

Fernanda Correia Hamacher

**Otimização do Planejamento Integrado da Cadeia Logística
do Abastecimento de Petróleo e Derivados por Algoritmos
Genéticos**

Monografia de Final de Curso

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da PUC/Rio como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialização em Business Intelligence.

Orientador: Omar Paranaíba

PUC-Rio, dezembro de 2009

Aos meus pais por todo carinho e pela minha formação.

Ao meu marido Demetrius por todo amor e apoio.

Agradecimentos

À minha família, por todo amor, carinho, amizade e compreensão.

Aos professores do CCE pelo incentivo, e em especial ao professor Marco Antônio e a professora Marley.

Ao professor Omar pelo apoio e as orientações.

Aos meus colegas: Maria Cristina, Marcelo, Amaury e José Rodrigues, e tantos outros que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

À PETROBRAS pela oportunidade.

Resumo

Atividades referentes ao planejamento de produção e de distribuição ganharam importância a partir de 1980, quando se identificou que o ganho de qualidade, o corte de custos e o melhor atendimento aos clientes são fundamentais para um bom desempenho dentro dos mercados globais atuais. Para a indústria petrolífera em especial, uma boa execução destas tarefas pode proporcionar um ganho considerável.

Nesse contexto, a Petrobras tem o desafio de planejar a cadeia logística do abastecimento, de forma integrada, visando o atendimento das necessidades dos consumidores, a custos competitivos, buscando otimizar a utilização dos recursos e alcançar maiores resultados (lucro).

Esta monografia propõe um modelo integrado representando as atividades da cadeia de suprimento de petróleo e derivados, incluindo a produção de petróleo, o processo de refino e a comercialização, além do transporte, armazenamento e entrega de petróleo e derivados.

Esse trabalho propõe um modelo baseado em algoritmos genéticos para a criação de um otimizador da cadeia de suprimentos no horizonte de curto prazo (12 meses). O modelo proposto servirá de base para um futuro desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão capaz de “sugerir” um plano de produção, importação, exportação de petróleos e derivados, por pólo e por produto, além de um plano de alocação e transporte.

Esses resultados se traduzem em orientações e recomendações para o planejamento da cadeia de suprimentos que auxiliam na tomada de decisões, como determinar o volume de petróleo que deverá ser refinado ou exportado, além de permitir a avaliação de novas oportunidades de investimento.

Abstract

Activities related to production and distribution planning became relevant since 1980, when it was proven that quality improvement, cost reduction and better customer service are essential factors for good performances within global markets. In particular, for the oil industry, good execution in these areas can bring considerable gains.

In this context, Petrobras has a challenge to plan its logistic supply chain in a integrated way, aiming to answer consumer needs with competitive costs, seeking to optimize resource utilization and improving results (profit).

This monograph proposes an integrated model for activities in a supply chain for oil and its derivatives, including oil production, refinery process and commercialization and also transportation, storage and delivery.

This work proposes genetic algorithms to create a supply chain optimizer for short term scenarios (12 months). As a result, there should be a production, import/export, allocation and transportation plan for oil and its derivatives for each product and conglomerate.

The results will be presented as guidelines and recommendations for supply chain planning that help decision making as well as determining the oil volume that should be refined or exported. It will also enable the evaluation of new investment opportunities.

Sumário

1	Introdução	9
1.1.	Motivação	10
1.2.	Objetivos do Trabalho	11
1.3.	Descrição do Trabalho	11
1.4.	Organização da Monografia	12
2	Descrição do Problema	13
2.1.	Conceitos	13
2.2.	Segmentos do Negócio	14
2.2.1.	Comercialização	14
2.2.2.	Transporte	15
2.2.3.	Refino	16
2.3.	Classificação dos Dados	17
2.4.	Desdobramento do plano	18
3	Estado da Arte	20
3.1.	Algoritmos Genéticos - Uma Breve Introdução	20
3.2.	Modelagem do Problema	23
3.2.1.	Representação da rede	23
3.2.2.	Representação do processo de refino	24
3.2.3.	Equacionamento do Modelo Linear	25
3.2.4.	Representação do Cromossoma	27
3.2.4.1.	Terminais Nacionais	28
3.2.4.2.	Refinarias	30
3.2.4.3.	Vendas para o Mercado Interno	31
3.2.4.4.	Degradações	32
3.2.4.5.	Processamento	33
3.2.4.6.	Avaliação	34

4 Arquitetura do Sistema Proposto	35
4.1. BD	35
4.2. Algoritmo Genético	36
4.3. Decodificador	37
4.3.1. Avaliador de Soluções	37
5 Conclusões e Trabalhos Futuros	38
6 Referências Bibliográficas	39

Lista de figuras

Figura 1 - Malha de abastecimento da Petrobras	16
Figura 2 – Esquema típico de refino	16
Figura 3 – Processo iterativo de um algoritmo genético	21
Figura 4 – Representação da rede	23
Figura 5 – Representação da sub-rede de refino	25
Figura 6 – Representação dos fluxos de produto na rede	28
Figura 7 – Arquitetura proposta	35

1 Introdução

A cadeia de suprimentos do petróleo no Brasil se caracteriza por ser extremamente complexa, possuindo uma grande quantidade de unidades operacionais (refinarias), um sistema de transportes abrangente (dutos, terminais, navios), uma diversidade de atuação no mercado (desde a extração do petróleo até a distribuição dos derivados, passando pela importação e exportação). Associado a isto existe muita variação na complexidade urbana e industrial do mercado consumidor, com demanda bastante variada de tipo e qualidade de produtos, prazos, frequência, local e quantidade de entrega.

Diante de um cenário altamente competitivo, aliado ao nervosismo característico do mercado de petróleo mundial e à complexidade do sistema logístico de distribuição de petróleo no Brasil, com pontos de produção de petróleo e refino espalhados por toda sua extensão geográfica, ferramentas de análise da cadeia de abastecimento do petróleo são de vital importância.

A crescente demanda por derivados de petróleo em quantidade e qualidade adequadas exige a adoção de ações visando garantir o seu atendimento. No entanto, ações estruturais como a ampliação da capacidade de refino nacional e a modernização das refinarias existentes, exigem um alto investimento financeiro da companhia. Dessa forma é extremamente importante que os recursos já existente no Sistema da empresa sejam utilizados de forma otimizada para que sejam capazes de disponibilizar derivados de petróleo de acordo com a demanda e qualidade requerida pelo mercado.

Esse trabalho descreve um modelo matemático que representa as atividades da cadeia de suprimento de petróleo e derivados da Petrobras, desde a transferência dos petróleos do E&P/terceiros até as entregas às bases primárias no Brasil e a clientes no exterior. A elaboração de um Plano de Abastecimento robusto é uma tarefa complexa mas pode proporcionar grandes vantagens competitivas.

1.1. Motivação

Podemos encontrar na bibliografia uma grande quantidade de trabalhos que focam elos da cadeia individualmente, indicando soluções locais que não são necessariamente o ótimo para o Sistema integrado. Por exemplo, a tomada de uma decisão para o aproveitamento de uma alternativa aparentemente interessante economicamente sob a ótica de uma refinaria pode resultar em perdas o Sistema. Assim como descreve ... quando faz a otimização local de uma determinada refinaria.

Existe, portanto, uma grande necessidade de se ter uma cadeia logística integrada e otimizada. O problema tratado nesse trabalho propõem planejar a cadeia logística do abastecimento, de forma integrada, visando ao atendimento das necessidades dos consumidores, a custos competitivos, buscando otimizar a utilização dos recursos e alcançar maiores resultados (lucro).

A proposta dessa monografia construir um modelo utilizando algoritmos genéticos para servir de base a um futuro desenvolvimento de ferramenta de apoio ao planejamento operacional do abastecimento, dando subsídios para a indicação do que deve ser refinado ou exportado. Ela fornecerá uma resposta rápida para a tomada de decisões envolvendo altos custos operacionais e logísticos, e ainda permitirá simular cenários, como a construção de uma nova refinaria, e avaliar o impacto de premissas no resultado global da empresa.

Atualmente essa otimização integrada do planejamento do abastecimento da Petrobras é feita utilizando programação linear. A otimização de um determinado cenário demora em média uma hora e meia, e no final dessa rodada o sistema pode indicar a solução ótima ou indicar que para as premissas adotadas o problema é inviável. Caso o problema esteja inviável, a pessoa responsável pelo planejamento irá investigar a causa dessa inviabilidade através dos valores duais obtidos na solução. Essa tarefa pode ser bem complexa e necessitar de um conhecimento profundo do modelo.

Algoritmos genéticos têm sido aplicados com sucesso em problemas de Planejamento e são em geral algoritmos simples e fáceis de serem implementados. A idéia desse trabalho apresentar uma proposta de modelagem para a otimização integrada do planejamento utilizando algoritmos evolucionários.

1.2. Objetivos do Trabalho

O objetivo desse trabalho é utilizar a técnica de algoritmos genéticos para direcionar as atividades da cadeia de suprimento do petróleo de forma a maximizar o lucro da companhia.

Ao final desse trabalho seremos capazes de fornecer as seguintes orientações e recomendações para o planejamento da cadeia de suprimentos no horizonte de curto prazo (12 meses):

- Plano de produção em cada unidade das refinarias;
- Indicação de alocação de petróleo em cada refinaria;
- Indicação de importação e exportação de petróleos e derivados;
- Plano de transporte com todas as movimentações de petróleos e derivados.

Além disso ainda teremos os custo de suprimento e receitas obtidas com as vendas.

1.3. Descrição do Trabalho

Esse trabalho foi dividido em 3 etapas. A descrição do problema, a modelagem com aplicação da técnica de algoritmos genéticos e as conclusões e trabalhos futuros.

Na descrição do problema é dada uma ampla descrição de todos os aspectos pertinentes do problema, detalhando as informações necessárias para a resolução assim como as premissas e restrições assumidas.

Na modelagem é feita uma descrição sucinta da aplicação da técnica de algoritmos genéticos utilizada no sistema proposto e em seguida é feito o detalhamento do modelo com a representação do cromossoma e sua decodificação e função de avaliação.

Por fim, são detalhadas as conclusões relevantes da modelagem e os trabalhos futuros.

1.4. Organização da Monografia

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. Este capítulo introdutório é dedicado à apresentação dos objetivos e motivações que levaram ao seu desenvolvimento. Os quatro capítulos adicionais estão descritos a seguir:

O capítulo 2 apresenta a descrição do problema, onde são detalhados todos os aspectos relevantes para a modelagem, assim como os dados do problema e as premissas adotadas.

No capítulo 3 é descrito o estado da arte, nele é feito um resumo sobre o uso da técnica de algoritmos genéticos adotada na resolução do problema aqui tratado e em seguida é feito o detalhamento do modelo com a representação do cromossoma e sua decodificação e função de avaliação.

O capítulo 4 apresenta a arquitetura do sistema proposto, justificando as opções tomadas nesse trabalho.

Finalmente, o capítulo 5 descreve as conclusões do trabalho e identifica possíveis trabalhos futuros relacionados ao problema.

2 Descrição do Problema

O problema tratado nesse trabalho busca o planejamento operacional da cadeia de suprimento e produção de petróleo e derivados para um horizonte de 12 meses que maximiza o lucro global da empresa.

Para obter o plano de produção e alocação de refinarias assim como o plano de transporte com todas as indicações de movimentações (incluindo importações e exportações) de petróleos e derivados, são necessárias uma variedade enorme de informações que podem ser divididas em 3 categorias:

- Comercialização
- Transporte
- Refino

Antes de detalharmos cada um desses segmentos, faremos uma breve definição de alguns conceitos fundamentais para o entendimento do problema.

2.1. Conceitos

Produto – um produto pode ser um petróleo ou um derivado. Cada produto possui uma especificação de qualidade, como densidade, teor de enxofre, viscosidade, ...

Local – um local pode ser uma refinaria, terminal ou local de consumo (mercado interno)

Unidade de Refino – unidades existentes dentro de uma refinaria onde são processados os petróleos e produtos intermediários. Existem vários tipos de unidades, cada uma com sua capacidade de processamento, cargas e rendimentos. Alguns exemplos de unidade de processamento, são: destilação, coqueamento e craqueamento.

Rendimento – Cada produto carga de uma unidade de refino produz outros produtos de acordo com o seu rendimento naquela unidade. Por exemplo, para

cada m³ de um determinado petróleo carregado na unidade de destilação teremos 50% do produto A, 30% do produto B e 20% do produto C.

Degradação (Mistura de produtos) – Quando saem das unidades os produtos nem sempre estão especificados de acordo com o exigido, dessa forma, alguns produtos podem ser misturados com o objetivo de atender as exigências de qualidade. Ao mesmo tempo que uma composição deve atender a qualidade exigida, ela deve minimizar o custo de **give-away**, isto é, deve-se evitar produzir um produto com uma qualidade melhor do que a exigida, o que normalmente representa um custo desnecessário.

Campanha – é a forma de uma unidade operar. Dependendo da campanha em que ela está operando os rendimentos de cada produto variam.

2.2. Segmentos do Negócio

2.2.1. Comercialização

Nesse seguimento estão as informações referentes as entradas e saídas de produto do sistema. Cada comercialização se refere a um determinado produto e local, possuindo um preço (de venda ou de compra) que pode variar para cada mês.

Existem 4 tipos de comercialização, e cada uma delas possui sempre um volume mínimo e um volume máximo a ser atendido mensalmente. O volume mínimo indica a quantidade já contratada, seja de venda ou de compra de algum produto, no caso de não haver obrigatoriedade alguma no atendimento essa quantidade será sempre zero. O volume máximo indica o pedido propriamente dito ou a oferta de produto.

Vendas do mercado interno: são as previsões de vendas nas regiões de consumo (bases de distribuição no território nacional), em geral possuem volumes contratados, devendo ser atendidas na sua totalidade (volume máximo = mínimo).

Ofertas de importação: são as previsões de ofertas de volumes mensais nos terminais no exterior para compra. Em geral o volume mínimo para esse tipo de comercialização é zero e o máximo é a quantidade estimada para a capacidade de oferta do mercado externo para cada produto.

Ofertas de exportação: são as previsões de vendas mensais para os terminais no exterior. Em geral o volume mínimo para esse tipo de comercialização é zero e o máximo é a quantidade estimada para a capacidade de absorção do mercado externo para cada produto.

Produção: são as quantidades de cada produto disponíveis nos terminais nacionais. Esses produtos são em geral petróleo que podem ser refinados ou exportados. Para esse tipo de comercialização, o volume mensal mínimo é igual ao máximo e para a solução do problema, não são considerados os custos de aquisição.

2.2.2. Transporte

Nesse seguimento estão as informações referente a malha de transporte dos produtos. Os produtos podem ser movimentados entre terminais, refinarias e regiões de consumo através de diferentes modais: marítimo, dutoviário, rodoviário, ferroviário. Para cada possibilidade de movimentação entre locais são definidas as possibilidades de modais disponíveis para realizar a movimentação de cada grupo de produtos, e para cada um desses trechos (arcos), existe um frete e um limite de fluxo associado.

Outra entrada de produtos na malha, além da produção e ofertas de importação são os estoques iniciais disponíveis em terminais ou refinarias. No instante zero são fornecidas as quantidades de cada produto disponíveis em cada local. De um mês para outro é permitida a armazenagem de produtos respeitando a capacidade de estocagem em cada local.

A figura a seguir mostra as movimentações e dá uma noção do tamanho da malha de abastecimento da Petrobras:

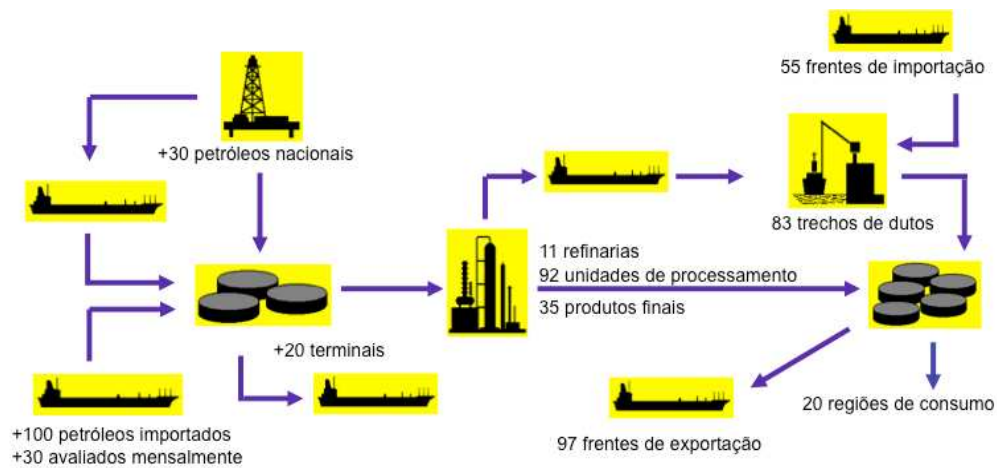


Figura 1 - Malha de abastecimento da Petrobras

2.2.3. Refino

Nesse segmento estão as informações referentes as refinarias, como as principais unidades de refino e tratamento, capacidades, paradas, características técnicas e qualidades das correntes.

Cada refinaria é dotada de um conjunto de unidades de refino e tratamento, que transformam o petróleo em seus derivados. A figura a seguir demonstra um típico esquema de refino:

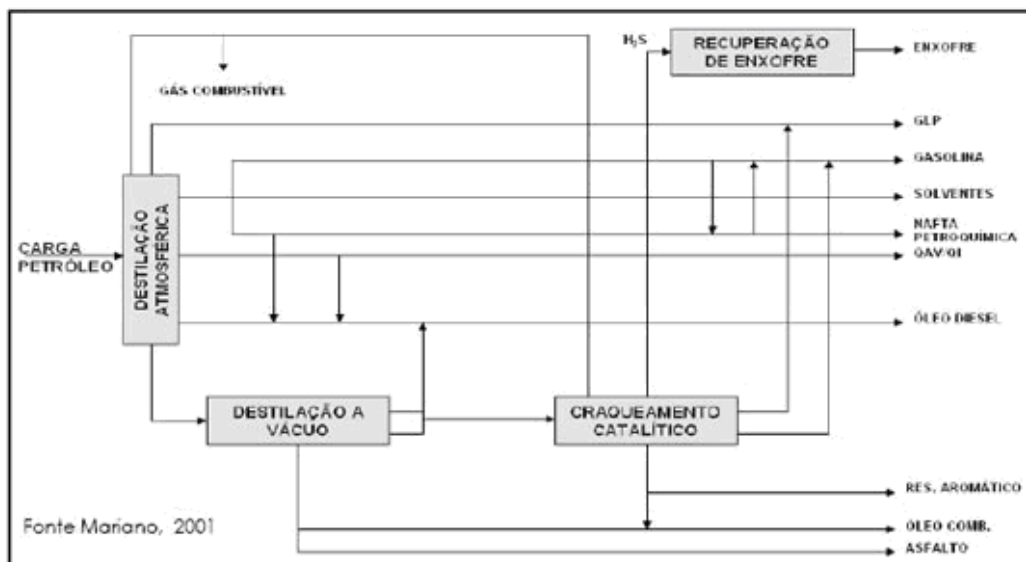


Figura 2 – Esquema típico de refino

De acordo com a capacidade de cada unidade e com seu plano de paradas é possível determinar a sua disponibilidade de processamento em cada mês.

Cada unidade possui rendimentos associados a cada produto para cada campanha que ela pode operar.

Nas refinarias também são feitas as misturas (degradações) para que os derivados estejam especificados e atendam as exigências de qualidade.

2.3. Classificação dos Dados

As informações desses três segmentos podem ser divididas em duas categorias (dados cadastrais e temporais):

Dados Cadastrais:

- Cadastro de produtos (petróleos e derivados)
- Cadastro de locais (refinarias, terminais, portos, ...)
- Cadastro de unidades de refino
- Campanhas
- Rendimentos (destilação e outras unidades)
- Especificação de produtos (qualidade dos cortes)
- Especificação da qualidade da carga de unidades
- Possibilidades de mistura de produtos
- Consumo próprio
- Limites de carga e retirada
- Outras restrições operacionais
- Arcos: dutoviários, marítimos, rodoviários, ferroviários
- Cadastro de referências de preços

Dados Temporais:

- Produção Nacional
- Previsão de Vendas (mercado interno obrigatório)
- Comércio Externo (demandas de exportação e ofertas de importação)
- Afretamento
- Plano de Paradas

- Preços

Um ponto importante a ser observado nesse trabalho é que, além de uma modelagem complexa para o problema, temos que ter uma grande preocupação sobre a qualidade das informações que são utilizadas. Para que o planejamento esteja aderente a realidade são necessários diversos tipos de dados, originados de uma enorme variedade de sistemas não integrados. Muitos desses dados não estão consistentes e são necessárias tabelas auxiliares com dicionários de produtos e locais, por exemplo, que precisam ser atualizados constantemente.

Além disso, muitas vezes são necessárias simplificações para que o problema possua uma solução viável. Nesse contexto temos o desafio de modelar o problema de forma que ele seja aderente a realidade e ao mesmo tempo tenha um grau de abstração razoável. Existe aqui um grande dilema do que se deve ou não ser incluído na modelagem para que a solução indicada seja possível de ser realizada na prática, mas ao mesmo tempo, não torne o problema tão complexo no que se refere a detalhes operacionais que não trazem grandes impactos no resultado do planejamento final.

Apenas após a consolidação de todas essas informações seremos capazes de elaborar um planejamento integrado que maximiza o ganho global da companhia. Esse ganho é definido pelo lucro obtido com a receita das vendas de mercado interno e exportações menos os custos operacionais e de aquisição do produto.

Faremos aqui uma simplificação dos custos envolvidos, desconsiderando alguns custos não são relevantes para o planejamento, como os custos de produção de petróleo nacional e manutenção de equipamentos.

2.4. Desdobramento do plano

A partir do plano gerado, saem as indicações do elenco de petróleo alocado a cada refinaria, assim como a produção de derivados sugerida a cada uma delas. Com essas informações cada refinaria é responsável por fazer sua otimização “local” da produção. O Plano de Produção de cada refinaria é então obtido com o apoio de uma ferramenta que utiliza técnicas de programação linear para otimizar a operação de refinarias ou plantas petroquímicas.

Nesse momento os ajustes são feitos de acordo com algumas restrições operacionais não modeladas no plano global e com novas ocorrências, como uma parada inesperada de uma determinada unidade de refino. O resultado define qual a maneira mais lucrativa de se operar a Refinaria, incluindo dados econômicos sobre as várias operações da Refinaria, que poderão ajudar na tomada de decisões do dia-a-dia e a realizar pequenos investimentos (modificações, desengargalamentos e melhorias operacionais, etc.).

3

Estado da Arte

3.1.

Algoritmos Genéticos - Uma Breve Introdução

O algoritmo genético é uma técnica de otimização através de buscas heurísticas que imita o processo evolutivo biológico de seleção natural. Os algoritmos genéticos combinam a noção de sobrevivência dos mais adaptados, numa busca estruturada, porém aleatória, com avaliação paralela dos nós no espaço de buscas. Após o trabalho de [HOLLAND, 1975], os algoritmos genéticos passaram a ser largamente utilizados em tarefas de busca e otimização, exigidas para a resolução de vários problemas que possuem um elevado número de restrições e um espaço de busca muito grande.

Segundo [HAUPT, 2004], algumas das principais vantagens dos algoritmos genéticos incluem:

- Otimização com variáveis contínuas ou discretas;
- Lidam com um grande número de variáveis;
- Busca simultânea em diferentes regiões do espaço de soluções;
- Funcionamento adequado com arquiteturas de processamento paralelo;
- Otimização de variáveis com complexos espaços de busca, permitindo a saída de mínimos locais.

Um algoritmo genético opera sobre uma população fazendo com que esta evolua de acordo com uma função de avaliação. O funcionamento é iterativo, começando com a geração de uma população inicial, seguida do processo de avaliação, seleção, crossover e mutação, que ocorre a cada geração (iteração) até que seja atingido algum critério para o fim do processo. Os passos gerais e o processo iterativo de um algoritmo genético são ilustrados na figura a seguir. Cada passo pode ser realizado de várias maneiras e pode variar de problema para problema.

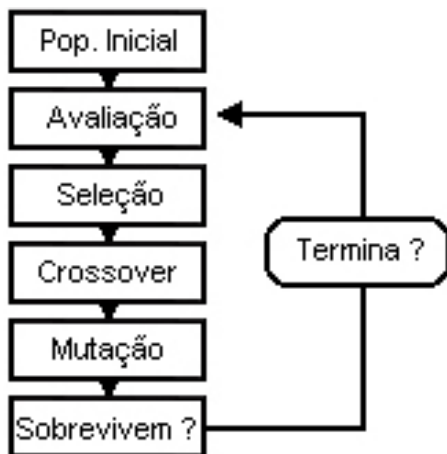


Figura 3 – Processo iterativo de um algoritmo genético

Na maioria dos casos, para a condição de parada pode ser considerado o número de gerações ou tempo de processamento.

A seguir são descritos os componentes que caracterizam um algoritmo genético: [PACHECO, 2009]

1. Problema a ser otimizado

GAs são particularmente aplicados em problemas complexos de otimização: problemas com diversos parâmetros ou características que precisam ser combinadas em busca da melhor solução; problemas com muitas restrições ou condições que não podem ser representadas matematicamente; e problemas com grandes espaços de busca.

2. Representação das Soluções de Problema

A representação das possíveis soluções do espaço de busca de um problema define a estrutura do cromossoma a ser manipulado pelo algoritmo. A representação do cromossoma depende do tipo de problema e do que, essencialmente, se deseja manipular geneticamente.

3. Decodificação do Cromossoma

A decodificação do cromossoma consiste basicamente na construção da solução real do problema a partir do cromossoma. O processo de decodificação constrói a solução para que esta seja avaliada pelo problema. A vantagem da representação binária é a fácil transformação para inteiro ou real.

4. Avaliação

A avaliação é o elo entre o GA e o mundo externo. A avaliação é feita através de uma função que melhor representa o problema e tem por objetivo fornecer uma medida de aptidão de cada indivíduo na população corrente, que irá

dirigir o processo de busca. A função de avaliação é para um GA o que o meio ambiente é para seres humanos.

5. Seleção

O processo de seleção em algoritmos genéticos seleciona indivíduos para a reprodução. A seleção é baseada na aptidão dos indivíduos: indivíduos mais aptos têm maior probabilidade de serem escolhidos para reprodução.

6. Operadores Genéticos

Indivíduos selecionados (e reproduzidos na população seguinte) são recombinados através do operador de crossover (com uma probabilidade p_c). O operador de crossover é considerado a característica fundamental dos GAs. Pares de genitores são escolhidos aleatoriamente da população, baseado na aptidão, e novos indivíduos são criados a partir da troca do material genético. Os descendentes serão diferentes de seus pais, mas com características genéticas de ambos os genitores.

7. Inicialização da População

A inicialização da população determina o processo de criação dos indivíduos para o primeiro ciclo do algoritmo. Tipicamente, a população inicial é formada a partir de indivíduos aleatoriamente criados. Populações iniciais aleatórias podem ser semeadas com bons cromossomas para uma evolução mais rápida, quando se conhece, a priori, o valor de boas “sementes”.

8. Parâmetros e Critérios de Parada

Em um algoritmo genético, vários parâmetros controlam o processo evolucionário:

- Tamanho da População → número de pontos do espaço de busca sendo considerados em paralelo a cada ciclo.
- Taxa de Crossover → probabilidade de um indivíduo ser recombinado com outro.
- Taxa de Mutação → probabilidade do conteúdo de uma posição/gene do cromossoma ser alterado.
- Número de Gerações → total de ciclos de evolução de um GA.
- Total de Indivíduos → total de tentativas em um experimento (tamanho da população x número de gerações)

3.2. Modelagem do Problema

O problema pode ser definido basicamente por três tipos de variáveis:

- **Variáveis de transporte** – representadas pelo fluxo de produtos nos arcos que vão de um local (terminal, refinaria ou região de consumo) ao outro;
- **Variáveis de refino** – determinam o quanto de cada produto deve ser carregado em cada unidade de processamento e o quanto deve ser degradado para outro produto;
- **Variáveis de estoque de um mês para outro** – fazem a ligação entre os meses do período a ser otimizado, determinando o quanto será estocado em cada terminal ou refinaria de um mês para outro.

3.2.1. Representação da rede

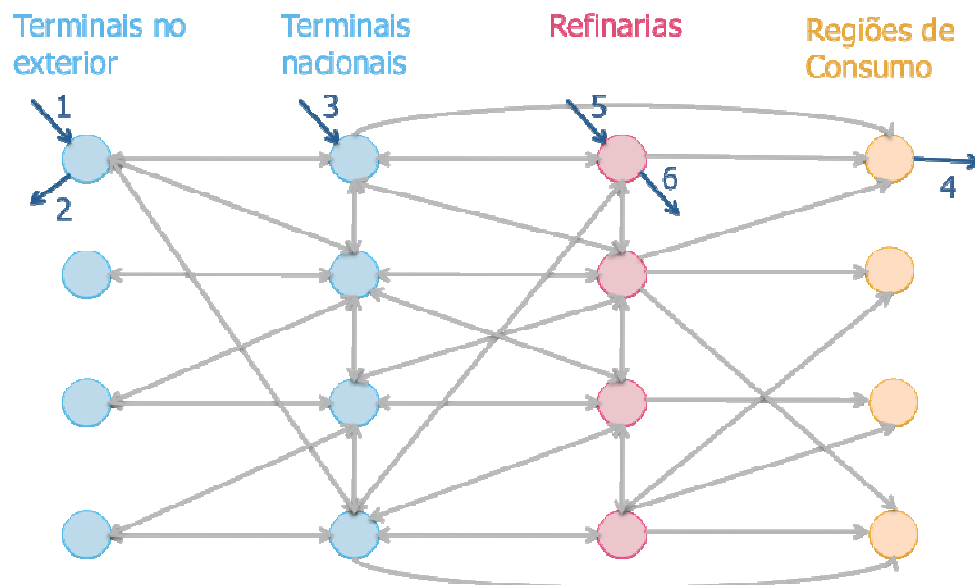


Figura 4 – Representação da rede

As entradas e saídas de fluxo da rede são representadas pelas setas em azul e estão detalhadas a seguir:

- Ofertas de importação → volumes máximo e mínimo (zero ou quantidade já contratada) disponíveis de cada petróleo e derivado em cada terminal do exterior

- Ofertas de exportação → volumes máximo e mínimo (zero ou quantidade já contratada) capazes de serem absorvidos do mercado no exterior
- Produção de petróleo nacional ou estoque inicial → volume disponível de cada produto nos terminais nacionais
- Mercado Interno → volumes máximo e mínimo (Mercado obrigatório faz com que o mínimo seja igual ao máximo) a ser atendido do em cada região de consumo
- Estoque Inicial nas refinarias → volume disponível de cada produto nas refinarias no instante inicial
- Consumo próprio das unidades de processamento

As ligações entre os terminais, refinarias e regiões de consumo são realizadas via modal marítimo, dutoviário, ferroviário ou rodoviário. O frete de cada ligação depende das possibilidades de modais disponíveis para cada tipo de produto transportado de um local a outro.

As variáveis de transporte, representadas pelas setas em cinza, podem ser divididas em 3 tipos:

- Quantidade de cada produto a ser exportado de cada terminal nacional para cada terminal no exterior;
- Quantidade de cada produto a ser importada de cada terminal no exterior para cada terminal nacional;
- Quantidade cabotada de cada produto entre terminais nacionais.

3.2.2. Representação do processo de refino

Dentro de cada refinaria existe uma sub-rede representando o fluxo entre as unidades de refino ou os pontos de degradação.

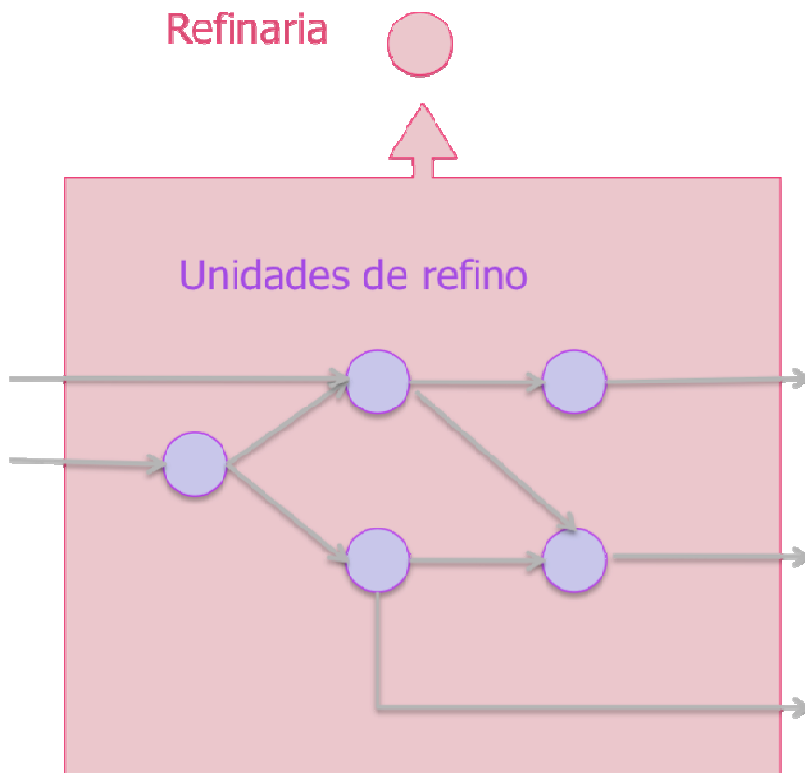


Figura 5 – Representação da sub-rede de refino

As ligações entre as unidades/pontos de degradação não possuem custo e devem respeitar as limitações operacionais:

Possíveis cargas em cada unidade

Rendimentos em cada unidade para cada campanha

Possíveis misturas de produtos (degradações)

Limites de carga e retirada em cada unidade

Qualidades exigidas de cada produto

As variáveis de refino, representadas pelas setas em cinza, podem ser divididas em 2 tipos:

Quantidade de cada produto a ser carregada em cada unidade

Quantidade de cada produto a ser degradada para algum outro produto

3.2.3. Equacionamento do Modelo Linear

Variáveis:

As variáveis desse problemas são:

- volume de cada produto p a ser transportado em cada arco a $\rightarrow X_{pa}$
- volume de cada produto p a ser carregado em cada unidade u $\rightarrow X_{pu}$
- volume de cada produto p a ser degradado para cada derivado d em cada refinaria r $\rightarrow X_{pdr}$

Receitas e Custos:

Receita com as vendas do mercado interno

PMI_{pl}: Preço de venda do produto p na região de consumo l

Receita com as indicações de exportação

PME_{pt}: Preço de exportação do produto p no terminal do exterior t

Custo com as indicações de importação

CIM_{pt}: Custo de importação do produto p do terminal do exterior t

Custo com os fretes

CFR_{pa}: Custo de transporte do produto p no arco a

Função Objetivo:

Máximo resultado econômico

$$\text{FO: } \text{máx} (\Sigma(\text{receitas}) - \Sigma(\text{custos})) = \sum_p \sum_l \text{PMI}_{pl} * \sum_a \text{ com destino em } l X_{pa} + \sum_p \sum_t \text{PME}_{pt} * \sum_a \text{ com destino em } t X_{pa} - \sum_p \sum_t \text{CIM}_{pt} * \sum_a \text{ com origem em } t X_{pt} - \sum_p \sum_a \text{CFR}_{pa} * X_{pa}$$

Restrições:

Restrições de rede:

- Limite de fluxo no arco
- Balanceamento de fluxo nos nós
- Ofertas de importação
- Produção disponível
- Estoques iniciais em cada refinaria ou terminal
- Mercado Interno
- Ofertas de exportação

Restrições de refino:

- Limite de carga da unidade
- Limite de retirada da unidade
- Qualidade de produto
- Capacidade de estocagem de um mês para o outro
- Capacidade de processamento da unidade

3.2.4. Representação do Cromossoma

A representação do cromossoma para a resolução desse problema é dada pelos segmentos detalhados a seguir. Para uma didática mais clara utilizaremos um exemplo com uma versão reduzida do problema real, no entanto a modelagem apresentada aqui pode ser utilizada para o problema completo.

Trataremos o problema inicialmente como se o Período fosse de apenas 1 mês e depois estenderemos para contemplar todos os meses do planejamento.

Exemplo utilizado para a representação gráfica do cromossoma:

- 3 Terminais Nacionais
- 2 Refinarias
- 2 Unidades em cada refinaria, cada uma com 2 campanhas
- 5 Produtos, sendo 2 produtos finais
- 5 Vendas Mercado Interno
- 3 Ofertas de Importação em cada terminal
- 1 Ofertas de Exportação em cada terminal

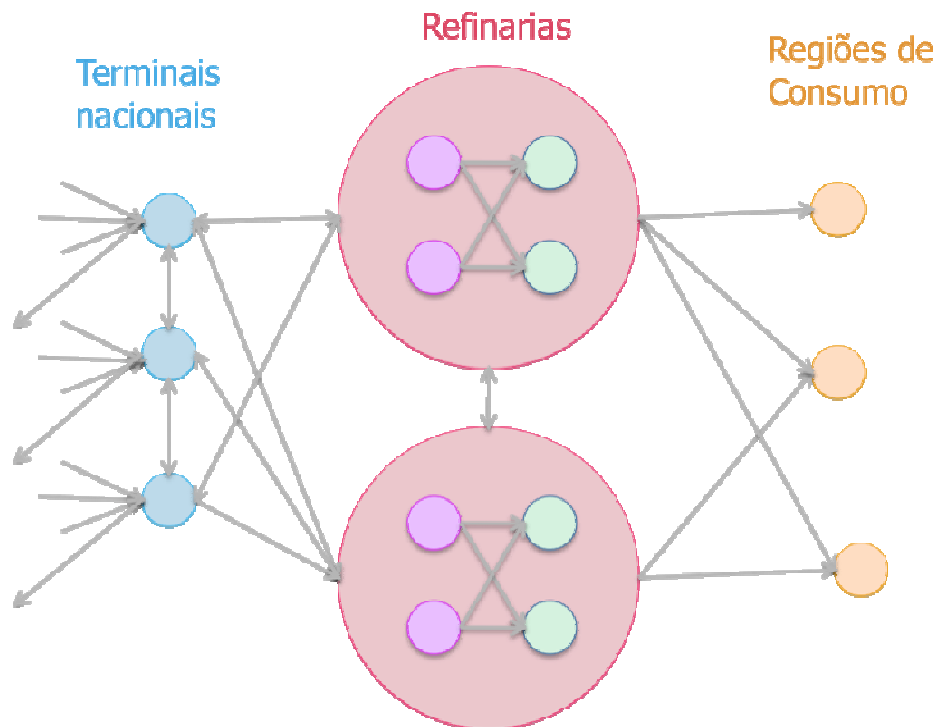


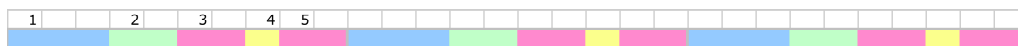
Figura 6 – Representação dos fluxos de produto na rede

Para cada segmento do cromossoma serão descritas as variáveis representadas por cada gene, indicando o seu domínio e o número de cada tipo de variável no segmento.

Da mesma forma serão relacionadas as restrições às quais uma solução (variáveis do cromossoma) deve obedecer.

3.2.4.1. Terminais Nacionais

Número de genes = Terminais x (Ofertas Imp + Terminais -1 + Refinarias Entradas + Ofertas Exp + Refinarias Saídas)



1 - Três genes reais com o volume importado em cada uma das ofertas

Domínio:

Mínimo = zero ou a quantidade já contratada para a importação

Máximo = quantidade máxima ofertada na importação

Decodificação:

O valor representado por esses genes indica a quantidade a ser importada de cada oferta para o terminal.

Parcela na função de avaliação:

(Negativo) volume indicado para cada importação X preço da oferta.

2 - Dois genes reais com o volume transportado dos demais terminais para o terminal em questão

Domínio:

Mínimo = zero

Máximo = capacidade do arco para o produto transportado

Decodificação:

O valor representado por esses genes indica a quantidade a ser transportada dos demais terminais para cada terminal.

Parcela na função de avaliação:

(Negativo) volume indicado para cada movimentação X frete correspondente ao arco.

3 - Dois genes reais com o volume transportado das Refinarias

Domínio:

Mínimo = zero

Máximo = capacidade do arco para o produto transportado

Decodificação:

O valor representado por esses genes indica a quantidade a ser transportada de cada refinaria para cada terminal.

Parcela na função de avaliação:

(Negativo) volume indicado para cada movimentação X frete correspondente ao arco.

4 - Um gene real com o volume exportado na oferta

Domínio:

Mínimo = zero ou a quantidade já contratada para a exportação

Máximo = quantidade máxima ofertada na exportação

Decodificação:

O valor representado por esses genes indica a quantidade a ser transportada de cada terminal para a exportação..

Parcela na função de avaliação:

(Positivo) volume indicado para cada exportação X preço da oferta.

5 - Dois genes reais com o volume transportado para as Refinarias

Domínio:

Mínimo = zero

Máximo = capacidade do arco para o produto transportado

Decodificação:

O valor representado por esses genes indica a quantidade a ser transportada de cada terminal para cada refinaria.

Parcela na função de avaliação:

(Negativo) volume indicado para cada movimentação X frete correspondente ao arco.

Restrição:

Para cada terminal precisamos garantir que a capacidade de estocagem seja atendida:

Estoque inicial + Entradas - Saídas \leq Capacidade Estocagem

O valor dado por (Estoque inicial + Entradas – Saídas) será o estoque acumulado no terminal do mês em questão para o mês seguinte.

**3.2.4.2.
Refinarias**

Número de genes = Refinarias x (Refinarias - 1) x Produtos

1

1 - Um gene com o volume transportado da outra Refinaria

Domínio:

Mínimo = zero

Máximo = capacidade do arco para o produto transportado

Decodificação:

O valor representado por esses genes indica a quantidade a ser transportada entre as refinarias.

Parcela na função de avaliação:

(Negativo) volume indicado para cada movimentação X frete correspondente ao arco.

Restrição:

Para cada refinaria precisamos garantir que a capacidade de estocagem seja atendida:

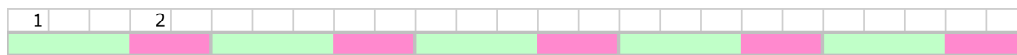
$$\text{Estoque inicial} + \text{Entradas} - \text{Saídas} \leq \text{Capacidade Estocagem}$$

O valor dado por (Estoque inicial + Entradas - Saídas) será o estoque acumulado na refinaria do mês em questão para o mês seguinte.

3.2.4.3.

Vendas para o Mercado Interno

$$\text{Número de genes} = \text{Vendas} \times (\text{Terminais} + \text{Refinarias})$$



1 - Três genes reais com o percentual da venda atendido por cada terminal

Domínio:

Mínimo = zero

Máximo = um

Decodificação:

O valor representado por esses genes indica o percentual de cada venda do mercado interno a ser atendido por cada terminal.

Parcela na função de avaliação:

(Positivo) percentual atendido da venda X volume contratado X preço da venda.

2 - Dois genes reais com o percentual da venda atendido por cada refinaria

Domínio:

Mínimo = zero

Máximo = um

O valor representado por esses genes indica o produto a ser carregado em cada unidade de cada refinaria. A quantidade do produto indicado para ser carregado é calculada de acordo com a disponibilidade desse produto na refinaria, dada pela quantidade movimentada de outra refinaria ou terminal, mais o estoque, mais as saídas de outras unidades dessa refinaria no mês em questão. Caso essa quantidade totalize zero, significa que o produto não será carregado na unidade.

De acordo com a quantidade de cada produto indicada para ser carga da unidade, a saída de cada unidade é calculada a partir dos rendimentos relacionados a campanha indicada.

Parcela na função de avaliação:

Não existe custo ou receita relacionada a essa variável.

Restrição:

Para cada refinaria precisamos garantir que as saídas totais da refinaria (movimentações para outra refinaria, terminal ou região de consumo) não ultrapassem as saídas das unidades, mais as quantidades resultantes de degradações, mais estoques.

**3.2.4.6.
Avaliação**

A função de avaliação deve buscar dois objetivos:

- Maximização do lucro: Soma das parcelas na função de avaliação descritas anteriormente.
- Maximização do atendimento das vendas do mercado interno: Soma das vendas de mercado interno atendidas de acordo com o gene de indicação de percentual atendido de cada venda.

A melhor solução deve ser eleita de acordo com a avaliação da combinação entre os múltiplos objetivos.

4 Arquitetura do Sistema Proposto

Nesse capítulo é apresentada a arquitetura proposta para o sistema e em seguida é feita uma descrição de cada módulo do diagrama.

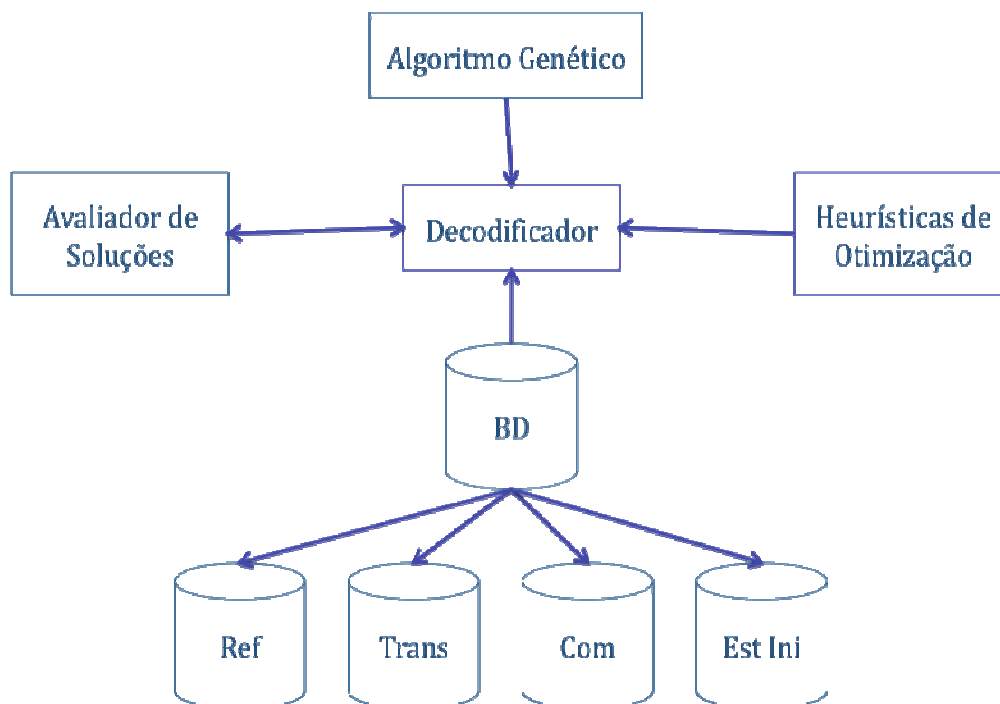


Figura 7 – Arquitetura proposta

4.1. BD

O Banco de dados deverá conter todas as informações pertinentes ao problema, incluindo as informações de Refino, Transporte, Comercialização e Estoques Iniciais.

A interface com o sistema será via XML.

4.2. Algoritmo Genético

Para a implementação computacional do algoritmo genérico será utilizado o GACOM.

O GACOM é uma biblioteca desenvolvida pelo ICA que tem como finalidade permitir o desenvolvimento de programas utilizando técnicas de computação evolucionária. Os objetivos desta biblioteca são:

- Reutilização: permitir que os módulos que compõem a biblioteca sejam facilmente intercambiáveis e reutilizáveis;
- Simplicidade: permitir, de maneira fácil e rápida, o desenvolvimento de novas aplicações;
- Extensibilidade: permitir que, se necessário, se acrescente novas funcionalidades a biblioteca sem a necessidade de se expor o funcionamento dos módulos já presentes.

Em sua atual versão, o GACOM conta com as seguintes funcionalidades: definição de diferentes tipos de representação de genes, segmentação do indivíduo para permitir cromossomos compostos por mais de um tipo de representação, formas de elitismo, seleção por roleta, normalização linear, operadores evolutivos (crossover, mutação e crossover especial), multiobjetivos com pareto, execução em pipeline para permitir inserção de blocos de código entre os passos da otimização, definição de diversos critérios de parada. Os demais operadores serão tratados no capítulo seguinte.

O componente possui suporte à restrições lineares (GENOCOP I) e não lineares (GENOCOP III), problemas com restrições de precedência (Problemas de planejamento), problemas co-evolucionário e multi-objetivos. Para esse último, recomenda-se a utilização do componente MULTICOM, também desenvolvido no ICA, o qual permite a resolução de problemas multi-objetivos através dos métodos de agregação de objetivos, distância ao alvo e minimização de energia.

Essa Biblioteca de Algoritmos Genéticos pode ser facilmente utilizado por qualquer sistema de busca e otimização, utilizando interface em XML (o que facilita a criação e alteração do GA).

Para o problema aqui tratado são utilizados tipos de genes reais e inteiros, compondo um cromossoma segmentado. Para o suporte às restrições lineares do problema será utilizado o Genocop I.

O GACOM permite que a implementação do cromossomos seja feita em diversos segmentos, com diferentes representações, possibilitando que um cromossomo possa ter mais de um tipo de genes diferente, assim como foi representado no capítulo anterior.

Cada tipo de gene possui um conjunto de operadores evolucionários (métodos de cruzamento e mutação de indivíduos) relacionados a eles. No GACOM, deve-se atribuir a cada segmento, um conjunto de operadores que serão utilizados durante a evolução, com a finalidade de encontrar indivíduos mais aptos. Na criação do operador devesse indicar também a probabilidade de cada um desses operadores ser aplicados.

A plataforma utilizada é Microsoft .NET, visando em uma plataforma única para desenvolvimento e execução de sistemas e aplicações.

4.3. Decodificador

O decodificador será responsável por transformar a informação de cada cromossoma em uma solução viável.

4.3.1. Avaliador de Soluções

O módulo de avaliação de soluções irá calcular para cada solução a função objetivo obtida. No caso do problema aqui tratado, temos uma função multi-objetivos que busca maximizar o lucro da empresa e o atendimento das vendas do mercado interno.

Para termos uma avaliação única, recomenda-se a utilização do componente MULTICOM, também desenvolvido no ICA, o qual permite a resolução de problemas multi-objetivos através dos métodos de agregação de objetivos, distância ao alvo e minimização de energia.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

O papel do planejamento operacional é conectar as várias alternativas e aproveitá-las da forma que resulte no maior lucro para o Sistema Petrobras.

O objetivo desse trabalho foi detalhar o problema de planejamento integrado do abastecimento, mostrando todas as opções de movimentação e produção de petróleo e derivados, e propor um modelo de otimização levando em consideração as alternativas de importação e exportação, onde se tem flexibilidade para otimização.

Para se obter um planejamento otimizado para todo o Sistema Petrobras são necessárias inúmeras informações de diferentes tipos, tornando o problema extremamente complexo e difícil de ser resolvido. Dessa forma, uma ferramenta que apóie a elaboração do plano é fundamental na tomada de decisões.

Um ponto importante a ser observado nesse trabalho é que, além de uma modelagem complexa para o problema, temos que ter uma grande preocupação sobre a qualidade das informações que são utilizadas. Para que o planejamento esteja aderente a realidade são necessários diversos tipos de dados, originados de uma enorme variedade de sistemas não integrados.

Além disso, muitas vezes são necessárias simplificações para que o problema possua uma solução viável. Nesse contexto temos o desafio de modelar o problema de forma que ele seja aderente a realidade e ao mesmo tempo tenha um grau de abstração razoável. Existe aqui um grande dilema do que se deve ou não ser incluído na modelagem para que a solução indicada seja possível de ser realizada na prática, mas ao mesmo tempo, não torne o problema tão complexo no que se refere a detalhes operacionais que não trazem grandes impactos no resultado do planejamento final.

Esse trabalho se limitou a descrição da modelagem do problema de planejamento integrado do abastecimento, como trabalho futuro tem-se a implementação do que foi proposto.

6

Referências Bibliográficas

HOLLAND, J. H.. Adaptation in Natural and Artificial System. University of Michigan Press, 1975.

HAUPT, R. L.. Practical Genetic Algorithms. Wiley-IEEE. 2004.

PACHECO, M. A.. Notas de Aula em Computação Evolucionária (www.ica.ele.pucrio.br).

Manual do GACOM (biblioteca desenvolvida pelo ICA - www.ica.ele.pucrio.br).