (aproximadamente 28 mil) possa ser cadastrado no banco de dados com um fator de correção, representando as condições das estradas pelo país. Dados do CNT (2018) mostram que somente 12,2% das rodovias no país em 2015 eram pavimentadas, aproximadamente 210 mil km. Assim, foram definidas por especialistas da empresa uma relação para calcular os custos das rodovias de acordo com seu tipo de pavimentação, que será utilizado neste estudo conforme tabela 5.

Tabela 6 – Fator de competitividade nos tipos de rodovias do país

TIPO RODOVIA	FATOR
Corredor duplo	0,77
Corredor pavimentado	0,88
Corredor duplo com pedágio	0,89
Duplicada com pedágio	0,92
Corredor pavimentado com pedágio	0,95
Pavimentada	1
Em pavimentação ou leito natural	2
Travessia em balsa	3

O conjunto bi-trem distribui a carga de uma forma mais equilibrada, resultando em maior economia de combustível e equipamentos como pneu. Além disso, sua capacidade superior permite um ganho de escala por transportar em média 80% a 200% mais de combustível que o conjunto Truck. A desvantagem de seu uso é a necessidade de descarga em outra base, uma vez que este

caminhão, por possuir tanques maiores dificultando a entrega, costuma transportar Gasolina A ou Diesel A, carecendo da mistura com o biocombustível para atender a especificação junto ao cliente final. Mesmo assim, para grandes distâncias o uso desse tipo de caminhão até uma outra base torna-se vantajoso quando comparado a caminhões de entrega. Para representar este ganho na ferramenta, foram criados, com o conhecimento adquirido através de entrevistas com especialistas do setor, arcos rodoviários fixos entre duas bases, formando rotas que são corredores de distribuição. Esses arcos rodoviários são utilizados na rede lógica do SIAM, assim como as ferrovias, quando serão acrescentados a rede de rodovias construída com os menores caminhos do SIG como se segue na figura 24.

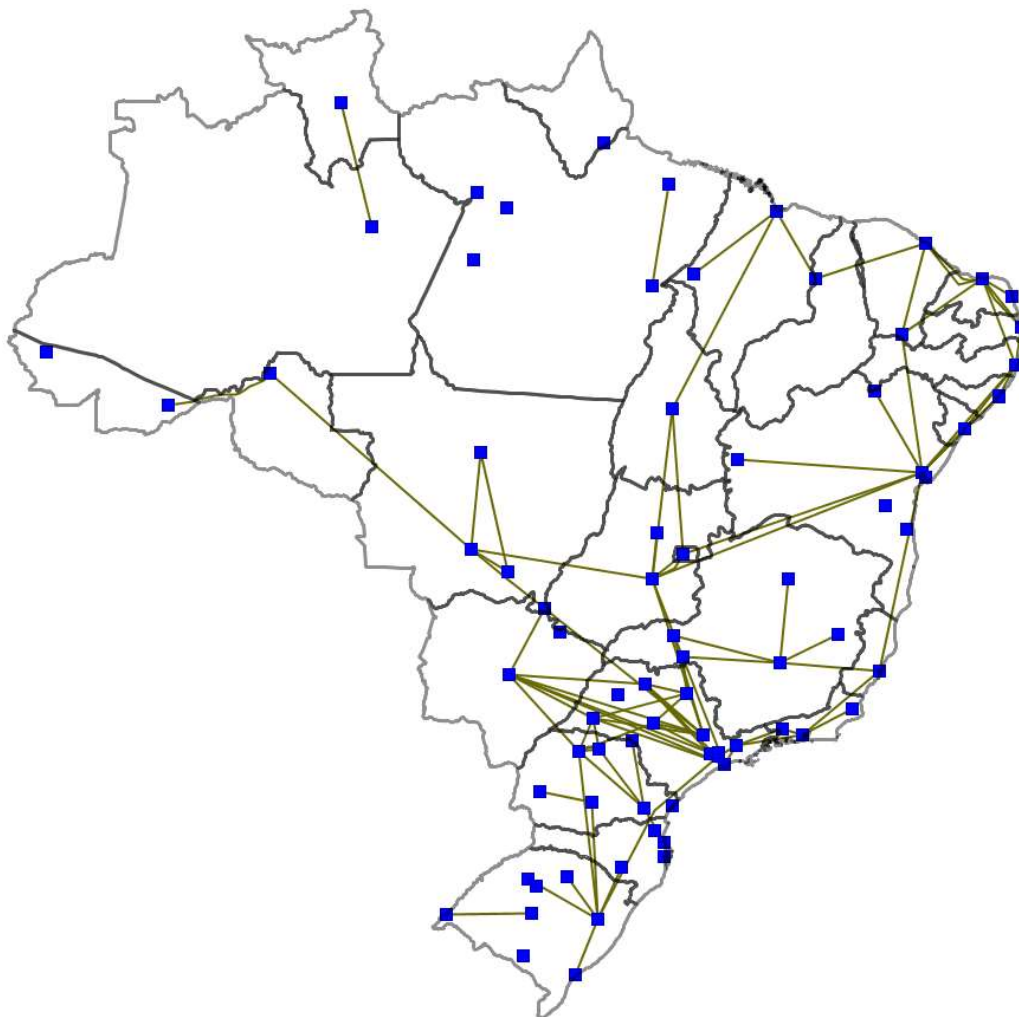


Figura 23 – Representação de Arcos Rodoviários entre Bases de Distribuição no SIAM

A capacidade das Bases para o modelo teve como referência o relatório de relação de tancagem de bases de distribuição de combustíveis da ANP

(2018e). Como a capacidade para o modelo significa movimentação e necessita de um giro de tancagem, foi feito levantamento de dados com especialistas do setor onde considerou-se para o estudo um giro mensal de 3, com um mínimo de movimentação de 20 mil m³ por produto. Em bases associadas a um polo de venda, foi considerada para capacidade o maior valor entre o giro de tancagem (com o mínimo estipulado acima) e a oferta deste polo.

4.1.2. Demanda de derivados

Concorrendo com o Etanol Hidratado e com o GNV, a gasolina abastece hoje cerca de 60% dos veículos de passeio no Brasil (PETROBRAS, 2018c). No Brasil, com a fabricação de veículos leves bi-combustíveis (também conhecidos como flex-fuel), foi possível aumentar a flexibilidade na escolha do insumo energético, e os consumidores podem mudar de combustível no curto prazo (ORELLANO et al, 2013). Santos (2013) analisa que os consumidores levam em consideração a eficiência dos produtos, e o equilíbrio de consumo se modifica quando o preço do etanol atinge o patamar de 70% do preço da gasolina. Para o problema que será proposto, adotaremos a premissa que a demanda de gasolina é inelástica, ou seja, independentemente de seu preço o mercado se manterá inalterado.

O Brasil, além das 17 refinarias existentes, conta com 3 centrais petroquímicas com produção de Gasolina A. As informações dos volumes de vendas de derivados de petróleo e etanol hidratado baseiam-se em dados declaratórios enviados à ANP pelas empresas responsáveis pela distribuição destes combustíveis, através do Demonstrativo de Produção e Movimentação de Produtos (DPMP), regulado pela Resolução ANP nº 17/2004. Os dados foram atualizados em março de 2018, enquanto os dados referentes aos volumes de importações e exportações de petróleo e derivados são extraídos, via internet, do sistema de informações da Secex.

ANP (2018a) relata que no mercado interno, as vendas de derivados pelas distribuidoras em 2017 registraram um crescimento de 1,3% em relação a 2016, totalizando 122,4 milhões de m³, se recuperando da queda de 2,5% entre os anos de 2016 e 2015. Ainda segundo ANP (2018a), o ano de 2017 com relação a 2016 registrou um aumento do volume comercializado de gasolina C em 2,6%, atingindo 44,1 milhões de m³, e as vendas de óleo diesel, de 54,8 milhões de m³, – volume

correspondente a 44,7% do total de vendas de derivados de petróleo no ano –, aumentaram 0,9% em relação ao volume do ano anterior, quando as vendas atingiram o menor valor desde 2011, depois de sofrer uma queda de 5,1% na comparação entre 2016 e 2015. Para o Diesel tipo “C”, as vendas anuais em 2017 representaram 53,6 milhões de m³, um crescimento com relação a 2016 de 1,2%. O volume total de vendas não inclui nafta, óleo combustível marítimo nem óleo diesel marítimo, que são vendidos diretamente pelos produtores aos consumidores, sem a intermediação das distribuidoras. Adiante será detalhado as vendas de Diesel e Gasolina como inputs para a modelagem.

O SIAM possui 5569 municípios cadastrados em todo país. Foi obtido através de da ANP (2018g) as informações para cada tipo de combustível sobre as vendas totais por município no ano de 2016 e as vendas mensais por estado em 2017. Vale ressaltar que a informação divulgada pela ANP refere-se ao combustível tipo “C”, e para esta modelagem deve ser desconsiderada a parcela de biocombustível do volume de venda. Dessa forma, para se chegar ao consumo de 2017, foi calculado um fator de ajuste entre esses dois anos, a partir da diferença das vendas de um ano para o outro em cada estado, aplicando esse fator do estado para cada município que a ele pertence, obtendo assim os volumes utilizados no modelo que podem ser encontrados de forma mais detalhada no Apêndice I.

Tabela 7 – Demanda dos produtos do modelo por região

Região (em mil m³)	Gasolina	Diesel S500	Diesel S10
<i>Norte</i>	185	233	117
<i>Nordeste</i>	543	324	332
<i>Sudeste</i>	1.126	1.014	637
<i>Sul</i>	576	598	242
<i>Centro Oeste</i>	256	378	146
Total Geral	2.686	2.548	1.474

4.1.3. Oferta nacional e Importações

Para se calcular a oferta de produto em cada polo de venda (nós-fontes), utilizou-se os dados referentes ao Relatório de Entregas Mensal ANP (2018h), onde são declaradas pelas distribuidoras os volumes referentes as entregas de combustíveis líquidos derivados de petróleo separado por produtor e polo de

fornecimento. Assim, é possível avaliar mês a mês os volumes entregues pelos produtores nacionais e importadores em cada polo de venda, para se obter a oferta máxima já observada em cada localidade. A partir de uma base de dados de 60 meses, entre 2013 e 2017, chegou-se aos mínimos e máximos entregues pela empresa estatal, assim como importadores e outros produtores nacionais. Observou-se que o máximo de importação dentro de um mês nesse período amostrado foi de 1.773 mil m³ para os três produtos somados, porém quando utilizados os máximos em cada localidade esse valor tem um acréscimo de aproximadamente 60%.

Tabela 8 – Entregas registradas por tipo de agente com máximos locais

Agente (em mil m³)	Gasolina	Diesel S500	Diesel S10
Empresa Estatal	3.202	4.292	1.630
Produtor Nacional	165	38	-
Importadores	759	922	1.004
Oferta Total	4.126	5.252	2.634

Para o importador, os custos mais relevantes associados, além do próprio preço do produto, serão o frete marítimo, com viagens em geral oriundas do US Golfo ou da Europa – Holanda, estadia do navio no porto, taxas portuárias, além do valor de armazenagem e movimentação no terminal aquaviário no destino. Alguns importadores realizam a entrega na base do cliente (FOB), inclusive em localidades no interior do país, arcando com o custo do transporte rodoviário. Porém, como este custo está embutido no preço final vendido ao distribuidor, o modelo proposto deve declarar o custo global da entrega nos terminais portuários, para que o custo de transporte seja atribuído ao caso de distribuição. O relatório de comércio exterior da ANP (2018f) indica os preços de importação na condição de venda por porto, porém foram feitos alguns ajustes para que este preço pudesse refletir o preço de venda da empresa estatal, uma vez que este considera parcela de tributos e custos operacionais. Assim, foi considerado o preço internacional praticado em dezembro de 2017 na costa do golfo americano para a Gasolina e do Noroeste da Europa para o Diesel S10, presente no mesmo relatório, e acrescido uma parcela de custo do transporte até o porto mais próximo (São Luís), mantendo a diferença nos demais portos conforme a média anual de 2017, a fim de minimizar impactos das tarifas de armazenagem. Com isso, foi possível calcular o preço paridade importação (PPI) para os portos acompanhados pela ANP.

Tabela 9 – Preços paridade importação por porto em R\$/litro

	US Gulf	Santos	Paranaguá	São Luis	Suape	Salvador	Manaus
Diesel 500	-	1,83	1,75	1,62	1,64	1,70	1,72
Diesel 10	1,56	1,86	1,78	1,65	1,67	1,73	1,75
Gasolina	1,46	1,67	1,59	1,52	1,57		

Fonte: ANP (2018f)

A partir destes portos, com auxílio do Flat Rates (Word Scale Association, 2018) e Zap Fretes (Zap Logística, 2018) foi possível calcular os fretes até as demais localidades, cuja tabela encontra-se no Apêndice I. O PPI médio por litro nos polos onde há venda da empresa estatal ficou em R\$ 1,67 para a Gasolina, R\$ 1,79 para o Diesel 500 e R\$ 1,82 para o Diesel 10.

Com o avanço das importações e a diminuição das entregas em bases interligadas em refinarias, há um forte desafio quanto a disponibilidade nas plataformas rodoviárias de carga e descarga nas bases e terminais de distribuição. Toda a contratação de transporte e logística também é previamente planejada, por questões de dimensionamento da frota de caminhões a ser utilizada e disponibilidade de mercado. Qualquer mudança nos volumes contratados traz impacto direto nesta área. Assim, para que o modelo represente esses gargalos logísticos, foi considerado o volume máximo importado em um mês nos últimos 2 anos por produto, o que provê a indicação de volume máximo potencial de importação de produto de terceiros considerando a infraestrutura atual.

4.1.4. Valoração do produto e Custos Tributários

A margem obtida com comercialização dos derivados pode ser definida como a diferença entre o preço de venda do polo local e o custo associado a esta operação. Como neste estudo o objetivo é, através dos diferenciais de preço, dimensionar um atendimento de mercado que permita maximizar o resultado econômico do sistema, o custo de oportunidade, o custo de atendimento representa uma parcela significativa, já que quanto maior ele for menor será a margem. Dessa forma, cada polo de venda terá sua formação de preço atrelada ao transporte e custos associados a produção na refinaria de origem. Além disso, os preços são balizados pelo preço internacional. Dado que a gasolina e diesel são faturados na entrega para as bases de distribuição, o preço a ser praticado em cada localidade vai implicar na escolha das distribuidoras em importar o produto ou adquiri-lo dos produtores nacionais, ou seja, o custo de oportunidade

para o produtor nacional pode fazer com que ele não seja competitivo diante do importador em algumas localidades. Esta etapa não será desenvolvida neste trabalho, pois já será adotado os preços praticados pela empresa com aplicação de uma constante, onde cada localidade de venda da empresa estatal possui o mesmo peso para o cálculo do preço médio de realização (PMR), que será comparado com a PPI. Os mesmos podem ser visualizados no Apêndice I.

Os impactos tributários nos custos dos combustíveis para as distribuidoras afetam diretamente suas decisões de atendimento dos mercados, responsável por uma parcela elevada no preço final dos combustíveis. Considerando fatores microeconômicos, no que diz respeito a economia ambiental e equilíbrio, a tributação é um mecanismo para correção da precificação em mercados que estão em concorrência imperfeita (PINDYCK e RUBINFELD, 2001). Com isto, é possível aumentar os impostos de combustíveis derivados do petróleo, seja pela poluição causada por eles ou estímulos ao setor de energias alternativas (PIGOU, 2013). Assim, o aumento de tributos passa a ser um incentivo para o consumidor final substituir seu consumo por um produto mais barato.

Estados vizinhos com grande variação tributária quanto ao ICMS devem gerar distorções na demanda dos produtos em cada local, como ocorre com a Gasolina onde as alíquotas chegam a variar de 34% a 25% entre estados vizinhos. Um consumidor que tiver a oportunidade atravessará para estados em busca de abastecer seu veículo a um menor preço, deixando os municípios próximos a fronteira com suas vendas impactadas pelo tributo aplicado. Como a demanda de cada município é um dado de entrada do problema já relacionado acima, esta questão não será aprofundada no presente estudo, mas serve para explicar algumas distorções de consumo bem como breve adendo para posteriores pesquisas quanto ao equilíbrio e formação da demanda. Vale lembrar que estes preços são dos produtos tipo “C”, quando já há a mistura do derivado de petróleo com o biocombustível. Além deste, há os impostos federais, CIDE e PIS/COFINS que é um valor fixado sobre o litro do combustível, independente da localidade ou preço atribuído ao produto, incidindo somente sobre a proporção de derivado existente no produto tipo “C”, isto é, 73% na Gasolina e 90% no Diesel (FECOMBUSTÍVEIS, 2018).

Além dos custos tributários citados acima, que incidem em parcelas fixas ou variáveis do preço final, há o custo financeiro, que representa o custo de ressarcimento na transferência interestadual do produto quando a alíquota de ICMS retida for maior que a devida, conforme explicado no capítulo 3. Para o cálculo deste custo, utilizou-se como custo de capital da distribuidora a própria

Taxa Selic do país, que se fixava no patamar de 6,5 % ao ano no período coletado (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018). Somado estes custos, pode-se definir em (43) a parcela de custo tributário para a distribuição apurado no modelo:

$$CUSTO\ TRIBUTÁRIO = CIDE + PIS/COFINS + ICMS-ST + RESSARCIMENTO \quad (43)$$

Conforme detalhado no capítulo 3 de metodologia, a ferramenta conta com duas opções de modelos de otimização, com tributos (onde não há restrições de capacidade) e sem tributos (com restrições de capacidade). Dessa forma, optou-se por utilizar ambos os modelos, para uma posterior comparação dos resultados que será analisado ainda neste capítulo.

4.2.

Dados para cadeia de abastecimento do produtor

Para o modelo de otimização do ganho da empresa estatal, é necessário imputar as informações desde a produção e importação de petróleo até a venda dos derivados nos mercados existentes, sendo que o mercado de gasolina e diesel que será definido pelo modelo anterior. A seguir serão definidas as principais variáveis que impactam no resultado final.

4.2.1.

Premissas financeiras e mercado

Conforme definido no capítulo 3 referente a construção do modelo, o modelo trabalha com o custo de oportunidade associado as alternativas de mercados existentes, ou seja, a escolha entre o que produzir para atender ao mercado, em qual refinaria, ou exportar o óleo cru.

Para a modelagem será considerado não apenas os mercados de gasolina e diesel, mas todos os produtos derivados a fim de se obter maior aderência quanto a margem do refino de cada tipo de petróleo. Quanto as demandas, estas estão definidas de acordo com o histórico do mercado de cada derivado. As importações e exportações de produto são permitidas, modeladas como nós de oferta e demanda dos produtos, com os custos logísticos – como terminal marítimo e viagem de longo curso – incorridos dessas operações relatados no modelo.

Para o modelo, o petróleo produzido pela empresa estatal não possui custo nem valor de mercado caso processado em uma refinaria do sistema, somente sua exportação gera uma receita para comparação do custo de oportunidade. Da mesma forma, mercados com atendimento obrigatório não possuem receitas, uma vez que este valor não alterará o resultado da otimização. Para os demais produtos, os valores empregados para a comercialização seguiu a cotação média do Brent 2017 e referências encontradas através EIA (2018) e ANP (2018a);. Como a moeda utilizada neste modelo para custos e comercialização de produtos é o dólar, utilizou-se a cotação média do câmbio do quarto trimestre de 2017 segundo PETROBRAS (2018b), medido a 3,25 em R\$ x US\$.

4.2.2. Produção nacional e a balança comercial

No ano de 2017 (PETROBRAS, 2018a), foi processada uma carga de 1,74 Mbpd pelo parque de refino nacional, um decréscimo de 5,2% no petróleo processado em relação a 2016, o que representou um fator de utilização das refinarias de 76,2%, enquanto 2016 a utilização foi de 80,3%. Dessa carga em 2017, o petróleo processado significou 1,67 Mbpd, dos quais 91,9% eram de origem nacional e 8,1% importado.

Quanto a produção nacional de derivados, o ano de 2017 registrou 110,2 milhões de m³ - 3,7% inferior à de 2016, que por sua vez foi 6,3% inferior a 2015. Desse volume, 105,8 milhões de m³, 96,1% do total, foram produzidos em refinarias, sendo o restante dividido entre centrais petroquímicas, UPGNs e outros produtores. Com isso, o volume de derivados de petróleo importado pelo Brasil cresceu 26,3% em relação a 2016, totalizando 35,7 milhões de m³.

O crescimento das importações refletiu uma maior diversificação dos agentes responsáveis pela oferta interna de combustíveis, o que, por sua vez, tende a contribuir com a ampliação das oportunidades de investimentos em infraestrutura de armazenamento e movimentação de petróleo, derivados e biocombustíveis. Em 2017, os Estados Unidos foram o principal exportador para o Brasil de óleo diesel, com 80,4%, e gasolina A, 39,7%, seguido de perto pela Holanda com 39,2% (ANP, 2018a). De acordo com a figura 3, em função da redução de utilização do refino visto anteriormente, é possível observar o aumento da dependência por importações:

Importação Líquida	2013	2014	2015	2016	2017	Dependência Externa
Diesel	-171	-188	-118	-128	-215	▲ 24,7%
Gasolina	-44	-32	-32	-38	-69	▲ 12,5%
Nafta	-121	-118	-121	-149	-179	▲ 77,1%
Etanol	50	16	23	16	-8	▲ 1,7%
GLP	-31	-37	-30	-39	-57	▲ 24,6%
QAV	-32	-26	-23	-21	-9	▼ 8,2%
Exportação de Petróleo	381	519	737	798	997	Em mil bpd

Figura 24 – Balança comercial de petróleo e derivados

Fonte: ANP (2018b)

O Brasil aumentou nos últimos anos as exportações de petróleo, porém, em função da política de preços da estatal, há uma tendência de continuar como importador líquido dos principais derivados.

O modelo considera o custo do arco de transporte das plataformas até os terminais marítimos onde o petróleo será internado ou exportado, além de custos em terminais no caso de produção terrestre. As fontes de petróleo são modeladas como nós de oferta de petróleo que serão transportadas até as refinarias ou mercado externo através de um conjunto de arcos ligados a terminais (nós intermediários), ambos com restrições de capacidade. Além das fontes de petróleo, o sistema possui dados de entrada para outras fontes, que representa a produção de derivados nas Unidades de Processamento de Gás Natural – UPGNs.

O refino é uma das partes mais complexas do modelo, pois além de abranger todas as refinarias do parque com suas respectivas unidades, considera características de qualidade e degradação de produtos, rendimento, fator operacional e insumos nas unidades. As refinarias não possuem capacidade de armazenagem ou movimentação, estando restritas pelos limites de carga e produção.

Em 2016, esta empresa teve uma produção de óleo e líquidos de gás natural (LGN) de 748,4 milhões de barris de petróleo, média equivalente a 2,05 Mbpd, enquanto no ano de 2017 foi registrado uma produção de 2,15 Mbpd (PETROBRAS, 2018b). A produção de derivados da empresa no Brasil foi de 1,8 Mbpd, com 692 mil barris por dia (kbpd) de Diesel e 439 kbpd de Gasolina. A empresa obteve na venda de seus derivados uma média de 1,94 Mbpd. No comércio internacional, a empresa registrou em 2017 um volume superavitário de petróleo, com 127 kbpd de importação e 512 kbpd de exportação, enquanto o

balanço para derivados é levemente negativo, com 180 kbpd de importação e 157 kbpd de exportação, tendo como resultado da exportação líquida de petróleo e derivados 361 kbpd.

Oito grupamentos de petróleo nacional são considerados, assim como 13 frentes de importação do mercado externo de petróleo. Assim, taxas de rendimentos foram estabelecidas para cada óleo cru, em cada refinaria, assim como os custos de produção. Os valores para estes custos de refino, taxas de conversão, bem como custos de transporte, de produção de óleo cru, capacidades de refino e de produção de cru, podem ser vistos no Apêndice II.

4.2.3. Custos da cadeia logística

Após os derivados serem produzidos pelas refinarias, os mesmos são expedidos para terminais que realizam a armazenagem em tanques antes da venda para os distribuidores. Estes terminais podem estar localizados próximos às refinarias ou não, onde a transferência necessita de um modal, normalmente dutoviário ou marítimo. Os terminais marítimos realizam a interface com os navios e barcas, realizando o carregamento dos derivados para transporte aquaviário até outro terminal marítimo, onde, assim como ocorre na importação, os produtos serão descarregados, armazenados, e enviados para outro terminal ou base de distribuição.

Todos os terminais existentes da empresa subsidiária estão no PLANINV, com custos estimados para sobrestadia de navio em 3 faixas diferentes dependendo do nível de utilização. Os arcos de transporte contabilizam 148 trechos de dutos, 16 arcos ferroviários, 1.260 possibilidades de rotas de cabotagem e outros 1.234 trajetos para longo curso, além de arcos rodoviários e hidroviários, totalizando 6 grupos de transporte. Nos arcos do grupamento longo curso de petróleo, por exemplo, está incluído um custo adicional para operação de “*ship-to-ship*”, uma vez que os navios que realizam o alívio das plataformas estão adaptados com sistema DP (*Dynamic Position*, ou posição dinâmica), para reduzir risco de colisão com as mesmas. Para grupamento de cabotagem e longo curso podem existir arcos com mais de um tamanho de lote, ou seja, o tamanho do navio influencia no custo operacional, e navios com maior capacidade em regra são mais baratos quando comparados proporcionalmente por uma unidade do produto carregado (m³ ou tonelada). Assim, todos estes custos são incorridos pela

empresa estatal, numa transferência entre terminais de sua responsabilidade antes da venda do produto tanto no mercado interno como no externo.

4.3. Desenvolvimento de cenários

Uma técnica muitas vezes adotada é o planejamento de cenários. Segundo SIMCHI-LEVI (2000) esta consiste em capturar as incertezas inerentes às estimativas de alguns inputs através da determinação de um certo número de cenários. O objetivo é encontrar soluções que tenham bom comportamento dentro dos cenários. Com a utilização desta técnica, as empresas podem se preparar para variações no ambiente de negócios e incertezas futuras.

Inicialmente, optou-se por desenvolver diferentes preços médios de realização para cada combustível objeto deste trabalho, com uma variação da margem de R\$ 20 entre eles. Após rodar o modelo, viu-se a necessidade de 8 cenários para uma boa representação do caso. Também foi testado um cenário onde a empresa praticou os mesmos preços dos importadores, ora considerando um limite máximo de oferta nos nós e ora com oferta ilimitada. Além destes, foi feita uma otimização considerando a ausência de importação, isto é, a empresa estatal praticando preços nos polos de venda iguais ao preço de paridade importação por localidade, respeitando a oferta mínima e máxima histórica. Assim, o experimento gerou, para cada produto, 12 cenários diferentes, totalizando 36 resultados de áreas de influência, sendo que este número ainda seria multiplicado pelo fato de haver dois algoritmos diferentes no modelo, com e sem tributos. Após essa etapa, foi necessário reproduzir essa massa de dados no PLANINV para enfim responder qual cenário representa a maximização do lucro da empresa.

Esta segunda etapa da modelagem traz uma otimização diferente para cada demanda encontrada, podendo confrontar inclusive margens diferentes para cada produto. Com 8 cenários de variação de preços médios além outros quatro cenários de validação para cada um dos três produtos, a construção poderia chegar, no limite, a 1.728 cenários. Para reduzir o número de otimizações nesta segunda etapa, foram adotadas previamente premissas com a interpretação dos preços e condições. Como o cenário sem importadores é um caso isolado, estes dois não foram fatorados entre os demais cenários de importação, assim como o que traz preço de paridade importação, onde teria uma condição de mercado fechado. Como Diesel S10 e Diesel S500 são substitutos entre si no mercado,

trabalhar com margens diferentes, além da valoração de mercado já representado nos preços, pode representar migração de mercado para o lado que estiver com preços menores. Assim, foi proposto rodar 67 otimizações do modelo matemático, sendo três otimizações isoladas para os casos de preço de paridade e sem importação e 64, uma matriz 8x8, representando as 8 arbitragens de preços para gasolina e diesel definidas na otimização anterior.

Tabela 10 – Cenários desenvolvidos na ferramenta SIAM

Código e produto			Descrição dos dados de ofertas e preços		
Gasolina	D500	D10	Ofertas mínimas e máximas	\$ Emp.	\$ Imp.
1	13	25	Ofertas máximas ilimitadas e mínimos zerados nos polos.	PPI	PPI
2	14	26	Mínimo e máximo histórico da ANP de cada polo.	PPI	PPI
3	15	27	Sem importação, manutenção das ofertas da empresa.	PPI	-
4	16	28	Igual ao cenário 3.	PMR	-
5	17	29	Igual ao cenário 2.	PMR-20	PPI
6	18	30	Igual ao cenário 2.	PMR	PPI
7	19	31	Igual ao cenário 2.	PMR+20	PPI
8	20	32	Igual ao cenário 2.	PMR+40	PPI
9	21	33	Igual ao cenário 2, com a redução de 25% dos mínimos.	PMR+60	PPI
10	22	34	Igual ao cenário 9.	PMR+80	PPI
11	23	35	Igual ao cenário 2, com a redução de 50% dos mínimos.	PMR+100	PPI
12	24	36	Igual ao cenário 11	PMR+120	PPI

Tabela 11 – Cenários para otimização no PLANINV a partir dos resultados do SIAM

Código cenários PLANINV	Resultados SIAM					
	Gasolina		Diesel 500		Diesel 10	
A	2	+	14	+	26	
B	3	+	15	+	27	
C	4	+	16	+	28	
1 - 64	(5;12)	x	(17;24)	+	(29;36)	

4.4.

Resultado da otimização do SIG: Áreas de influência

Como informado no capítulo 3, a modelagem para minimização dos custos das Distribuidoras é possível através de dois algoritmos, com tributação e sem capacidade nos arcos (TRIB), ou com capacidade e sem influência de tributos (CAP). Foram testados ambos os algoritmos, obtendo os seguintes resultados mostrados na tabela 9:

Tabela 12 – Resultados das escolhas para atendimento nos modelos:

	Gasolina			Diesel 500			Diesel 10		
	Oferta	TRIB	CAP	Oferta	TRIB	CAP	Oferta	TRIB	CAP
Cenário (6) PMR = PPI									
Empresa	3.202	2.199	2.212	4.292	2.355	2.387	1.630	1.239	1.264
Market-Share		82%	82%		92%	94%		84%	86%
Ref.Nac	165	127	121	38	13	17	-	-	-
Importadores	759	360	353	915	179	144	959	235	212
Cenário (12) PMR = PPI+120									
Empresa	3.202	1.856	1.798	4.292	1.647	1.627	1.630	590	582
Market-Share		69%	67%		65%	64%		40%	39%
Ref.Nac	165	165	165	38	38	38	-	-	-
Importadores	759	664	722	915	863	883	959	884	892

Como se pode observar na tabela 9, a inserção do ressarcimento tributário no cálculo de custo não apresentou grandes influencias nas escolhas das distribuidoras entre as ofertas da empresa ou importadores. Para prosseguir a comparação entre os algoritmos, observa-se na tabela 10 a quantidade transportada pelas distribuidoras a partir do modal ferroviário:

Tabela 13 – Utilização do modal ferroviário nos modelos

<i>Produto</i>	PMR = PPI		PMR = PPI + 120	
	<i>TRIB</i>	<i>CAP</i>	<i>TRIB</i>	<i>CAP</i>
Gasolina	518	137	512	135
Diesel 500	818	220	1.019	203
Diesel 10	345	196	395	158
TOTAL	1.681	553	1.926	496
% Uso modal	25%	8%	29%	7%

É possível notar que o algoritmo sem capacidades privilegiou o transporte ferroviário, não retratando os gargalos deste transporte no país e os volumes efetivamente movimentados segundo SPNT (2018), presente no Apêndice I deste trabalho. Dessa forma, o algoritmo com capacidades se revelou mais aderente para o trabalho, além de representar um problema de fluxo completo, com as restrições nos arcos. As tabelas 11, 12 e 13 apresentam um resumo dos resultados na ótica de minimização dos custos de distribuição, com a escolha do algoritmo capacitado para os combustíveis Gasolina e Diesel:

Tabela 14 – Resultados SIAM para Gasolina

Cenário	Vendas Gasolina (em mil m ³)			Custos da distribuição (em R\$ MM)			
	Empresa	Import	Ref. Nac	Produto	Transporte	Base	Total
1	2.631	55	-	4.428	144,9	20,3	4.593

2	2.373	153	160	4.437	135,4	21,9	4.594
3	2.526	-	160	4.446	134,4	20,2	4.601
4	2.565	-	121	4.441	142,5	20,8	4.604
5	2.269	301	116	4.372	137,4	23,7	4.533
6	2.212	353	121	4.416	137,4	24,5	4.578
7	2.206	353	127	4.460	137,9	24,4	4.622
8	2.102	418	165	4.500	139,9	25,4	4.666
9	2.023	498	165	4.534	145,4	26,2	4.706
10	1.891	630	165	4.571	146,6	27,0	4.744
11	1.820	701	165	4.604	149,4	27,3	4.781
12	1.798	722	165	4.639	150,7	27,3	4.817

Tabela 15 – Resultados SIAM para Diesel S500 (ATE)

Cenário	Vendas Diesel 500 (em mil m ³)			Custos da distribuição (em R\$ MM)			
	Empresa	Import	Ref. Nac	Produto	Transporte	Base	Total
1	2.631	55	0	4.580	210,7	24,1	4.815
2	2.373	153	160	4.589	216,1	22,6	4.828
3	2.526	0	160	4.592	215,7	22,0	4.830
4	2.565	0	121	4.529	227,1	22,2	4.779
5	2.269	301	116	4.478	224,5	22,3	4.725
6	2.212	353	121	4.527	223,6	23,1	4.774
7	2.206	353	127	4.563	231,2	25,5	4.820
8	2.102	418	165	4.596	240,5	26,4	4.862
9	2.023	498	165	4.602	260,4	29,5	4.892
10	1.891	630	165	4.630	265,8	30,8	4.927
11	1.820	701	165	4.657	266,5	31,2	4.955
12	1.798	722	165	4.682	274,5	31,5	4.988

Tabela 16 – Resultados SIAM para Diesel S10 (BTE)

Cenário	Vendas Diesel 10 (em mil m ³)			Custos da distribuição (em R\$ MM)			
	Empresa	Import	Ref. Nac	Produto	Transporte	Base	Total
1	1.427	47	-	2.664	90,9	12,9	2.768
2	1.331	143	-	2.654	99,6	14,2	2.768
3	1.474	-	-	2.666	101,2	13,5	2.780
4	1.474	-	-	2.688	102,5	16,5	2.807
5	1.369	105	-	2.617	103,8	14,1	2.735
6	1.264	211	-	2.641	104,6	14,6	2.761
7	1.060	414	-	2.662	106,1	16,6	2.785
8	1.006	468	-	2.681	112,4	17,1	2.810
9	782	692	-	2.689	116,9	20,2	2.826
10	713	761	-	2.698	124,6	20,9	2.844
11	631	844	-	2.702	130,1	22,0	2.854
12	582	892	-	2.708	120,0	22,4	2.851

Foi possível observar que, quando aplicado um PMR com margem de R\$ 120 com relação ao PPI em cada produto (cenários 12, 24 e 36), a entrega dos importadores teve média de 95% do total ofertado, onde 30 dos 39 polos de importação atingiram 100% de utilização, indicando um consumo restrito pela capacidade dos nós, proporcionando um incentivo para novos investimentos em infraestrutura de forma a ganhar mercado e com aumento das importações. Para aprofundar a análise, o relatório de custos marginais nos polos de importação está informado na tabela 14:

Tabela 17 – Valores marginais nos polos de importação

Polos de importação	GASOLINA			DIESEL 500			DIESEL 10		
	Volume oferta*	Volume entrega*	Ganho marg**	Volume oferta*	Volume entrega*	Ganho marg**	Volume oferta*	Volume entrega*	Ganho marg**
Paranaguá	148	148	0,0	235	235	0,4	214	166	0,1
Suaape	183	163	0,1	121	121	0,0	118	118	0,0
São Luís	73	73	2,1	192	192	0,4	132	132	0,2
Santos	105	105	7,1	106	106	12,6	225	225	0,0
Salvador	39	39	17,4	37	37	8,1	48	48	4,0
Manaus	41	41	221,8	85	85	50,8	33	33	3,6
Belém	33	33	23,4	29	29	6,6	49	44	6,6
Fortaleza	29	29	97,3	17	17	0,2	24	24	134,2
Guamaré	-	-	-	15	3	0,7	-	-	-
Cabedelo	10	10	2,6	-	-	-	14	14	0,6
Maceió	11	-	-	15	-	-	-	-	-
Vitória	20	20	19,8	25	25	124,6	27	27	127,9
Rio de Janeiro	20	20	71,0	-	-	-	37	37	3,1
Rio Grande	32	32	10,4	25	25	19,8	38	24	0,3
Santana	16	11	38,3	21	9	70,5	0	-	-
TOTAL	759	723	-	922	883	-	959	892	-

* em mil m³ e ** em R\$ / m³

Para exemplificar a análise da tabela acima, sugere-se atentar ao cenário de gasolina, onde há um ganho marginal de até R\$ 221,8/m³ em Manaus, ou seja, o importador pode aumentar seu preço até esse patamar que não perderá mercado caso a empresa estatal escolha o cenário com arbitragem de R\$ 120/m³. Em contrapartida, Paranaguá não possui margem para aumento de preços sem perda de mercado, o que não significa, porém, que o acréscimo na oferta não será aproveitado, podendo haver outros mercados onde este polo seria mais competitivo, deslocando as áreas de influência. Assim, em polos que possuem valor marginal pequenos, um acréscimo de preço não necessariamente resulta em uma de seu mercado, uma vez que os importadores de cada localidade podem estar competindo entre si. O investimento em novas infraestruturas logísticas pode ser compensado para os importadores pelo ganho de mercado que hoje pertence a empresa estatal, e faz-se necessário uma outra rodada com novos preços para saber o volume de cada agente por localidade.

4.5. Otimização do ganho para a empresa estatal

A otimização para a empresa estatal indicou que, conforme o mercado de Diesel e Gasolina era subtraído, as exportações de petróleo aumentavam, significando menor atratividade em refino devido a preços menos atrativos do

mercado internacional e dos demais derivados no mercado interno. Enquanto no cenário 1, com $PMR = PPI-20$ em ambos os produtos, o nível de utilização do refino estava em 83%, no cenário com menor mercado ($PMR = PPI+120$ em ambos os produtos), o nível de refino caiu para 66%, e as exportações de petróleo saltaram de 20% para 39% do total produzido nas fontes. Esses resultados por cenário estão no Apêndice II. Se por um lado, as importações de gasolina diminuem, por outro, as exportações de querosene de aviação e diesel, indicando oportunidades para a perda de participação no mercado interno.

A figura 25 ilustra o resultado econômico para a empresa estatal com a produção de refino e comercialização importação e exportação de produtos, com a variação nas vendas de gasolina a partir de cenários com intervalos de R\$ 20 na margem de preço (com preço e demanda de diesel fixos).

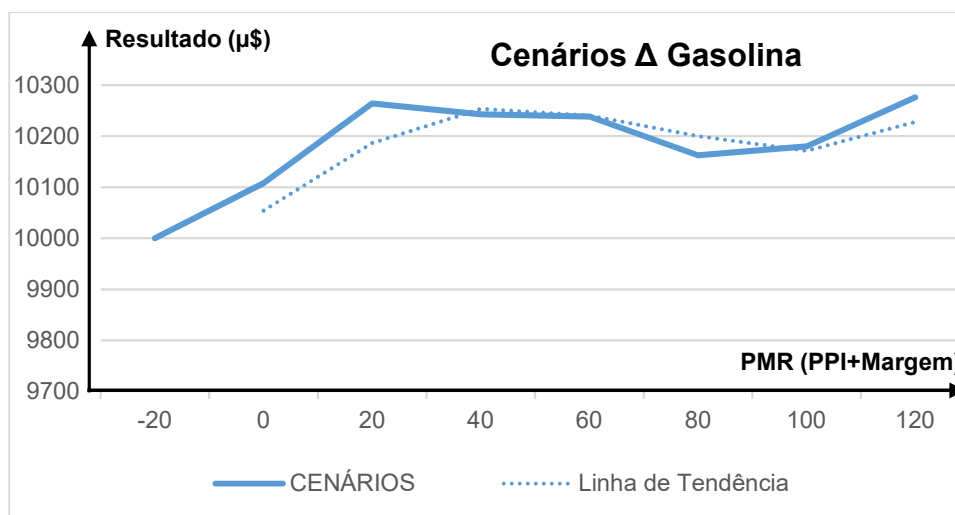


Figura 25 – Resultado econômico do refinador com a variação de preço e mercado de gasolina

Para analisar o impacto no diesel, a figura 26 mostra o resultado econômico para a empresa estatal com a produção de refino e comercialização importação e exportação de produtos, com a variação nas vendas de diesel a partir de cenários com intervalos de R\$ 20 na margem de preço (preço e demanda de gasolina fixos).

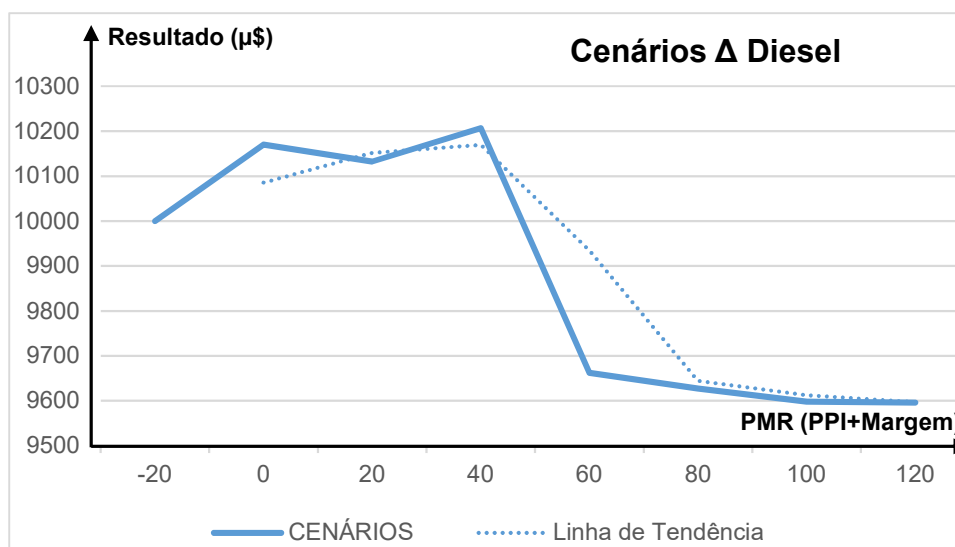


Figura 26 – Resultado econômico do refinador com a variação de preço e mercado de diesel

4.6. Análise dos cenários

Pode-se observar pelos resultados do modelo da cadeia do produtor que a produção de GLP é afetada conforme se reduz a produção de Diesel, devido a redução da carga da unidade de Coqueamento. Como este mercado interno de GLP é atendido 100% pela empresa nacional devido a sua política de preços subsidiados nos últimos anos, que desestimulou investimentos de terceiros em infraestrutura além dos altos custos de operação em função da característica deste produto, a mesma fica obrigada a aumentar sua importação no momento de queda da produção nacional. Logo, a redução do mercado de Diesel impacta no custo para atendimento do GLP, tornando-se mais oneroso para o sistema. Por outro lado, o mercado de Gasolina praticamente não influencia a produção de GLP com a atual estrutura do parque de refino.

O modelo identificou algumas oportunidades para exportação do Diesel, tanto de baixo teor de enxofre quanto de alto teor de enxofre, aumentando os níveis de exportação conforme a venda deste produto no mercado nacional se reduzia, mostrando que o Diesel tem um alto valor marginal quando comparado ao petróleo, o que favorece o refino mesmo com a penalização do custo para exportação.

Já a Gasolina, por ser deficitária no parque de refino, teve sua importação reduzida quando o atendimento do mercado estava mais baixo. Da mesma forma a Nafta Petroquímica, na qual a empresa atende ao mercado nacional muitas

vezes com importação, teve redução nos volumes importados conforme o mercado de gasolina era reduzido, isto é, a nafta que preferencialmente seria endereçada para a formulação da gasolina, na ausência deste mercado foi alocada para atendimento do mercado petroquímico, com custo de oportunidade melhor que sua comercialização com o mercado externo.

Apesar do modelo indicar melhores resultados com preços de PPI+120 para a gasolina com relação aos demais cenários, estes valores devem ser analisados com critério, visto que já havia uma tendência de queda na curva, o que sugere que estes valores podem ter sido influenciados pelos limites máximos de oferta para importação, obrigando a distribuidora a escolher a empresa nacional pelo esgotamento das importações em algumas localidades. Estes resultados, mesmo com a obtenção de lucros melhores no curto prazo, sugerem o quão arriscado pode ser essa estratégia de altos preços no longo prazo. Para a gasolina, o melhor resultado ocorreu no cenário PPI+20, e com o cenário PPI+40 de arbitragem sendo superior ao cenário base de valor igual a PPI, indicando que esta faixa é a mais adequada para empresa obter melhores resultados. O Diesel obteve maior ganho no cenário com PPI+40 de arbitragem, sendo que o cenário com PPI e PPI+20 também se mostraram favorável frente a um mercado maior com preços mais baixos. Os cenários acima de PPI+40 não se mostraram benéfico, com redução nos resultados após uma baixa significativa do nível de refino. Vale ressaltar que, enquanto a redução gasolina em 0,5 milhão m³ resultou em até 0,3 milhão m³ de óleo, o recuo em 1,7 milhão m³ do mercado de Diesel reduziu o consumo de óleo em refinarias no mesmo patamar, isto é, aproximadamente 20% da carga do cenário com maior mercado.

5 Conclusão

5.1. Considerações gerais

Este trabalho foi capaz de apresentar uma nova metodologia e modelagem para otimização da cadeia logística de combustíveis no Brasil, de forma que os modelos existentes fossem integrados para uma aplicação a realidade competitiva do mercado. A modelagem de rede e o modelo matemático utilizado neste trabalho mostraram-se, mesmo diante de simplificações e limitações existentes, como a ausência dos biocombustíveis e inelasticidade da demanda, adequados para responder o problema proposto de aumentar a lucratividade da empresa. De forma a manter o foco no objetivo proposto, foi delimitado o escopo para que o estudo se restringisse ao ganho com a arbitragem de preços. As instalações existentes, tanto de importadores quanto dos produtores nacionais, possuem ofertas limitadas, não sendo considerados no estudo possíveis ganhos com acréscimo de capacidade. A ferramenta com uso do SIG mostrou-se robusta e adequada para atingir os resultados, além do fácil gerenciamento de uma grande quantidade de dados e fácil visualização dos resultados em mapa. O desenvolvimento de cenários permitiu simular um experimento com diversos preços para a escolha do que melhor se adequa ao objetivo. Quanto mais cenários puderem ser desenvolvidos, maior será o conjunto de resultados e mais completa ficará a curva de resultado econômico para a empresa.

A conclusão do experimento aplicado mostrou que a melhor alternativa para maximizar o resultado é permitir uma parcela de importação, de modo que o parque de refino tenha suas unidades de forma melhor otimizadas. Este benefício poderá ainda ser maior, se for considerado o aumento gradativo de mercado, que implicaria em mais investimentos de refino e logística para suportar o atendimento obrigatório. Deve ser considerado também que a importação hoje está apoiada no uso do modal rodoviário, e investimentos dos agentes em modais mais seguros e com menor custo operacional como dutos e ferrovias deve aumentar os níveis de entrega. O trabalho atingiu seu objetivo quanto ao levantamento bibliográfico dos problemas de rede clássicos e aplicações de modelos na academia, que foram utilizadas como insumo para a elaboração do modelo feito neste trabalho.

5.2.

Aplicação prática e Contribuição para a Indústria e a Academia

Do ponto de vista da indústria, os resultados numéricos deste trabalho são meramente ilustrativos. As suposições feitas sobre custos de transporte, de operação e de refino, além da incidência de impostos e custos comerciais e de oportunidade de negócio possuem simplificações e seus valores podem não corresponder exatamente a realidade, contudo têm ordem e abrangência corretas. Assim, esta modelagem traz uma aplicação eficaz para a empresa, pois a auxilia na quantificação de seus resultados em um cenário de competição em que a mesma se encontra inserida, considerando as singularidades do mercado e indústria no país.

A modelagem de rede proposta retrata, de forma simplificada, a cadeia de *downstream* no país de forma útil para analisar o mercado de combustíveis, podendo ser aproveitado tanto pelos distribuidores quanto pelo governo para análise da malha logística e infraestrutura visando o crescimento de municípios e regiões. Para uma análise econômica mais completa, questões como custo dos estoques, estoque em trânsito e até postergação de receitas com a venda num ponto mais distante do local de produção podem ser levadas em consideração.

Para a academia o trabalho se mostra relevante pois atingiu o propósito inicial, com a utilização de modelos matemáticos com funções objetivas distintas de forma integrada para representar uma modelagem de rede para um cenário de competição na indústria do petróleo do país, pouco explorado até hoje aqui no país. Os modelos ainda podem ser utilizados de forma isolada, dependendo do interesse da pesquisa. A modelagem pode servir como uma referência para casos em que exista valor em integrar a otimização das plantas de produção com as decisões de compra dos clientes, em um cenário conjunto de planejamento operacional e de vendas.

Quanto a empresa nacional, é importante ressaltar que já se iniciou este tipo de modelagem com integração de duas ferramentas de otimização, e tem se mostrado bastante benéfico para definir os níveis de produção e apoiar os gestores na escolha dos preços praticados pela empresa. A partir deste ano, está previsto uma nova versão da ferramenta aplicada, com maior robustez em tributação, para assim refletir uma realidade ainda maior no resultado e compatibilidade no processo decisório. Além disso, para aumento na confiabilidade dos resultados de otimização, está em estudo o desenvolvimento de um módulo para variação de preços na ferramenta SIAM, para que possa desenvolver centenas de otimizações mais automático e menor interferência do

usuário, reduzindo possíveis falhas. Assim, o uso integrado das ferramentas poderá ser aplicado de forma contínua no planejamento, apoiando inclusive cenários de incerteza para análise de riscos mais detalhadas.

Ainda, é relevante comentar que esta modelagem vem servindo como referência para apresentar aos gestores e a até mesmo a outros atores da comunidade interessada que nem sempre uma produção máxima no parque de refino representa maior rentabilidade do negócio, pois suas diversas unidades dentro do parque possuem capacidades distintas, e os produtos gerados possuem valores atrelados a sua demanda de mercado, e não ao seu custo de produção. Refinar o petróleo pode significar vender produtos que são menos valorizados no mercado que o próprio petróleo. Assim, esta modelagem proposta, indicando os níveis de produção nas refinarias em modelos de planejamento de longo prazo, auxilia não só na operação em si, mas na identificação de gargalos e investimentos que possam agregar valor na cadeia, como reforma em unidades de refino e aumento da capacidade de escoamento dos produtos, seja por vazão de entrega para o mercado local ou necessidade de terminais para aumento do fluxo com mercado internacional para importação e exportação.

Ainda, é possível afirmar que esta metodologia vem auxiliando em estudos relacionados ao posicionamento estratégico no mercado, como abertura ou fechamento de polos de venda, contratação de operadores logísticos, análise econômica de ferrovias, sempre considerando a composição do custo e a decisão racional da cadeia de distribuição de forma a maximizar o resultado operacional da empresa estatal.

5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, surgiram ideias de aprofundamento e diversificação da pesquisa. Quanto aos modelos atuais, um desenvolvimento da ferramenta de otimização que concilie as restrições de capacidade com os aspectos tributários pode trazer um resultado mais realista das decisões tomadas pelos distribuidores na cadeia. Além disso, pode-se propor ainda como melhoria, buscando maior aderência ao problema real, aumento na complexidade dos dados de entrada dos modelos, com a utilização de conjuntos de dados contínuos ou discretos para representar variáveis que hoje são fixas no modelo. Como desdobramento e continuidade deste trabalho, é possível sugerir as seguintes oportunidades de estudo:

- Mercado de equilíbrio de preços em cenário de oligopólio, com refinarias em *clusters* ou de forma independente entre si, com a entrada de novos *players* no refino;
- Análise da elasticidade de demanda com produtos substitutos em função dos preços, onde a competição pode ser estimulada.
- Cenários envolvendo custo de oportunidade versus atendimento do mercado em cada polo de venda da empresa estatal;
- Impacto da implementação de livre acesso em dutos e terminais no mercado de distribuição de combustíveis no Brasil, bem como novos investimentos na malha logística;
- Abertura de novos polos de venda, considerando localização geográfica e custos de transporte e atendimento.

AIRES, M.; LUCENA, A.; ROCHA, R.; SANTIAGO, C.; SIMONETTI, L. Optimizing the petroleum supply chain at Petrobras. **Proceedings of the European Symposium on Computer-Aided Process Engineering** – 14. Lisboa, Portugal. [s.n.], 2004.

AHUJA, R.K, MAGNANTI, T.L.; ORLIN, J.B. Network Flows. **Prentice Hall Inc.** New Jersey, 1993.

AN, H., WILHELM, W.E., SEARCY, S.W. Biofuel and petroleum-based fuel supply chain research: a literature review. **Biomass Bioenergy** , 35 (9), 3763–3774, 2011.

ANP 2017. Oportunidades na produção e no Abastecimento de Combustíveis no Brasil, novembro de 2017. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/Livreto_Oportunidades_na_Producao_e_no_Abastecimento_v3.pdf. Acessado em 05 de junho de 2018.

_____, 2018a. Anuário Estatístico 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018>. Acessado em 7 de julho de 2018.

_____, 2018b. O Refino no Brasil. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/palestra/4425-o-refino-no-brasil> Acessado em 16 de junho de 2018.

_____, 2018c. Abastecimento em números. Brasil, maio de 2018. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim_Abastecimento/58/Boletim_n58.pdf. Acessado em 24 de julho de 2018.

_____, 2018d. Levantamento de Preços e de Margens de Comercialização de Combustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/estruturas-de-formacao-dos-precos>. Acessado em 28 de março 2018.

_____, 2018e. Relação de Distribuidores, Bases, Cessão de Espaço, Contrato de fornecimento, quotas e entregas. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/distribuicao-e-revenda/distribuidor/combustiveis-liquidos/relacao-dos-distribuidores-bases-cessoes-de-espaco-contrato-de-fornecimento-quotas-e-entregas>. Acessado em 2 de maio de 2018

_____, 2018f. Relatório de Comércio Exterior Nº5. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/importacao-e-exportacao/relatorios>. Acessado em 26 de março de 2018.

_____, 2018g. Dados Estatísticos. Brasil, dezembro de 2017. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>. Acessado: 27 março de 2018.

_____, 2018h. Publicação das entregas de combustíveis líquidos. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/distribuicao-e-revenda/distribuidor/combustiveis-liquidos/dados-de-mercado>. Acessado em 27 de março de 2018.

_____, 2018i. Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>. Acessado em 8 de abril de 2018.

ANTT. 2018. Concessões Ferroviárias. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/concessaofer/concessionariasfer.asp>. Acessado em 23 de março de 2018.

ARAÚJO, M. P. S., BANDEIRA R. A. M., GOUVEA, V. B. G. “Custos e fretes praticados no transporte rodoviário de cargas: uma análise comparativa entre autônomos e empresas”. **Journal of Transport Literature**. 8 (4): 187–226, 2014.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. 2018. Taxas de Juros. Disponível em: www.bcb.gov.br. Acessado em 17 de abril de 2018.

BISSCHOP, J.; ENTRIKEN, R. AIMMS the Modeling System. **Paragon Decision Technology**, 2002.

BOTELHO, Roberto R. P. **Estudo de um sistema de distribuição e análise de mercado e fluxos de rede: o caso SIAM**. . Dissertação de Doutorado. UFSC, Florianópolis, SC, 2001.

CÂMARA, Gilberto. **Modelos, Linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. . Tese de Doutorado. Computação Aplicada – INPE, São José dos Campos, SP, 1995

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Curitiba, SAGRES Editora, 1997.

CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Florida: CRC Press, 2004.

CNT. 2018. Anuário CNT do transporte 2017. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/anuario-cnt-2017-serie-historica-dados-transporte>. Acessado em 22 de julho de 2018.

CONFAZ. 2018. Atos Cotepe/ICMS. Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br>. Acessado em 17 de abril 2018.

CORMEN, T. H. et al. Algoritmos: teoria e prática. Rio de Janeiro: Campus, 2002

DASKIN, M. S. **Network and discrete location: models, algorithms, and applications**. Nova York, Wiley, 1995.

DENARDIN, Anderson Antonio. **A importação do custo de oportunidade para a avaliação de empreendimentos baseados na criação de valor econômico (Economic Value Added – EVA)**. . Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

EDMONDS, J. e KARP, R.M. , Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow problems, **J. ACM** 19, 2, 248-264, 1972.

EIA. 2018. U.S. Energy Information Administration. EUA. Disponível em: <http://www.eia.gov/>. Acesso em: 18 de junho de 2018.

EPE. 2007. Plano Nacional de Energia – PNE 2030. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/>. Acesso em 4 de abril de 2018.

EPL. 2015. Transporte inter-regional de carga no Brasil - Panorama 2015. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/transporte-inter-regional-de-carga-no-brasil-panorama-2015>. Acessado em 19 de julho de 2018.

FANCHI, J. R. E CHRISTIANSEN, R. L. **Midstream and downstream operations**. Chapter 15, 19 September 2016

FECOMBUSTÍVEIS. 2018. Revendedor. Tributação. Disponível em: <http://www.fecombustiveis.org.br/revendedor/tributacao/>. Acessado em 29 de março 2018.

FIORENCIO, L., *et al.* . **Investment planning in the petroleum downstream infrastructure** Int. Trans. Oper. Res. 2014.

FITZ, P. R.; Geoprocessamento sem Complicação, São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2008.

FLEURY, P.. “Logística no Brasil: Situação Atual e Transição para uma Economia Verde”. **Coleção de Estudos sobre Diretrizes para uma Economia Verde no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 2011.

FORD, L. K. e FULKERSON, D. R. **Constructing maximal dynamic flows from static flows, Operations Research** 6, 419-433, 1958.

FURMAN, K. C.; EL-BAKRY, A. S., SONG, JH . Optimization in th oil and gas industry. **Optim Eng** 18: 1, 2017.

GOLDBERG A.V. e TARJAN R.E., “A New Approach to the Maximum-Flow Problem”, **J. ACM**, vol. 35, no. 4, pp. 921-940, 1988.

GOMES, Jorge Salgado; ALVES, Fernando. Barata. **O Universo da Indústria Petrolífera: da pesquisa à refinação**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.

GUROBI. 2018. Disponível em: <http://www.gurobi.com/>. Acessado em 10 de maio de 2018.

HAMACHER, Silvio; FIORENCIO, Luiza; NUNES, Paula; OLIVEIRA, Fabricio. **Análise de investimentos na cadeia de suprimentos downstream da indústria petrolífera: proposta de um modelo de programação linear inteira mista**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2012.

IGNACIO, A.A.V.; FERREIRA FILHO, V.J.M . Seção de Software: o uso de software de modelagem AIMMS na solução de problemas de programação matemática. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro , v. 24, n. 1, p. 197-210, Apr. 2004 .

ILOS. **Custos Logísticos no Brasil. XIX Fórum Internacional de Logística**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.ilos.com.br>. Acessado em 8 de junho de 2018.

KATZER, J.R.; RAMAGE, M.P.; SAPRE, A.V.. Petroleum Refining: Poised for Profound Changes. **Chem. Eng. Prog.**, v. 96, n. 7, p.41, 2000.

KAZEMI, Y.; SZMEREKOVSKY, J. Modeling downstream petroleum supply chain: The importance of multi-mode transportation to strategic planning. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Vol. 83, November 2015, Pages 111-125, 2015

LEMON 2018. **LEMON Tutorial – Table of contents**. Disponível em: <http://lemon.cs.elte.hu/pub/tutorial/index.html>. Acessado em 18 de abril de 2018.

LEGGIO. 2017. **Logística de Distribuição**. Agosto de 2017. Disponível em: http://pages.cnpem.br/wectbe/wp-content/uploads/sites/83/2017/08/Leandro_SINDICOM.pdf. Acessado em 8 de junho de 2018.

LIMA, C.; RELVAS, S.; PÓVOA, A. B. Stochastic programming approach for the optimal tactical planning of the downstream oil supply chain. **Computers and Chemical Engineering** **108**, p.314-336, 2017.

LORENA, L. A. N. et al.. Integração de modelos de localização a Sistemas de Informações Geográficas. **Gestão e Produção**, v. 8, n. 2, p. 180-195, 2001.

MAPA, S. M. S.; LIMA, R. S. Uso combinado de SIG para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 119-136, 2012.

MME. 2017. Combustível Brasil. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/24442563/2017+05+10+Combustivel+Brasil+vFinal.pdf/8e7d6447-c2f3-47c0-8c15-f3f066a54c60>. Acessado em 2 de junho de 2018.

OLIVEIRA, F., GROSSMANN, I.E., HAMACHER, S.,. Accelerating benders stochastic decomposition for the optimization under uncertainty of the petroleum product supply chain. **Comput. Oper. Res.** 49, 47–58, 2014.

OLIVEIRA, F., et al. A framework for crude oil scheduling in an integrated terminal-refinery system under supply uncertainty. **European Journal of Operational Research**, V. 252, 2016

ORELLANO, Veronica Fernandez; SOUZA, Alberto De Nes de; AZEVEDO, Paulo Furquim de. Elasticidade-preço da demanda por etanol no Brasil: como renda e preços relativos explicam diferenças entre estados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 699-718, 2013.

PEREIRA, Ivan Costa. **Proposta de Sistematização da Simulação para Fabricação em Lotes**. . Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2000.

PETROBRAS. 2017. Nova Política de Precificação de Diesel e Gasolina. Brasil, 14 de outubro de 2016. Disponível em: <http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/comunicados-e-fatos-relevantes/fato-relevante-diretoria-executiva-aprova-politica-de-precos>. Acessado em 15 de novembro de 2017.

_____, 2018a. Refinaria de Paulínia (REPLAN). Disponível em <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais->

operacoes/refinarias/refinaria-de-paulinia-replan.htm. Acessado em 16 de julho de 2018.

_____, 2018b. Relacionamento com Investidores – Produção e Comercialização. Disponível em: <http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/destaques-operacionais/producao-e-comercializacao>. Acessado em 19 de maio 2018

_____, 2018c. Composição de Preços de Gasolina e Diesel. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos-de-venda-ao-consumidor/>. Acessado em 28 de março 2018.

PIGOU, Arthur Cecil. **The economics of welfare**. Palgrave Macmillan, 2013.

PINDYCK; RUBINFELD. 2001 - Livro Microeconomia – Ed. Pearson; 5ª Edição

POMPERMAYER, F. M. **Modelos de Equilíbrio Espacial de Preços para o Mercado Oligopolizado de Derivados de Petróleo Brasileiro**. Dissertação de Doutorado – Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

POMPERMAYER, F. M. et. al (2007) A spatial price equilibrium model in the oligopolistic market for oil derivatives: an application to the Brazilian scenario. *Pesquisa Operacional*, v.27, n.3, p.517-534

REJOWSKI JR, R.; PINTO, J. M. . An Milp Formulation for the Scheduling of multiproduct pipeline systems. **Brazilian Journal Chem. Eng**, v. 19, No. 4, p. 467-474, 2002.

RODRIGUES, Hydra; PRATA, Bruno. (2013). Um modelo de Programação Linear para a cadeia de suprimentos de petróleo e derivados no Brasil.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; LOUZADA, Franciane L.R. de Oliveira; EUGÊNIO, Fernando Coelho. **ARCGIS 9.3 total: aplicação para dados espaciais**. Alegre-ES: CAUFES, 2010. 184 p.

SANTOS, Gervásio F. Fuel demand in Brazil in a dynamic panel data approach. **Energy Economics**, v. 36, p. 229-240, 2013.

SEAR, T. Logistics planning in the downstream oil industry. **J. Oper. Res. Soc.**, 9–17, 1993

SEILA, A. F. Introduction to simulation. **Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference**, 1995.

SHOBRY, D. E.; WHITE, C. D. . Planning, Scheduling and Control Systems: Why Can They Not Work Together. **Comput. Chem. Eng.**, 24, 2000, 163.

SOMOS PLURAL. 2018a. **Logística, Cenário Nacional**. Disponível em <https://somosplural.com.br/biblioteca/logistica-cenario-nacional/>. Acessado em 21 de julho de 2018.

_____, 2018b. Anuário 2018. Disponível em: <https://anuario2018.somosplural.com.br/importacao/>. Acessado em 20 de junho de 2018

SPNT. “Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT”. Relatório Final. Setembro de 2012. Brasília, Brasil: Ministério dos Transportes e Secretaria de Política Nacional de Transportes. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/images/2014/11/PNLT/2011.pdf>. Acessado em 1 de julho de 2018.

_____, 2018. Anuário estatístico de Transportes 2010-2017. Disponível em http://www.transportes.gov.br/anuario_estatistico.html. Acessado em 18 de julho de 2018.

SZWARCFITER, J. L. **Grafos e Algoritmos Computacionais**. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 216 p. ISBN: 85-7001-138-5.

TEIXEIRA, R. G.; DA CUNHA, C. B. Heurísticas para o problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea utilizando o algoritmo out-of-Kilter. **Transportes**, v. 10, n. 2, p. 9-30, 2002.

TOMINAC, P.; MAHALEC, V. A Game Theoretic Framework for Petroleum Refinery Strategic Production Planning. **AIChE Journal**, v. 63, No. 7, p.2751-2763, 2017

TRANSPETRO, 2018. Relatório Anual integrado 2017. Disponível em: http://www.transpetro.com.br/pt_br/acesso-a-informacao/institucional/relatorios.html. Acessado em 10 de junho de 2018.

ZAP LOGÍSTICA. 2018. Zap Fretes. Disponível em: <http://www.zaplogistica.com.br/>. Acessado em 5 de abril de 2018.

APÊNDICE I

Detalhamento do problema no SIAM

Neste apêndice são apresentados os dados utilizados na aplicação do problema modelado no SIAM, representando o mercado brasileiro de gasolina e diesel em 2017. Também são apresentados os resultados detalhados de cada cenário em cada combustível.

I.1

Dados de entrada para o SIAM

É possível obter em ANP (2018f) preços para Gasolina e Diesel praticados pelos importadores em alguns portos do país. Na tabela I-1, observa-se os preços nos portos de referência publicados pela ANP e o resultado alcançado para os demais, calculados a partir do frete marítimo obtido com a ferramenta Flat Rates.

Tabela I-1 – Frete e preços de importação por localidade (em R\$/m³)

	Porto Referência	Frete marítimo	Preço Gasolina	Preço Diesel S500	Preço Diesel S10
Paranaguá	ANP	-	1.589	1.765	1.794
Suape	ANP	-	1.567	1.642	1.671
São Luís	ANP	-	1.515	1.621	1.650
Santos	ANP	-	1.674	1.831	1.900
Salvador	Suape*	36	1.603	1.747	1.776
Manaus	São Luís*	53	1.568	1.708	1.737
Belém	São Luís	38	1.553	1.660	1.689
Fortaleza	São Luís	36	1.551	1.658	1.687
Guamaré	Suape	42	1.609	1.684	-
Cabedelo	Suape	27	1.594	1.670	1.699
Maceió	Suape	29	1.596	1.672	-
Vitória	Suape, Salvador**	130/114	1.697	1.861	1.890
Rio de Janeiro	Santos	27	1.700	1.857	1.886
Rio Grande	Paranaguá	35	1.624	1.800	1.829
Santana	São Luís	38	1.553	1.660	-

* Somente para a gasolina, pois o preço do Diesel nestes portos é informado pela ANP;

** Como Salvador não é porto de referência para Gasolina, optou-se por Suape.

Fonte: ANP (2018f) e World Scale Association (2018)

Na tabela I-2, pode-se verificar os preços considerados para este trabalho, calculados a partir de um fator de ajuste para igualar o preço médio de realização ao preço de paridade importação (PPI), obtida através do Relatório de Comércio Exterior da ANP (2018f).

Tabela I-2 – Preços médio praticados pela empresa estatal igualados ao PPI (em R\$/m³)

Região	PV*	Gasolina	Diesel S500	Diesel S10
Norte	2	1.561	1.684	1.713
Nordeste	10	1.601	1.713	1.760
Sudeste	13	1.721	1.880	1.910
Sul	4	1.655	1.831	1.860
Centro-Oeste	2	1.776	1.882	1.913

*Polos de venda da empresa na região

De acordo com ANP (2018h), foi calculado a oferta mínima e máxima de acordo com histórico apurado de 60 meses (2013 a 2017), Como o mercado de Diesel ao longo deste período sofreu migração do S500 para S10 em algumas localidades, o histórico do Diesel S10 e Diesel S500 foi considerado somente a partir da modificação com um intervalo menor, para não contaminar a análise. Na Tabela I-3 é possível verificar a capacidade máxima considerada neste estudo para cada localidade, inclusive em polos de importação (identificados como “LOCAL”_IMPORT).

Tabela I-3 – Capacidade máxima mensal de oferta em cada polo de venda no país (em mil m³)

Polo de Venda	UF	Gasolina	Diesel S500	Diesel S10
ITAJAI	SC	82,9	43,8	16,5
BARUERI	SP	103,9	54,1	154,6
BELEM	PA	63	63,9	53,6
FORTALEZA	CE	94,1	32,4	60,4
GUARAMIRIM	SC	26,4	27,5	8
GOIANIA	GO	109,6	184,5	30,8
REVAP	SP	67,9	109,8	80,5
REFAP	RS	290,1	367,3	86,5
GUAMARE	RN	59,2	57,1	-
SAO LUIS	MA	144,7	261,1	99,9
GUARULHOS	SP	139,3	84,1	67,3
PARANAGUA_IMPORT	PR	148,2	234,5	213,5
ITABUNA	BA	23,5	28	7,1
MACEIO	AL	31,4	36,9	-
SANTOS	SP	47,8	50,6	-

BRASILIA	DF	97,2	50,7	-
CABEDELO	PB	53,4	37,6	-
S. FRANCISCO DO CONDE	BA	164,8	250,2	114
SUAPE_IMPORT	PE	182,5	121,4	218,3
REGAP	MG	224,9	262,5	126,2
JEQUIE	BA	23,8	43,3	6,6
VITORIA	ES	66,2	82,8	30,1
REDUC	RJ	202,9	209,8	129,7
UBERABA	MG	16,8	39,8	8,6
UBERLÂNDIA	MG	38,1	101,2	-
REPLAN	SP	302,5	734,1	213,5
RIBEIRAO PRETO	SP	54,2	108,3	18,3
REPAR	PR	248,3	430,7	154,3
IPOJUCA	PE	118,9	68,9	124
BIGUAÇU	SC	29,7	12,3	4,2
REMAN	AM	92,1	230	35,4
VOLTA REDONDA	RJ	13,2	16,9	-
SAO CAETANO DO SUL	SP	170,7	212,2	-
ARATU_IMPORT	BA	39,2	37,4	47,9
SAO LUIS_IMPORT	MA	72,8	192	131,8
SANTOS_IMPORT	SP	104,8	106	325,3
REMAN_IMPORT	AM	41,1	85,3	33,2
BELEM_IMPORT	PA	32,7	28,6	49
FORTALEZA_IMPORT	CE	28,9	16,5	23,8
GUAMARE_IMPORT	RN	-	15	-
CABEDELO_IMPORT	PB	10	-	13,6
MACEIO_IMPORT	AL	11	15	-
VITORIA_IMPORT	ES	19,8	24,6	27,3
RIO DE JANEIRO_IMPORT	RJ	20	-	37
RIO GRANDE_IMPORT	RS	32,4	24,9	38,2
SANTANA_IMPORT	AP	15,6	20,6	-
RIOGRANDENSE_NAC	RS	33,2	38	-
BK TRIUNFO_NAC	RS	35	-	-
BK SANTO ANDRE_NAC	SP	28	-	-
BK CAMACARI_NAC	BA	30,5	-	-
MANGUINHOS_NAC	RJ	38,4	-	-

Fonte: ANP (2018h)

Para o cálculo do custo tributário, foi necessário levantar junto a ANP o preço médio do produto final, para a partir de então calcular a parcela relativa ao ICMS de acordo com o índice percentual divulgado pela CONFAZ, conforme tabela I-4 a seguir.

Tabela I-4 – Variação de ICMS e PMPF (em R\$/litro) no Diesel e Gasolina por estado

REGIÃO	ESTADO	ICMS Gasolina	PMPF Gasolina	ICMS Diesel	PMPF Diesel 10	PMPF Diesel 500
N	Acre	25%	4.742	17%	4.162	4.099
N	Amapá	25%	4.028	25%	4.415	3.933
N	Amazonas	25%	4.321	18%	3.512	3.376
N	Pará	28%	3.971	17%	3.336	3.239
N	Rondônia	26%	4.335	17%	3.699	3.600
N	Roraima	25%	4.240	17%	3.610	3.510
N	Tocantins	29%	4.340	18%	3.300	3.220
NE	Alagoas	29%	4.362	18%	3.554	3.480
NE	Bahia	28%	4.320	18%	3.450	3.350
NE	Ceará	29%	3.970	17%	3.190	3.165
NE	Maranhão	28%	3.844	18%	3.346	3.303
NE	Paraíba	29%	4.105	18%	3.485	3.388
NE	Pernambuco	29%	4.250	18%	3.364	3.318
NE	Piauí	31%	4.276	18%	3.454	3.337
NE	Rio Grande do N	29%	4.252	18%	3.652	3.498
NE	Sergipe	29%	4.119	18%	3.499	3.396
SE	Espírito Santo	27%	4.150	12%	3.365	3.279
SE	Minas Gerais	31%	4.676	15%	3.694	3.628
SE	Rio de Janeiro	34%	4.665	16%	3.689	3.545
SE	São Paulo	25%	4.003	12%	3.411	3.277
S	Paraná	29%	4.120	12%	3.240	3.120
S	Rio Grande do Sul	30%	4.370	12%	3.406	3.293
S	Santa Catarina	25%	3.920	12%	3.240	3.120
CO	Distrito Federal	28%	4.256	15%	3.768	3.623
CO	Goiás	30%	4.316	16%	3.481	3.389
CO	Mato Grosso	25%	4.242	17%	3.735	3.642
CO	Mato Grosso do Sul	25%	4.190	17%	3.833	3.707

Fonte: Adaptado de ANP (2018i) e CONFAZ (2018)

A tabela I-5 traz a média mensal da demanda por estado no ano de 2017 para Gasolina e Diesel (ATE e BTE), que serviu como base para cálculo do rateio das demandas por município, publicado pela ANP com dois anos de defasagem.

Tabela I-5 – Média mensal da demanda dos municípios brasileiros (em mil m³)

Região / UF	Gasolina	Gsl %	Diesel S500	Diesel S10	Dsl Total %
Norte	185	7%	233	117	9%
RO	27	1%	47	15	2%
AC	8	0%	8	3	0%
AM	39	1%	26	10	1%

RR	8	0%	6	3	0%
PA	70	3%	94	62	4%
AP	9	0%	7	1	0%
TO	23	1%	45	24	2%
Nordeste	543	20%	324	332	16%
MA	58	2%	63	35	2%
PI	37	1%	20	19	1%
CE	84	3%	20	55	2%
RN	40	1%	24	10	1%
PB	43	2%	17	17	1%
PE	91	3%	15	85	2%
AL	28	1%	14	12	1%
SE	24	1%	11	12	1%
BA	137	5%	140	88	6%
Sudeste	1.126	42%	1.014	637	41%
MG	278	10%	360	156	13%
ES	57	2%	42	30	2%
RJ	153	6%	62	101	4%
SP	637	24%	549	350	22%
Sul	576	21%	598	242	21%
PR	186	7%	286	113	10%
SC	171	6%	118	61	4%
RS	219	8%	194	68	7%
Centro Oeste	256	10%	378	146	13%
MS	47	2%	62	31	2%
MT	38	1%	163	40	5%
GO	95	4%	141	60	5%
DF	77	3%	12	15	1%
Total Geral	2.686		2.548	1.474	

Fonte: ANP (2018g)

Para elaborar a tabela I-6 relativa camada ferroviária na ferramenta, utilizou-se o histórico de utilização dos trechos ferroviários divulgados no SPNT e fretes estimados pela ANTT, conforme se segue.

Tabela I-6 – Rotas ferroviárias de combustíveis com capacidades e tarifas

Trecho Ferroviário	UF	KM	Frete (R\$/m³)	Capacidade (mil m³)		
				GSL	D S500	D S10
BETIM - VITORIA	MG	568	102	10	10	10
BETIM - MONTES CLAROS	MG	433	59	10	10	10
SAO LUIS - MARABA	MA	805	128	8	15	15
CANOAS - IJUI	RS	400	54	4	7	7
CANOAS - PASSO FUNDO	RS	277	41	9	18	18

CANOAS - SANTA MARIA	RS	279	48	3	3	3
CANOAS - CRUZ ALTA	RS	334	49	2	2	2
SAO LUIS - TERESINA	MA	441	77	23	18	18
BETIM - GOV. VALADARES	MG	363	42	5	4	4
SÃO F. CONDE - MONTES CLAROS	BA	948	109	5	8	8
SAO LUIS - ACAILANDIA	MA	562	94	8	17	17
ARAUCARIA - OURINHOS	PR	408	52	2	12	12
ARAUCARIA - LONDRINA	PR	385	55	10	8	8
CANOAS - LAGES	RS	329	49	5	7	7
ARAUCARIA - MARINGA	PR	422	60	8	25	25
SAO LUIS - PALMAS - FNS	MA	1257	182	13	25	25
PAULINIA - OURINHOS	SP	366	48	5	5	5
PAULINIA - S. JOSE DO RIO PRETO	SP	395	51	6	8	8
PAULINIA - BAURU	SP	249	37	5	5	5
PAULINIA - SENADOR CANEDO	SP	820	94	4	4	4
PAULINIA - BRASILIA	SP	910	104	5	16	16
ARAUCARIA - LAGES	PR	345	51	2	2	2
PARANAGUA - ARAUCARIA	PR	109	24	14	32	32
PAULINIA - RIBEIRAO PRETO	SP	210	32	5	27	27
PAULINIA - ALTO TAQUARI	SP	897	111	5	12	12
PAULINIA - RONDONOPOLIS	SP	1171	137	9	39	39
TOTAL				185	339	339

Fonte: ANTT (2018) e SPNT (2018)

Para realizar a pesquisa da tabela I-7 na ferramenta, utilizou-se como premissa caminhões tanque que transportam combustíveis claros com capacidade de 30 m³, com idade média da frota rodante de 6 anos.

Tabela I-7 – Custo unitário de transporte rodoviário por km rodado em cada estado

UF	R\$/km/m ³	UF	R\$/km/m ³	UF	R\$/km/m ³
AC	0,3015	MA	0,2604	RJ	0,3147
AL	0,2530	MG	0,2848	RN	0,2561
AM	0,2695	MS	0,2649	RO	0,2723
AP	0,2862	MT	0,2709	RR	0,2554
BA	0,2609	PA	0,2784	RS	0,2780
CE	0,2578	PB	0,2564	SC	0,2808
DF	0,2610	PE	0,2663	SE	0,2682
ES	0,2819	PI	0,2605	SP	0,2858
GO	0,2554	PR	0,2820	TO	0,2513

Fonte: Zap Logística (2018)

I.2

Resultados da otimização no SIAM

Os resultados para os cenários desenvolvidos para a ferramenta SIAM descritos no capítulo 4 estão detalhados nesta etapa, iniciando-se com o mapa da área de influência de cada polo de venda (nó) até os municípios conforme tabela I-8. Os importadores estão representados por tonalidades de cinza(_IMPORT), os produtores petroquímicos nacionais de gasolina estão com a legenda em rosa (BK *_NAC), e as refinarias nacionais de terceiros estão com a legenda azul (_NAC). Os polos de venda da empresa nacional estão representados com as demais cores, de forma a destacar polos fronteiriços com cores distintas.

Tabela I-8 – Resultado da área de influência por polo de venda

ARATU_IMPORT	GUARULHOS	RIBEIRAO PRETO
BARUERI	IPOJUCA	RIO DE JANEIRO_IMPORT
BELEM	ITABUNA	RIO GRANDE_IMPORT
BELEM_IMPORT	ITAJAI	RIOGRANDENSE_NAC
BIGUAÇU	JEQUIE	S. C. DO SUL
BK CAMACARI_NAC	MACEIO	S. FCO. CONDE
BK SANTO ANDRE_NAC	MACEIO_IMPORT	SANTANA_IMPORT
BK TRIUNFO_NAC	MANGUINHOS_NAC	SANTOS
BRASILIA	PARANAGUA_IMPORT	SANTOS_IMPORT
CABEDELO	REDUC	SAO LUIS
CABEDELO_IMPORT	REFAP	SAO LUIS_IMPORT
FORTALEZA	REGAP	SUAPE_IMPORT
FORTALEZA_IMPORT	REMAN	TUBARAO_IMPORT
GOIANIA	REMAN_IMPORT	UBERABA
GUAMARE	REPAR	UBERLÂNDIA
GUAMARE_IMPORT	REPLAN	VITORIA
GUARAMIRIM	REVAP	VOLTA REDONDA

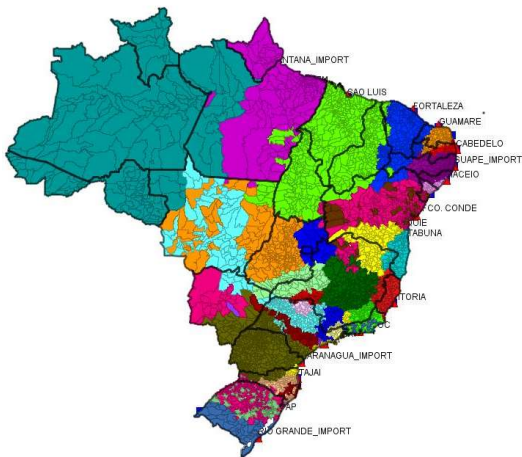
Cenário 1 (Gasolina oferta ilimitada)



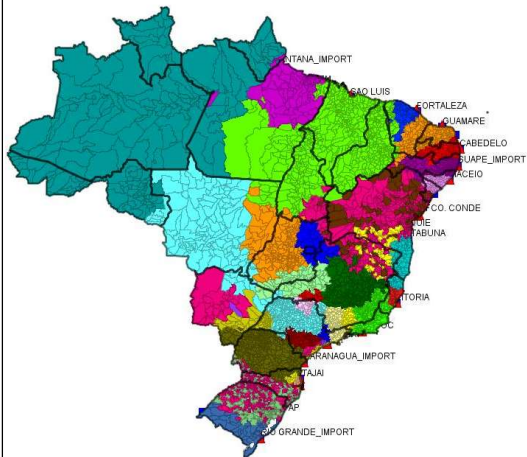
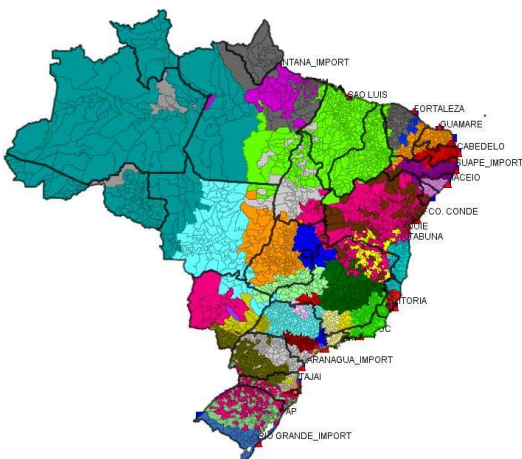
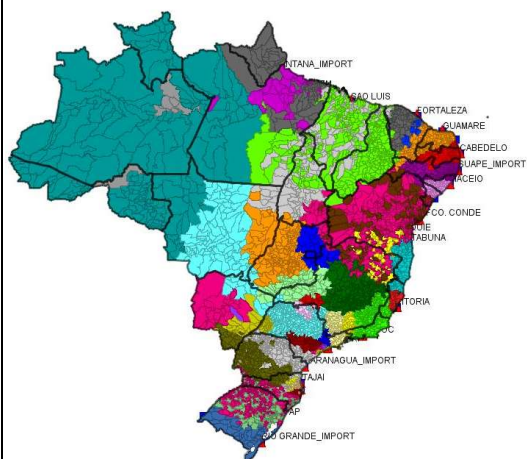
Cenário 2 (Gasolina a PPI)

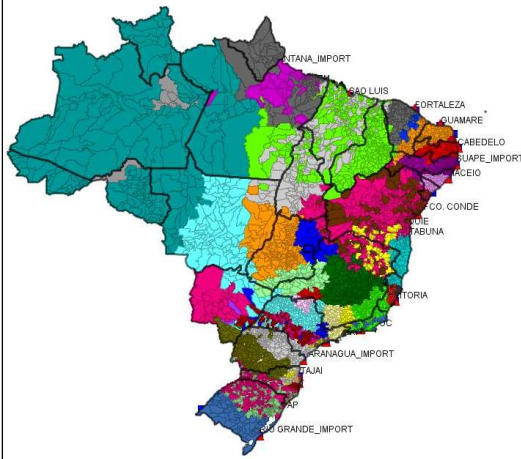
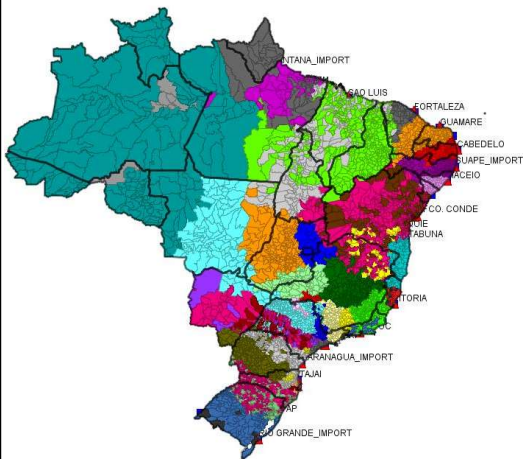
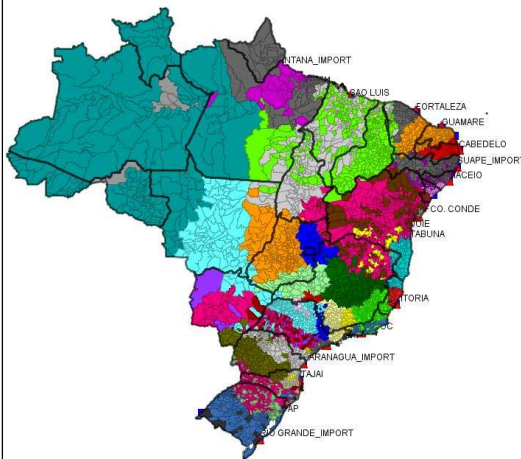
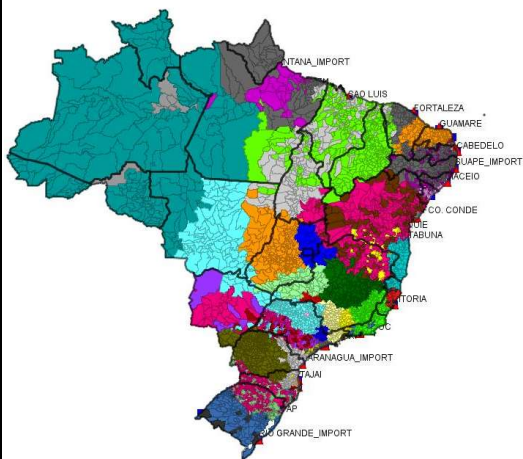
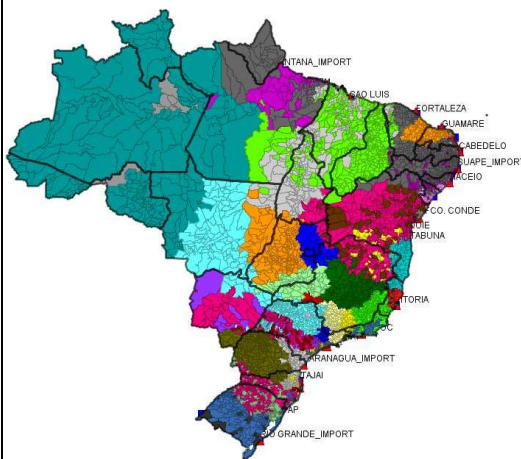


3 (Gasolina a PPI sem importadores)



4 (Gasolina a PMR sem importadores)

5 (Gasolina a $PMR = PPI - 20$)6 (Gasolina a $PMR = PPI$)

7 (Gasolina a $PMR=PPI+20$)8 (Gasolina a $PMR=PPI+40$)9 (Gasolina a $PMR=PPI+60$)10 (Gasolina a $PMR=PPI+80$)11 (Gasolina a $PMR=PPI+100$)12 (Gasolina a $PMR=PPI+120$)

13 (Diesel 500 com oferta ilimitada)



14 (Diesel 500 a PPI)



15 (Diesel 500 a PPI sem importador)



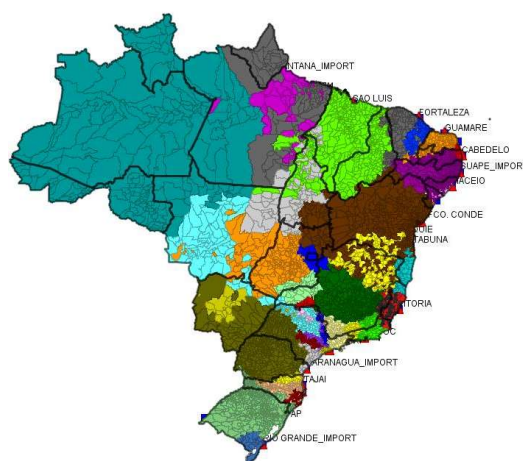
16 (Diesel 500 a PMR sem importador)

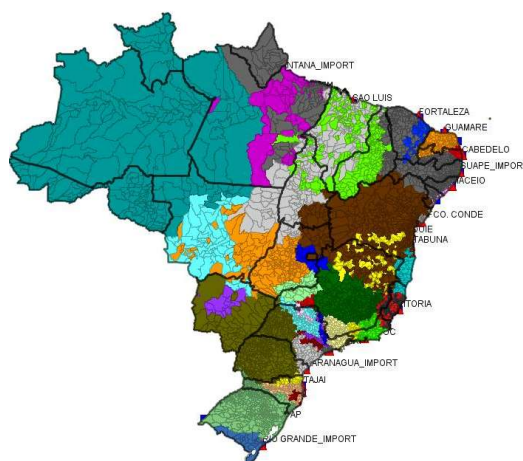
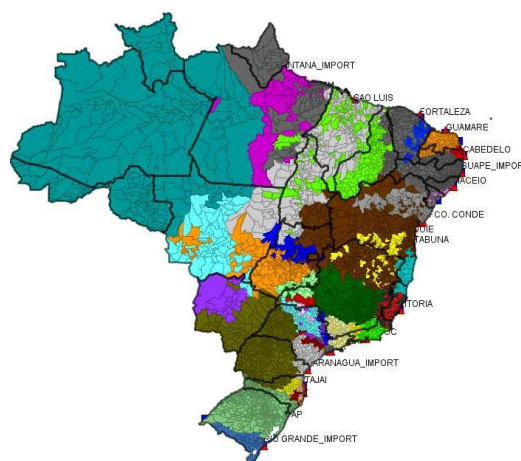
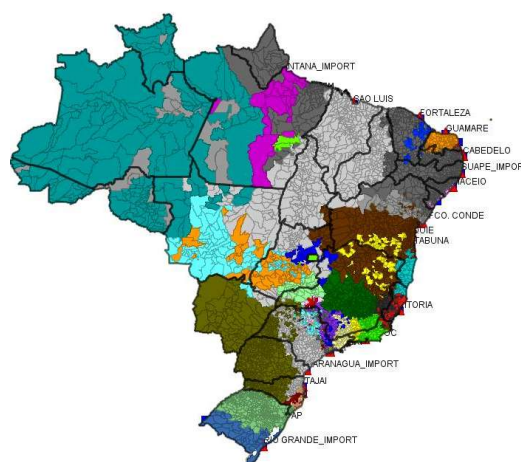
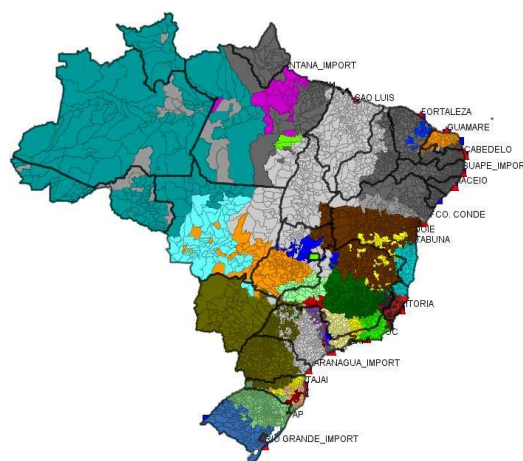
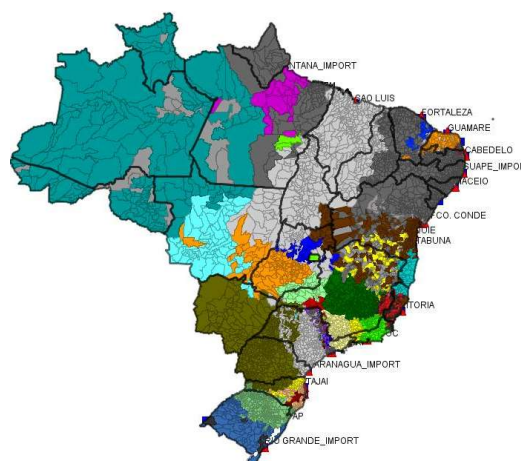


17 (Diesel 500 a PMR=PPI-20)



18 (Diesel 500 a PMR=PPI)

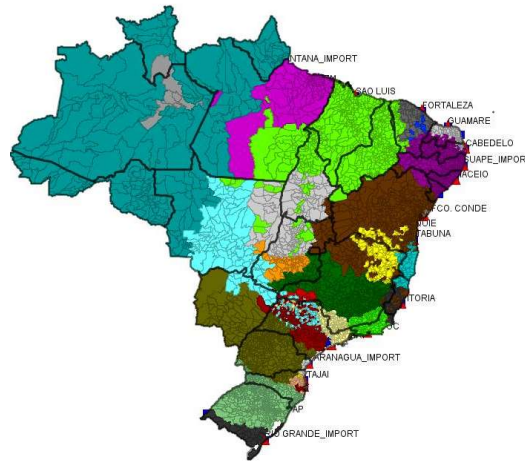


19 (Diesel 500 a $PMR=PPI+20$)20 (Diesel 500 a $PMR=PPI+40$)21 (Diesel 500 a $PMR=PPI+60$)22 (Diesel 500 a $PMR=PPI+80$)23 (Diesel 500 a $PMR=PPI+100$)24 (Diesel 500 a $PMR=PPI+120$)

25 (Diesel 10 com oferta ilimitada)



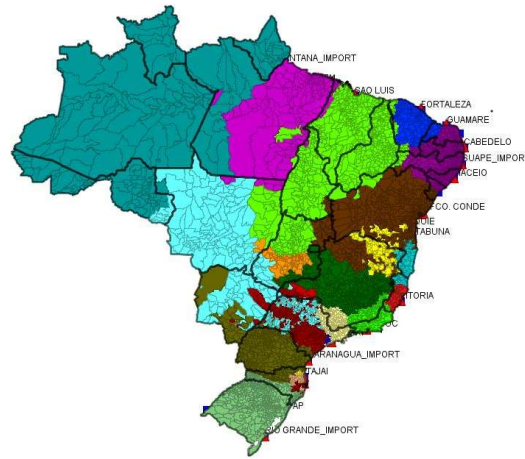
26 (Diesel 10 a PPI)



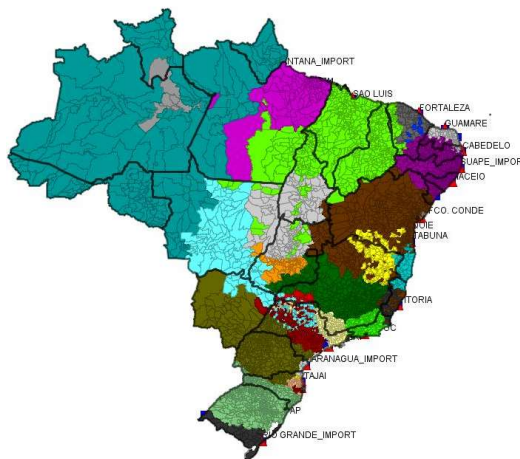
27 (Diesel 10 a PPI sem importador)



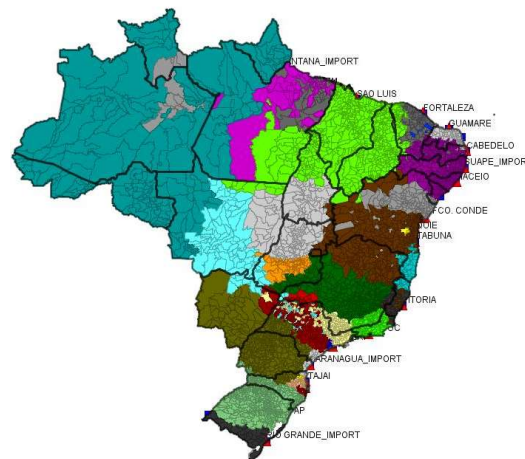
28 (Diesel 10 a PMR sem importador)

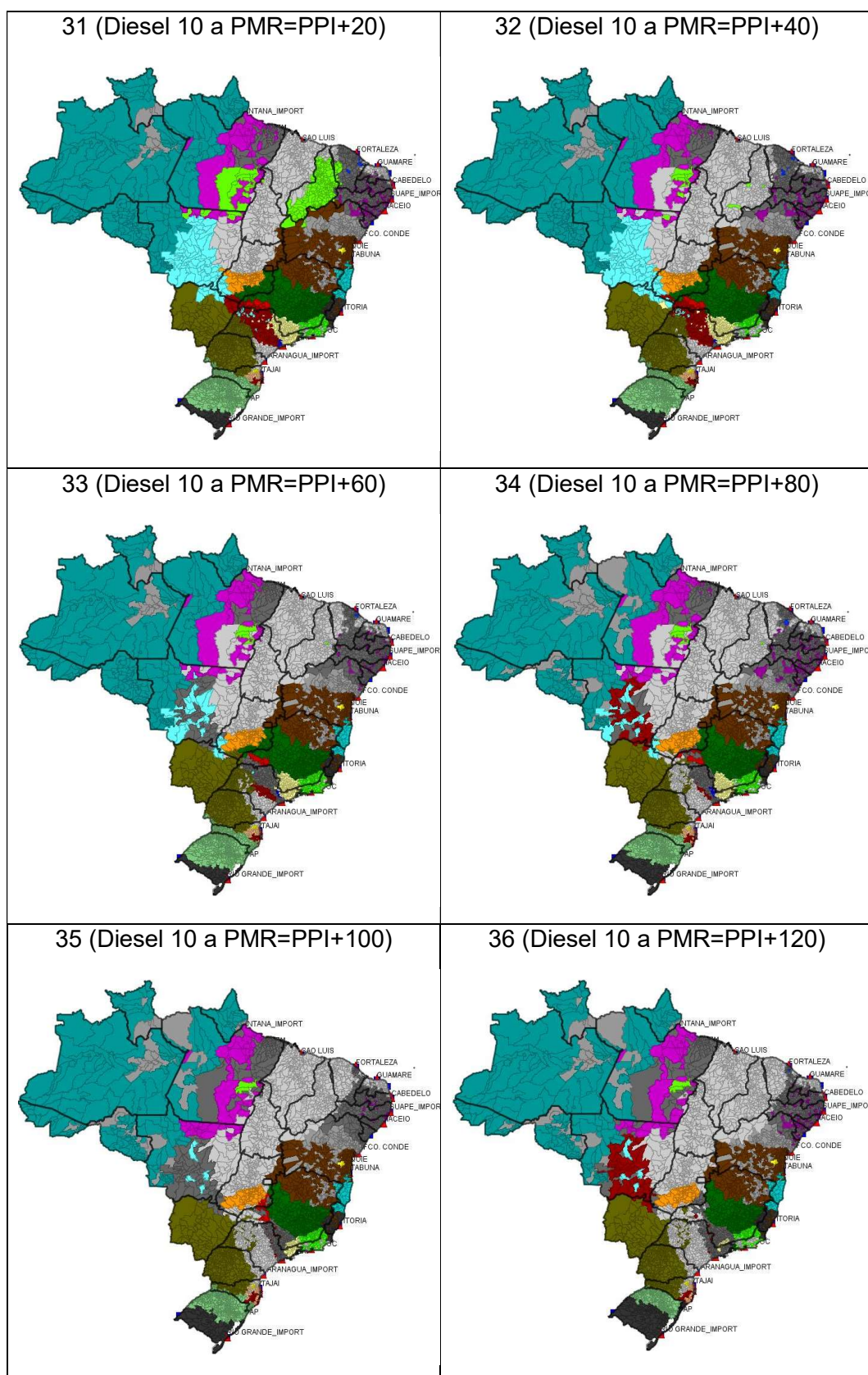


29 (Diesel 10 a PMR=PPI-20)



30 (Diesel 10 a PMR=PPI)





A Tabela I-9 traz o resultado de vendas da empresa estatal para o cenário $PMR = PPI + \text{margem } 120$ por região. É possível observar que a empresa perde

mercado (Market-Share) no Norte e Nordeste em todos os produtos, área que sofre grande influência das importações. A gasolina também é bastante impactada no sul com a concorrência em Paranaguá, enquanto o Diesel 10 importado se mostra atrativo ainda no sudeste com a entrada via porto de Santos.

Tabela I-9 – Resultado de vendas da empresa por região (Cenário PPI+120)

Região	Gasolina		Diesel 500		Diesel 10	
	Vendas*	MS**	Vendas*	MS**	Vendas*	MS**
<i>N</i>	75	41%	50	22%	19	16%
<i>NE</i>	233	43%	88	27%	60	18%
<i>SE</i>	915	81%	657	65%	231	36%
<i>S</i>	328	57%	501	84%	180	74%
<i>CO</i>	248	97%	331	87%	91	63%

* em mil m³

** Market-Share da empresa na região

APÊNDICE II

Detalhamento do problema no PLANINV

II.1

Dados de entrada para o PLANINV

Para a otimização no PLANINV, foi considerado dados publicados pela Petrobras e ANP relativos ao ano de 2017, tais como produção de óleo, câmbio, vendas por região e capacidade de refino, conforme ilustrado nas Tabelas II-1, II-2 e II-3.

Tabela II-1 – Dados operacionais de produção e comercialização

Índice	Unidade	4Tri 2017	3Tri 2017	2Tri 2017	1Tri 2017	2017
Produção de petróleo	kbpd	2.139	2.133	2.160	2.182	2.154
Produção de derivados	kbpd	1.795	1.797	1.798	1.811	1.800
Venda de derivados	kbpd	1.885	1.990	1.933	1.951	1.940
Variação cambial	R\$ x US\$	3,25	3,17	3,22	3,14	3,19

Fonte: PETROBRAS (2018b)

Tabela II-2 – Média mensal de vendas no país em 2017 por região

	N	NE	SE	S	CO	TOTAL
GLP	68,1	268,0	490,8	194,3	94,6	1.115,7
Óleo Combustível	77,1	124,0	57,6	23,4	0,0	282,0
QAV	25,8	85,2	406,0	40,8	0,0	557,8
Gasolina de Aviação	0,7	0,3	1,3	1,0	1,0	4,3
Diesel	447,6	732,5	1.859,6	941,9	582,8	4.564,4

Fonte: ANP (2018a)

Tabela II-3 – Refinarias no Brasil com capacidades de produção e volumes refinado em kbpd

REFINARIA	MUNICÍPIO (UF)	Ano Início operação	Capacidade Refino	Refino em 2017	Fator utilização
REPLAN	Paulínia (SP)	1972	434,0	326,7	75%
RLAM	São Francisco Conde (BA)	1950	377,4	218,1	58%
REVAP	São José dos Campos (SP)	1980	251,6	209,4	83%
REDUC	Duque de Caxias (RJ)	1961	251,6	179,7	71%
REPAR	Araucária (PR)	1977	213,8	162,6	76%
REFAP	Canoas (RS)	1968	220,1	149,6	63%

RPBC	Cubatão (SP)	1955	169,8	144,7	85%
REGAP	Betim (MG)	1968	166,0	141,4	85%
RECAP	Mauá (SP)	1954	62,9	50,3	80%
REMAN	Manaus (AM)	1956	46,0	28,8	63%
RPCC	Guamaré (RN)	2000	44,7	33,2	74%
RNEST	Ipojuca (PE)	2014	115,0	75,4	66%
LUBNOR	Fortaleza (CE)	1966	10,4	7,6	74%
RIOGRANDE	Rio Grande (RS)	1937	17,0	14,6	86%
MANGUINHOS	Rio de Janeiro (RJ)	1954	14,0	7,8	56%
UNIVEN	Itupeva (SP)	2007	5,1	0,0	0%
DAX OIL	Camaçari (BA)	2008	2,1	1,3	61%
TOTAL			2.402,0	1.741,1	73%

Fonte: ANP (2018a)

II.2

Resultados da otimização no PLANINV

A seguir na Tabela II-4 será apresentado os resultados da otimização para maximização do lucro da empresa, descaracterizado monetariamente por uma constante aplicada como um desconto de igual valor para todos os cenários.

Tabela II-4 – Resultado econômico dos cenários avaliados no modelo

Cenário	Variação preços em R\$		Receitas (μ\$*)	Custos (μ\$*)	Resultado (μ\$*)
	Diesel	Gasolina			
1	-20	-20	20.000	10.000	10.000
2	0	-20	19.857	9.748	10.108
3	20	-20	20.044	9.780	10.264
4	40	-20	19.702	9.459	10.243
5	60	-20	19.309	9.070	10.238
6	80	-20	18.867	8.705	10.163
7	100	-20	18.554	8.374	10.180
8	120	-20	18.633	8.357	10.276
9	-20	0	20.110	9.940	10.170
10	0	0	19.961	9.683	10.279
11	20	0	20.110	9.676	10.435
12	40	0	19.561	9.146	10.415
13	60	0	19.478	9.068	10.410
14	80	0	18.977	8.642	10.335
15	100	0	18.684	8.331	10.353
16	120	0	18.683	8.234	10.449
17	-20	20	19.779	9.647	10.133
18	0	20	19.676	9.435	10.241
19	20	20	19.808	9.412	10.396

20	40	20	19.401	9.021	10.379
21	60	20	19.123	8.745	10.378
22	80	20	18.818	8.512	10.306
23	100	20	18.621	8.297	10.324
24	120	20	18.620	8.200	10.420
25	-20	40	19.663	9.457	10.207
26	0	40	19.526	9.211	10.315
27	20	40	19.623	9.152	10.471
28	40	40	19.262	8.808	10.454
29	60	40	19.315	8.865	10.451
30	80	40	19.000	8.618	10.382
31	100	40	18.913	8.512	10.401
32	120	40	18.968	8.470	10.498
33	-20	60	19.443	9.781	9.662
34	0	60	19.325	9.555	9.771
35	20	60	19.485	9.558	9.927
36	40	60	19.299	9.382	9.917
37	60	60	19.107	9.189	9.918
38	80	60	18.611	8.756	9.856
39	100	60	18.473	8.596	9.877
40	120	60	18.481	8.508	9.974
41	-20	80	19.417	9.790	9.627
42	0	80	19.314	9.579	9.735
43	20	80	19.457	9.565	9.892
44	40	80	19.265	9.382	9.883
45	60	80	19.170	9.285	9.885
46	80	80	18.659	8.835	9.823
47	100	80	18.506	8.661	9.845
48	120	80	18.523	8.581	9.942
49	-20	100	19.379	9.781	9.598
50	0	100	19.260	9.553	9.706
51	20	100	19.404	9.541	9.863
52	40	100	19.245	9.391	9.854
53	60	100	19.085	9.228	9.857
54	80	100	18.600	8.804	9.796
55	100	100	18.430	8.614	9.816
56	120	100	18.430	8.516	9.913
57	-20	120	19.446	9.850	9.596
58	0	120	19.316	9.611	9.705
59	20	120	19.454	9.592	9.862
60	40	120	19.280	9.427	9.853
61	60	120	19.053	9.196	9.856
62	80	120	18.492	8.697	9.795
63	100	120	18.306	8.490	9.816
64	120	120	18.313	8.400	9.913

* aplicação de constante linear por sigilo dos resultados

Como se pode ver na Tabela II-5, a carga de refino variou de 85% a 66%, permitindo o modelo matemático tomar a decisão de importação do óleo cru ou derivado de acordo com o melhor retorno financeiro.

Tabela II-5 – Resumo de volumes dos cenários avaliados no modelo (em kbpd)

Cenário	Refino	% Carga	Derivados		Petróleo	
			Importação	Exportação	Importação	Exportação
A	1.961	83%	182	141	339	418
B	2.009	85%	207	134	359	390
C	2.014	85%	208	135	354	380
1	1.967	83%	168	139	338	410
2	1.965	83%	158	137	337	412
3	1.964	83%	157	137	339	415
4	1.959	83%	141	137	341	422
5	1.958	83%	128	139	337	418
6	1.946	82%	113	140	335	428
7	1.945	82%	99	139	334	429
8	1.939	82%	98	136	335	436
9	1.940	82%	173	161	332	432
10	1.940	82%	162	161	332	432
11	1.939	82%	161	161	333	433
12	1.937	82%	140	159	329	432
13	1.925	81%	135	159	331	445
14	1.917	81%	116	158	331	454
15	1.916	81%	102	158	331	455
16	1.916	81%	98	158	331	455
17	1.846	78%	185	158	312	505
18	1.844	78%	176	159	312	507
19	1.844	78%	175	158	312	508
20	1.835	78%	162	158	308	513
21	1.826	77%	152	157	305	518
22	1.808	76%	142	157	305	536
23	1.802	76%	133	156	305	543
24	1.802	76%	128	156	305	543
25	1.833	77%	177	163	312	519
26	1.832	77%	166	163	312	520
27	1.830	77%	167	163	309	518
28	1.818	77%	155	161	305	526
29	1.796	76%	159	159	305	548
30	1.774	75%	149	156	305	570

31	1.764	75%	145	155	305	580
32	1.761	74%	143	155	305	584
33	1.690	71%	203	157	305	654
34	1.688	71%	193	157	305	656
35	1.687	71%	193	156	305	657
36	1.671	71%	186	156	305	673
37	1.662	70%	178	155	305	682
38	1.654	70%	160	153	305	690
39	1.647	70%	153	155	305	697
40	1.647	70%	149	155	305	697
41	1.649	70%	206	158	305	696
42	1.647	70%	196	157	305	697
43	1.647	70%	196	158	305	698
44	1.629	69%	189	155	305	715
45	1.615	68%	186	154	305	730
46	1.606	68%	166	152	305	739
47	1.598	68%	158	151	305	747
48	1.597	68%	154	151	305	748
49	1.626	69%	205	159	305	719
50	1.624	69%	195	159	305	720
51	1.623	69%	195	158	305	722
52	1.605	68%	189	158	305	739
53	1.591	67%	183	153	305	754
54	1.582	67%	164	153	305	763
55	1.575	67%	155	152	305	770
56	1.575	67%	151	152	305	770
57	1.601	68%	209	160	305	744
58	1.598	68%	198	159	305	747
59	1.597	67%	197	159	305	748
60	1.577	67%	191	155	305	767
61	1.571	66%	181	153	305	773
62	1.564	66%	159	151	305	781
63	1.558	66%	149	151	305	786
64	1.558	66%	145	152	305	786

Para analisar o nível de refino por parque, a seguir a tabela II-6 detalha a taxa de utilização por refinaria, considerado o cenário C (com preço de realização sem venda de produto importado), o cenário com maior mercado (1) e os cenários com melhores resultados (Cenário 27: Gasolina PPI+40 e Diesel PPI+20 e Cenário 32: Gasolina PPI+120 e Diesel PPI+20), que apontam uma queda maior em duas refinarias em São Paulo (RECAP e REPLAN) e uma na Bahia (RLAM). Quando comparado com os dados históricos divulgados pela ANP do ano de 2017, observamos que o total de utilização do refino neste ano foi pouco inferior ao que

o modelo indicou como ótimo, retratando que o modelo converge para a estratégia adotada.

Tabela II-6 – Taxa de utilização por refinarias (%)

Refinaria	Cenário C	Cenário 1	Cenário 27	Cenário 32	ANP 2017
LUBNOR	87%	87%	87%	87%	74%
RECAP	75%	77%	64%	64%	80%
REDUC	95%	93%	93%	89%	72%
REFAP	91%	69%	67%	66%	64%
REGAP	84%	82%	82%	77%	85%
REMAN	94%	96%	90%	90%	63%
REPAR	93%	93%	90%	88%	76%
REPLAN	86%	88%	76%	73%	75%
REVAP	96%	96%	96%	96%	83%
RLAM	67%	67%	53%	53%	58%
RNEST	71%	71%	72%	71%	75%
RPBC	102%	101%	95%	98%	85%
RPCC	54%	57%	54%	54%	74%
TOTAL	85%	83%	77%	74%	73%