

VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH (VNS) APLICADO AO PROBLEMA DE DISTRIBUIÇÃO DUTOVIÁRIA COM RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE

Erito M. Souza Filho¹ (COPPE-UFRJ), Virgílio J. M. Ferreira Filho² (COPPE-UFRJ), Leonardo S. de Lima³ (CEFET-RJ)

¹eritomarkes@yahoo.com.br

²virgilio@petroleo.ufrj.br

³leolima@pep.ufrj.br

A utilização de dutos tem sido um mecanismo eficiente para o transporte, a baixos custos, de derivados de petróleo a longas distâncias. A desvantagem da implementação do transporte dutoviário é o seu alto investimento inicial, entretanto os custos de operação são baixos quando comparados a outros modais. Além disso, os dutos têm alta confiabilidade.

O presente trabalho visa à obtenção de um *scheduling* de bombeamento com custo mínimo para o Problema de Transporte Dutoviário (PTD) com uma origem e vários destinos. Questões como quais produtos e quais as quantidades a serem bombeadas de cada produto devem ser respondidas para a determinação do *schedule*. O problema foi resolvido para um oleoduto particular da malha dutoviária brasileira. O Oleoduto São Paulo-Brasília (OSBRA), com cerca de 964 quilômetros, transporta cinco tipos de produtos, a saber, gasolina, querosene de aviação (QAv), gás liquefeito de petróleo (GLP), óleo diesel tipo I e óleo diesel tipo II. A fonte desses produtos é a Refinaria de Paulínia (REPLAN), a partir da qual os produtos podem ser distribuídos para as bases de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília.

Em 1997 Pierre Hansen e Nenad Mladenovic, propõem a metaheurística *Variable Neighborhood Search (VNS)* se baseia em um simples princípio: mudança sistemática da vizinhança dentro da busca. A partir daí, a literatura tem atestado um bom desempenho dessa metaheurística, no tocante a diversos problemas de otimização combinatória.

Por outro lado, conforme destaca Slack et al. (1999), o planejamento e controle da capacidade estão atrelados a maneira como a operação deve reagir às flutuações da demanda. Um equilíbrio adequado entre capacidade e demanda pode gerar altos lucros, enquanto um “equilíbrio equivocado” pode ser desastroso. O custo de exceder a capacidade de armazenamento na base consiste no envio de uma quantidade de horas de bombeamento superior a que a base poderia armazenar. Seja k a essa quantidade máxima que a base pode armazenar, para qualquer quantidade superior a k horas, incorre-se em custo extra de armazenamento.

Para implementação do VNS no PTD-OSBRA foi feito uma discretização do horizonte de tempo em horas, utilizando para tal o conceito de dominó. Um dominó D_{rs} consiste em um par ordenado (P_r, B_s) , assinalando que o produto r será bombeado por uma hora, visando abastecer a base s . Foi considerado um horizonte de planejamento de 168 horas e utilizado o VNS para alocar 168 dominós visando minimizar os custos logísticos de transporte levando em consideração a capacidade das bases.

Palavras-chave: transporte dutoviário, petróleo e derivados, VNS.

1. INTRODUÇÃO

O transporte geralmente representa o elemento mais importante no tocante aos custos logísticos da maioria das empresas. Um sistema de transporte eficiente e barato contribui para aumentar a concorrência de mercado, elevar as economias de escala, de produção e reduzir os preços das mercadorias (Ballou, 2001). Existem cinco modais básicos de transporte: rodoviário, aéreo, ferroviário, aquaviário e dutoviário. A evolução da matriz de transporte brasileira atesta uma movimentação de carga concentrada no modal rodoviário. Este modal traz no seu bojo problemas advindos da má conservação das estradas, associados a uma frota com idade avançada, resultando em grandes tempos de viagem e altos custos de manutenção, e, conseqüentemente, fretes pouco competitivos. Para Trevisan e Souza Filho (2006), o transporte rodoviário vive hoje o difícil momento de rediscussão e de encontro do seu novo papel diante das mudanças que tendem a ocorrer na matriz de transporte.

O transporte aéreo representa seguramente o meio de transporte mais rápido dentre os demais modais, tendo uma variabilidade pequena no tempo de entrega além de grande confiabilidade, entretanto seu custo é em geral bastante elevado. Ballou (2001) destaca ainda que a capacidade aérea tem sido restringida pelas dimensões físicas do espaço destinado às cargas e pela capacidade de decolagem da aeronave.

O transporte ferroviário caracteriza-se pela baixa velocidade e um transporte para longas distâncias de produtos de baixo valor agregado. Atualmente o modal ferroviário brasileiro vem enfrentando diversos

problemas, frutos da existência de ferrovias em estado precário, tempo excessivo em terminais e o custo elevado do frete desproporcional a sua eficiência (Trevisan e Souza Filho, 2006).

O transporte aquaviário possui baixa velocidade, entretanto o custo associado a perdas e danos é considerado baixo e em geral as perdas devido a demoras não são sérias. Para o caso do transporte fluvial, o clima pode ser considerado um elemento importante, por exemplo, secas, inundações e inverno rigoroso impedem o uso desse tipo de transporte (Ballou, 2001). A utilização dos transportes aquaviários e ferroviários no Brasil está aquém de seu potencial.

Os dutos têm sido um mecanismo eficiente para o transporte, a baixos custos, de derivados de petróleo a longas distâncias. Eles propiciam a conexão entre as fontes e os destinos, conectando, por exemplo, as refinarias aos centros de distribuição (Rejowski E Pinto, 2003). A desvantagem da implementação do transporte dutoviário é o seu alto investimento inicial, entretanto os custos de operação são baixos quando comparados a outros modais. Além disso, os dutos têm alta confiabilidade, conforme narra Sasikumar et al. (1997).

A operação de dutos constitui um importante elo na cadeia logística de abastecimento e distribuição do setor de petróleo e gás. Os produtos são recebidos e armazenados nos terminais, e sua distribuição pode ser realizada por navios ou dutos. Esta logística funciona como um sistema integrado que faz a movimentação desses produtos dos campos de produção para as refinarias, e vale tanto para o petróleo produzido no Brasil quanto para o petróleo importado, descarregado nos terminais marítimos. Após o processamento nas refinarias, os derivados são direcionados aos centros consumidores e aos terminais marítimos, onde serão embarcados para distribuição no próprio país ou no exterior (Sangineto, 2006).

De acordo com os dados obtidos no anuário estatístico da Agência Nacional de Petróleo (ANP), a malha dutoviária brasileira é composta atualmente por 446 dutos, os quais podem ser subterrâneos ou terrestres, e que juntos somam 15.069 quilômetros de extensão. Desse total, 337 estão envolvidos nas operações de transporte e transferência de petróleo e derivados.

A Tabela 2 exibe a dinâmica da quantidade total de dutos e os dutos envolvidos nas operações de transferência e transporte de petróleo e derivados no período de 2001 a 2006.

Tabela 2: Transferência de petróleo e derivados

Ano	Transferência e transporte de petróleo e derivados			Total
	Número de dutos	Extensão dos dutos	Dutos	Extensão (km)
2001	241	7559	400	15570
2002	433	7467	568	15233
2003	309	7443	411	15098
2004	316	7462	420	15133
2005	335	7364	438	15047
2006	337	7366	446	15069

Fonte: ANP (2007)

2. REVISÃO DA LITERATURA

O Problema de Transporte Dutoviário (PTD) consiste basicamente na determinação de quatro componentes: quais produtos serão bombeados, em que quantidade, como serão distribuídos dentre os diversos destinos e qual a seqüência de bombeamento a ser seguida. Para tal, é preciso que se respeitem: as restrições de limites de estoques, tanto nas refinarias como nas bases de distribuição do produto, as limitações de vazões, as restrições de interface e as restrições de atendimento da demanda, dentre outras, visando minimizar os custos operacionais (Sasikumar et al., 1997).

Podemos classificar o PTD de acordo com: o número de dutos, a quantidade de produtos, a quantidade de fontes, a quantidade de destinações e o sentido percorrido pelo produto, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Categorias do problema de distribuição dutoviário

CATEGORIAS				
Quanto ao número de dutos utilizados	Quanto à quantidade de produtos escoados	Quanto à quantidade de destinações	Quanto à quantidade de fontes	Quanto ao sentido percorrido pelos produtos
- único duto	- único produto	- único destino	- única fonte	- unidirecional
- dois ou mais dutos	- dois ou mais produtos (polidutos)	- vários destinos	- duas ou mais fontes	- bidirecional
(rede de dutos)				

Fonte: Souza Filho, Alves e Ferreira Filho (2006)

O estudo de problemas sobre distribuição dutoviária é bastante recente e ainda não dispõe de uma literatura extensa. Entretanto, nos últimos anos tem se verificado um aumento significativo de trabalhos na área, conforme mostra a tabela 4. Pode-se verificar que grande parte dos autores fez uma abordagem de programação linear inteira mista (MILP). Uma revisão bibliográfica sobre o assunto pode ser encontrada em Souza Filho (2007) e Alves (2007).

A Tabela 4 expõe um resumo da literatura existente sobre distribuição dutoviária.

Tabela 4: Resumo da literatura existente em relação à distribuição dutoviária

Autor	Dutos	Destinos	Fontes	Técnica	Horizonte de Tempo e Solução Alcançada
Shah (1996)	Único	Único	Única	MILP (com discretização uniforme do horizonte de tempo)	1 mês Solução viável
Magatão et al. (2004)	Único	Único	Única	MILP (com discretização uniforme do horizonte de tempo)	120 horas Solução ótima
Hane e Ratliff (1995)	Único	Vários	Única	Algoritmo Guloso + Branch-and-Bound	-- Solução ótima
Sasikumar et al. (1997)	Único	Vários	Única	Beam Search (Inteligência Artificial)	1 mês Solução viável
Rejowski (2001 e 2003)	Único	Vários	Única	MILP (com discretização uniforme do horizonte de tempo)	75 horas Solução viável
Rejowski e Pinto (2004)	Único	Vários	Única	MILP (com discretização uniforme do horizonte de tempo)	75 horas Solução ótima
Cafaro e Cerdá (2004)	Único	Vários	Única	MILP (com representação contínua de tempo)	75 horas Solução ótima
Jittamai (2004)	Único	Vários	Única	Heurística de Fluxo Reverso	-- Solução viável
Sangineto (2006)	Único	Vários	Única	Algoritmo Genético	168 horas Solução viável
Souza Filho (2007)	Único	Vários	Única	VNS	168 e 336 h Solução viável
Alves (2007)	Rede	Vários	Vários	Algoritmo Genético	7 e 14 dias Solução Viável
Camponogara (1995)	Rede	Vários	Vários	Heurística A-Team	120 h Solução Inviável
Crane et al. (1999)	Rede	vários	Única	Algoritmo Genético	-- Solução Viável
Milidiú et al. (2001)	Rede	vários	Vários	GRASP	120 h Solução viável
Braconi (2002)	Rede	vários	Vários	PL (com representação contínua de tempo) + Heurística	5 – 30 dias Solução viável

De la Cruz et a. (2003 e 2005)	Rede	Vários	Vários	Algoritmo Evolucionário Multiobjetivo e MILP	65 períodos de tempo Solução viável
Pessoa (2003)	Rede	Vários	Vários	Heurística	Solução viável / ótima (resultados teóricos)
Liporace (2005)	Rede	Vários	Vários	Busca Heurísticas (Inteligência Artificial) + Simuladores	-- Solução viável
Más e Pinto (2003)	Rede	Vários	Única	MILP de tempo contínuo baseado em eventos	168 horas Solução viável
Neiro e Pinto (2004)	rede	Vários	Vários	MINLP (com discretização do horizonte de tempo)	2 períodos de tempo Solução viáveis

3. METODOLOGIA

O oleoduto São Paulo-Brasília (OSBRA), com cerca de 964 quilômetros, transporta cinco tipos de produtos, a saber: gasolina, querosene de aviação (QAv), gás liquefeito de petróleo (GLP), óleo diesel tipo I e óleo diesel tipo II. A fonte desses produtos é a Refinaria de Paulínia (REPLAN), a partir da qual os produtos podem ser distribuídos para as bases de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Senador Canedo e Brasília. Existem ainda duas estações de tratamento: Pirassununga e Buriti Alegre, conforme fluxograma exibido na Figura 1. Trata-se, portanto, de um problema com um único duto, 5 produtos, 5 bases, 1 fonte e sentido unidirecional. O Problema de Transporte Dutoviário do Oleoduto São Paulo-Brasília (PTD-OSBRA) consiste em determinar quais dentre os cinco produtos serão bombeados, a partir da REPLAN, em que quantidade, como serão distribuídos dentre os cinco destinos e a sequência de bombeamento a ser seguida, considerando um determinado horizonte de planejamento. Algumas restrições são impostas ao problema, tais como restrições de capacidade de armazenagem nas bases e compatibilidade de produtos, e o que se deseja é a obtenção de um escalonamento de baixo custo. Dentre os custos envolvidos, podemos citar os custos de estocagem, custos de bombeamento, custo de envio nos horários de pico, custos de interface, custo de exceder a capacidade nas bases e custo de demanda não atendida.

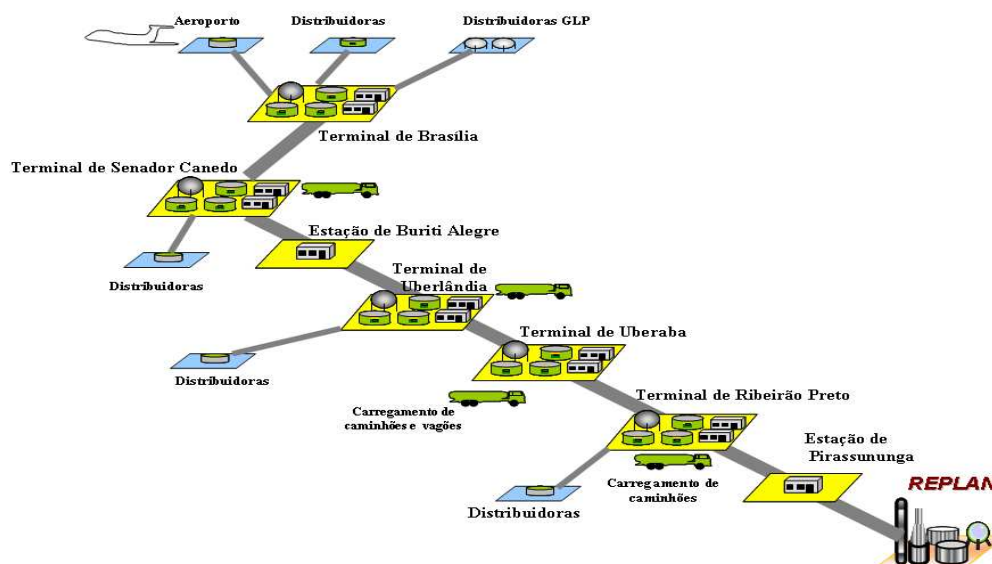


Figura 1: Fluxograma Operacional do OSBRA

Para resolver o PTD-OSBRA utilizamos uma modelagem através do conceito de dominós. Consideremos um conjunto de produtos $P_1, P_2, \dots, P_m$, e um conjunto de bases (destinos) $B_1, B_2, \dots, B_n$. Os

produtos são enviados as bases, que os reenviam para o mercado consumidor local. Definimos um *dominó* D_{rs} como um par ordenado (P_r, B_s) , assinalando que a base s receberá uma hora de bombeamento do produto r . Um conjunto de dominós dispostos seqüencialmente forma um escalonamento (*schedule*).

O problema consiste em determinar os pares (P_r, B_s) para cada hora de bombeamento do horizonte de planejamento, de forma que as restrições impostas ao problema sejam atendidas e o custo da função objetivo seja o menor possível. Neste trabalho avaliamos um cenário, onde a função objetivo levou em consideração os custos de bombeamento, custo de envio de produtos em horário de “pico”, custo de estocagem nas bases, custos de interface, custo de não atendimento da demanda e o custo de exceder a capacidade das bases.

3.1 Função Objetivo

O custo de bombeamento de um determinado produto i para uma base j é previamente conhecido e denotado por $C_b(P_i, B_j)$. Assim o custo total de bombeamento obtido a partir de uma solução S é dado por

$$\sum_{(P_i, B_j) \in S} C_b(P_i, B_j).$$

O chamado “apagão” de energia elétrica, ocorrido em 2001 e 2002 trouxe no seu bojo uma redefinição das políticas empresariais no tocante a economia de energia elétrica. Quando um produto é bombeado no chamado horário de pico, incorre-se em custo adicional, que é fruto da tarifa extra de energia elétrica que o processo passa a requerer. O custo de pico é calculado como um percentual do custo total de bombeamento dos produtos bombeados no horário de pico. Este horário funciona durante a semana de 17 às 20h. Portanto $C_p = \lambda * \sum_{(P_i, B_j) \in S_p} C_b(P_i, B_j)$, onde S_p é o conjunto de dominós associados ao horário de pico. No presente

trabalho utilizamos $\lambda = 0,1$, ou seja, o custo de envio no horário de pico de um determinado produto aumenta 10%.

O custo de estocagem refere-se ao custo de armazenamento dos produtos enviados sendo previamente conhecido e denotado por $C_e(P_i, B_j)$. Assim o custo total de estocagem obtido a partir de uma solução S é dado por $\sum_{(P_i, B_j) \in S} C_e(P_i, B_j)$.

A incompatibilidade entre produtos se caracteriza pelo fato de alguns destes não poderem ser enviados um após o outro. Muitas vezes, para evitar esta incompatibilidade adota-se a estratégia de envio de um produto intermediário, entre dois produtos incompatíveis, o qual se denomina produto selante ou simplesmente “selo”. O envio de produtos distintos, porém compatíveis, incorre no chamado custo de interface. Este custo está associado à perda de produto devido ao contato entre os mesmos. O custo de separação entre dois dominós consecutivos D_{ij} e D_{kr} é conhecido previamente e aqui denotado por $C_{sep}(D_{ij}, D_{kr})$. O custo total de interface é dado pela soma de todos os custos de separação para todo par de dominós consecutivos na solução S .

O custo de não-atendimento da demanda (CNAD) pode ser modelado como um atendimento que acontecerá fora (depois) do horizonte de planejamento. Suponha que o horizonte de planejamento seja de 3 horas e o somatório total da demanda nas bases seja 6 horas. Nesse exemplo, teremos uma demanda de três horas não sendo atendidas. Para essa demanda não-atendida, incorre-se em um custo, o custo de não-atendimento da demanda. Esse custo de não-atendimento é calculado pelo produto entre a quantidade de horas não atendidas de um produto i na base j e o custo de não-atendimento (suposto a priori como conhecido). O somatório destes custos nos dá o custo total de não-atendimento da demanda. Na Figura 2, o cálculo do custo de não-atendimento da demanda é dado por:

Custo total de não-atendimento da demanda: $(2*13) + (1*10) = 36$ u.m

12	34	34	11	11	12
Horizonte de planejamento (3 horas de bombeamento)			CNAD = 13	CNAD = 13	CNAD = 10

Figura 2: Cálculo do custo de não-atendimento da demanda

O planejamento e controle da capacidade estão atrelados à maneira como a operação deve reagir às flutuações da demanda. Um equilíbrio adequado entre capacidade e demanda pode gerar altos lucros, enquanto um “equilíbrio equivocado” pode ser desastroso (Slack et al., 1999). As restrições de capacidade de armazenagem nas bases e as de compatibilidade entre produtos foram incorporadas na função objetivo através da inserção de um parâmetro de penalização caso a solução obtida não satisfaça tais restrições. De forma similar ao custo de não atendimento da demanda, o custo de exceder a capacidade de armazenamento na base pode ser modelado como o envio de uma quantidade de horas de bombeamento superior à que a base poderia armazenar. Em todos os modelos aqui desenvolvidos o valor desse custo foi adotado como um valor muito elevado em relação aos outros custos envolvidos ($BIG\ M = 10^6$).

3.2 A metaheurística Variable Neighborhood Search (VNS)

Para solução do PTD-OSBRA utilizou-se a *Variable Neighborhood Search* (VNS) que é uma metaheurística proposta por Hansen e Mladenovic (1997) e se baseia em um princípio simples: mudança sistemática da estrutura de vizinhança dentro da busca.

O algoritmo básico do VNS é descrito abaixo:

Inicialização. Selecione um conjunto de vizinhanças N_k , ($k = 1, \dots, k_{\max}$), que será usado na “descida”;
encontre uma solução inicial; escolha uma condição de parada;

Repita. a seguinte seqüência até a condição de parada ser satisfeita:

- (1) Faça $k \leftarrow 1$
- (2) Repita os seguintes passos até $k = k_{\max}$:
 - (a) **Mistura.** Gere um ponto aleatório x' da k -ésima vizinhança de x ($(x' \in N_k(x))$);
 - (b) **Busca local.** Aplique algum método de busca local tendo x' como solução inicial; denote por x'' o novo ótimo local obtido.
 - (c) **Mova ou não.** Se esse ponto é melhor que o ponto titular (*incumbent*), $x \leftarrow x''$ e continue a pesquisa em N_1 ($k \leftarrow 1$); caso contrário, faça $k \leftarrow k + 1$.

O presente trabalho fez uso em seus modelos de uma vizinhança *Dois-Opt* com primeira melhoria. Essa vizinhança consiste em realizar permutações entre dois dominós até que uma solução melhor que a solução inicial seja encontrada. Vale ressaltar que no pior caso, a partir da solução inicial, serão realizadas todas as permutações possíveis entre todos os pares de dominós. A principal motivação para uso desta vizinhança foi o artigo de Hansen e Mladenovic (2006) onde esta estrutura foi exaustivamente testada no problema do Caixeiro Viajante. No exemplo ilustrado na Figura 3, a primeira melhoria ocorre no quinto escalonamento e portanto, o valor escolhido será 49.

menor custo atual: 47							
P1	B1	P1	B2	P3	B4	P1	B1
custo total: 50							
P1	B2	P1	B1	P3	B4	P1	B1
custo total: 52							
P3	B4	P1	B2	P1	B1	P1	B1
custo total: 51							
P1	B1	P1	B2	P3	B4	P1	B1
custo total: 50							
P1	B1	P3	B4	P1	B2	P1	B1
custo total: 49							
P1	B1	P1	B1	P3	B4	P1	B2
custo total: 45							

Figura 3: Vizinhança 2-opt com primeira melhoria

A vizinhança *Junta Dominós com primeira melhoria* procura unir dois dominós iguais, dispondo-os em seqüência. Seja (P_r, B_s) o dominó da i-ésima posição (hora), procura-se no escalonamento o próximo dominó do mesmo tipo, que se encontra na posição k. Trocam-se as posições do dominó da posição i+1 e o da posição k e avalia-se o valor da função objetivo do novo escalonamento formado, o processo é repetido até que uma solução melhor que a solução inicial seja encontrada (primeira melhoria). Na Figura 4, a primeira melhoria ocorre no quinto escalonamento e portanto, o valor escolhido seria 58. A vizinhança 2-opt tradicional na literatura também foi usada.

menor custo atual: 60								
11	34	12	12	34	11	12	11	
custo total: 63								
11	11	12	12	34	34	12	11	
custo total: 64								
11	34	34	12	12	11	12	11	
custo total: 63,5								
11	34	12	12	34	11	12	11	
custo total: 63								
11	34	12	12	12	11	34	11	
custo total: 58								
11	34	12	12	34	11	11	12	
custo total: 63,1								

Figura 4: Vizinhança Junta dominós com primeira melhoria

4. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

A condição de parada utilizada no algoritmo foi o número máximo de iterações sem melhorias, não necessariamente consecutivas. Foram desenvolvidos 6 sub-modelos, a saber:

- submodelo 1: utiliza apenas a vizinhança 2-opt com primeira melhoria.
- submodelo 2: utiliza a vizinhança 2-opt com primeira melhoria, seguida da vizinhança junta dominós.
- submodelo 3: utiliza a vizinhança junta dominós, seguida 2-opt com primeira melhoria.
- submodelo 4: utiliza apenas a vizinhança 2-opt.
- submodelo 5: utiliza a vizinhança 2-opt, seguida da vizinhança junta dominós.
- submodelo 6: utiliza a vizinhança junta dominós, seguida 2-opt.

Estes submodelos foram testados para 200 iterações e os resultados obtidos são apresentados na tabela

5.

Tabela 5: Resultados obtidos

Modelo	Iterações		Sol inicial	1ª	2ª	3ª	Média
1	200	Custo (R\$)	106889056,10	2786483,95	2784384,00	2788983,95	2786617,30
		Tempo (s)		2634,89	2647,25	3083,84	2788,66
3	200	Custo (R\$)	106889056,10	2785983,95	2787983,95	2790984,00	2788317,30
		Tempo (s)		2866,64	2660,00	3050,38	2859,01
4	200	Custo (R\$)	106889056,10	2793683,95	2789484,00	2791584,00	2791583,98
		Tempo (s)		2254,89	2343,95	2648,24	2415,69
6	200	Custo (R\$)	106889056,10	2789483,95	2790983,95	2792484,00	2790983,97
		Tempo (s)		4745,76	5060,16	5081,04	4962,32

5. CONCLUSÕES

O uso do conceito de dominós foi muito útil, permitindo uma descrição simples e de fácil implementação. Para realização do transporte dos derivados de petróleo é demandada uma quantidade significativa de energia. Assim sendo, torna-se importante respeitar as limitações energéticas impostas, seja no tocante a disponibilidade, seja em relação ao envio de produtos no chamado “horário nobre” (17 às 20 horas), que resulta em tarifa maior de energia (Souza Filho, Ferreira Filho e Lima, 2007). A utilização do custo de horário de envio de produto no horário de pico se mostrou um elemento importante no tocante à minimização dos custos envolvidos no processo.

O modelo 1 (2-opt com primeira melhoria) e o modelo 3 (Junta dominós com primeira melhoria seguido da vizinhança 2-opt com primeira melhoria) foram melhores que os demais, tanto em relação ao critério de baixo valor da função objetivo quanto em relação tempo computacional. Os modelos 2 e 5 não apresentaram soluções viáveis com 200 iterações.

6. REFERÊNCIAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2007, “*Anuário Estatístico 2006*”, disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2006.asp>, acesso em 10/01/2007.

ALVES, V.R.F.M, 2007, “*Programação de transferência de derivados de petróleo em rede dutoviária usando Algoritmo Genético*”, Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, 113p.

ASSIS, E. L. B. D, 2002, “*Otimização das operações de distribuição de uma malha dutoviária*”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, USP, São Paulo. 111p.

BALLOU, R. H., 2001, “*Gerenciamento da cadeia de suprimentos*”, Bookman.

BRACONI, V. M., 2002, “*Heurísticas multifluxo para roteamento de produtos em redes dutoviárias*”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática, PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002. 78p.

CAFARO, D. C. e CERDA, J., 2004, “*Optimal scheduling of multiproduct pipeline systems using a non-discrete MILP formulation*”. Computers & Chemical Engineering, v.28, n.10, p.2053-2068.

CAMPONOGARA, E., 1995, “*A-Teams para um problema de transporte de derivados de petróleo*”. Dissertação de Mestrado. Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, Campinas. 185 p.

CRANE, D. S., WAINWRIGHT, R. L., et al., 1999, “*Scheduling of multi-product fungible liquid pipelines using genetic algorithms*”. Proceedings of the 1999 ACM Symposium on Applied Computing. San Antonio, Texas, USA. February 28 - March 02, 280-285 p.

DE LA CRUZ, J. M., DE ANDRÉS-TORO, B., et al., 2003, “*Multiobjective optimization of the transport in oil pipelines networks*”. Proceedings of the IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2003). Lisboa, Portugal. 16-19 September, 566-573 p.

DE LA CRUZ, J. M., HERRAN-GONZÁLEZ, A., et al., 2005, “*Hybrid heuristic and mathematical programming in oil pipelines networks: Use of immigrants*”. Journal of Zhejiang University SCIENCE, v.6A, n.1, p.9-19.

DE LA CRUZ, J. M., MARTIN, J. L. R., et al., 2004, “*Hybrid heuristic and mathematical programming in oil pipelines networks*”. Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2004). Portland, Oregon, USA. 19-23 June, 1479-1486 p.

FERREIRA FILHO, V. J. M., 2006, “*Notas de aula do curso de ANALISTA DE TRANSPORTE MARÍTIMO (ATM-Petrobrás)*”.

HANE, C. A. e RATLIFF, H. D., 1995, “*Sequencing inputs to multi-commodity pipelines*”. Annals of Operations Research, v.57, n.1, p.73-101. 1995.

HANSEN, P., MLADENOVIC, N., 2006, “*First vs. best improvement: An empirical study*”. Discrete Applied Mathematics, n° 154, p.802-817.

JITTAMAI, P., 2004, “*Analysis of oil-pipeline distribution of multiple products subject to delivery time-windows*”. Ph.D. Dissertation. Texas A&M University, College Station, Texas, USA.

LIPORACE, F. D. S., 2005 “*Planejadores para transporte em polidutos*”. Tese de Doutorado. Departamento de Informática, PUC-Rio, Rio de Janeiro.

MAGATAO, L., ARRUDA, L. V. R., et al, 2004, “*A mixed integer programming approach for scheduling commodities in a pipeline*”. Computers & Chemical Engineering, v.28, n.1-2, p.171-185.

MÁS, R. e PINTO, J. M. 2003, “*A Mixed-Integer Optimization Strategy for Oil Supply in Distribution Complexes*”. Optimization and Engineering, v.4, n.1, p.23-64.

MILIDIÚ, R. L. e LIPORACE, F. D. S., 2003 “*Planning of pipeline oil transportation with interface restrictions is a difficult problem*”. PUC-Rio. Rio de Janeiro, p.1-9.

MILIDIÚ, R. L., LIPORACE, F. D. S., et al., 2003, “*Pipesworld: Planning Pipeline Transportation of Petroleum Derivatives*”. Proceedings of ICAPS'03 Workshop on the Competition: Impact, Organization, Evaluation, Benchmarks. Trento, Itália. 9-13 June,. 6 p.

MILIDIÚ, R. L. e PESSOA, A. A., 2001, “*Complexidade de problemas de planejamento de distribuição em oleodutos*”. PUC-Rio. Rio de Janeiro, Outubro, p.14.

MILIDIÚ, R. L., PESSOA, A. A., et al., 2001, “*Um algoritmo Grasp para o problema de transporte de derivados de petróleo em oleodutos*”. Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO). Campos do Jordão, SP, Brasil, 237-246 p.

_____. 2000, “*Pipeline Transportation of Petroleum Products*”. PUC-Rio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Setembro, p.24

_____. 2002, “*Pipeline Transportation of Petroleum Products with No Due Dates*”. Proceedings of 5th Latin American Symposium on Theoretical Informatics (LATIN 2002). Cancun, Mexico. 3-6 April,. 248-262 p.

_____. 2003, “*The complexity of makespan minimization for pipeline transportation*”. Theoretical Computer Science, v.306, n.1-3, p.339-351.

NEIRO, S. M. S. e PINTO, J. M., 2004, “*A general modeling framework for the operational planning of petroleum supply chains*”. Computers & Chemical Engineering, v.28, n.6-7, p.871-896.

PESSOA, A. A., 2003 “*Dois problemas de otimização em grafos: Transporte em redes de dutos e Busca com custos de acesso*”. Tese de Doutorado. Departamento de Informática, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 110 p.

_____. 2004, “*Planning the transportation of multiple commodities in bidirectional pipeline networks*”. PUC-Rio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Janeiro, p.20.

PINTO, J. M., JOLY, M., et al. , 2000, “*Planning and scheduling models for refinery operations*”. Computers & Chemical Engineering, v.24, n.9-10, p.2259-2276.

REJOWSKI JR., R., 2001 “*Programação de distribuição dutoviária de derivados de petróleo*”. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química, USP, São Paulo, 145 p.

REJOWSKI JR., R. e PINTO, J. M., 2002, “*An MILP formulation for the scheduling of multiproduct pipeline systems*”. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v.19, n.4, p.467-474.

_____. 2003, “*Scheduling of a multiproduct pipeline system*”. Computers & Chemical Engineering, v.27, n.8-9, p.1229-1246.

_____. 2004, “*Efficient MILP formulations and valid cuts for multiproduct pipeline scheduling*”. Computers & Chemical Engineering, v.28, n.8, p.1511-1528.

SANGINETO, M. L. T., 2006, “*Um algoritmo genético para a programação de transferências em um poliduto*”. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006. 93 p.

SASIKUMAR, M., RAVI PRAKASH, P., *et al.*, 1997, “*Pipes: A heuristic search model for pipeline schedule generation*”. Knowledge-Based Systems, v.10, n.3, p.169-175.

SHAH, N., 1996, “*Mathematical programming techniques for crude oil scheduling*”. Computers & Chemical Engineering, v.20, n.Supplement 2, p.S1227-S1232.

SLACK, N., S. C., CHRISTINE HARLAND, ROBERT JOHNSTON., 1999, “*Administração da produção*”, Editora Atlas.

SOUZA FILHO, E. M., FERREIRA FILHO, V.J.M., LIMA, L.S., 2007, “*Metaheurística Variable Neighborhood Search aplicada ao problema de distribuição dutoviária com limitação de envio de produtos em horário nobre*”, Jornada Científica em Economia da Energia.

SOUZA FILHO, E. M., 2007, “*Variable Neighborhood Search (VNS) aplicado problema de distribuição dutoviária*”, Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, 304p.

TREVISAN, N. T., SOUZA FILHO, E.M, 2006, “*Um enfoque logístico sobre a integrabilidade da infraestrutura da hidrovía Tietê-Paraná*”. Simpósio de Pesquisa Operacional da Marinha (SPOLM).

VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH (VNS) APPLIED TO PIPELINE DISTRIBUTION PROBLEM WITH CAPACITY CONSTRAINTS

Transportation through pipeline networks is recognized as the most efficient method for carrying high volumes of petroleum and its derivatives for long distances, but it also demands a great operational control. This turns the transport optimization in this pipeline system a problem of high relevance. This work deals to obtain a pump schedule of minimum cost to the pipeline transportation problem with one source and several destinies subject to the constraints of the problem and also considering the cost of exceeding the bases capacity. To obtains viable solutions to the problem the metaheuristic *Variable Neighborhood Search* (VNS) was used.

Keywords: pipeline transportation, oil and derivatives, VNS.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.