Faculdades Adamantinenses Integradas (FAI)

www.fai.com.br

SOUZA, Simone Silva Frutuoso; LIMA, Fernando Parra dos Anjos; ROMERO, Rubén; MINUSSI, Carlos Roberto. Programação linear: Uma solução alternativa para o problema de transporte. Omnia Exatas, v.4, n.2, p.63-76, 2011.

PROGRAMAÇÃO LINEAR: UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA O PROBLEMA DE TRANSPORTE

LINEAR PROGRAMMING: AN ALTERNATIVE SOLUTION TO THE TRANSPORT PROBLEM

Simone Silva Frutuoso de Souza
Mestrando em Engenharia Elétrica – FEIS – UNESP – Ilha Solteira.

Fernando Parra dos Anjos Lima
Mestrando em Engenharia Elétrica – FEIS – UNESP – Ilha Solteira.

Rubén Romero
Professor Titular – DEE – FEIS – UNESP – Ilha Solteira.

Carlos Roberto Minussi
Professor Titular – DEE – FEIS – UNESP – Ilha Solteira.

RESUMO

Este trabalho de pesquisa tem por objetivo apresentar um método de resolução alternativo para o problema de transporte em programação linear (PL), sendo que o método comumente empregado para solucionar este problema é o método simplex. (DANTZIG, 1953 – 1963), (GALLEGO, 2003), (BAZARRA, 1993). O método alternativo para resolução do problema de transporte é chamado de método de resolução por quadros. (DANTZIG, 1953 – 1963). Para este trabalho realiza-se uma aplicação em um problema de transporte de uma indústria de pneus, onde existem centros de produções e centros de armazenamento, os requisitos clássicos para o problema de transporte. Com esta aplicação prática aplicam-se os dois métodos de resolução, o método simplex e o método de resolução por quadros, e assim faz-se uma análise comparativa entre os métodos em relação à praticidade de resolução e o desempenho na solução do problema. Serão observados parâmetros para a realização da análise, tais como: esforço computacional, tempo de resolução, praticidade na resolução, entre outros. De forma clara e específica em suma este trabalho deseja apresentar através de um exemplo aplicado a um problema real o desempenho dos dois métodos e verificar qual atua melhor para este tipo de problema.

Palavras-chaves: Problema de Transporte, Programação linear, Solução alternativa.

ABSTRACT

This study aims to present an alternative method of resolution for the problem of transport (Linear Programming), being that the method commonly used to solve this problem and the simplex method. (DANTZIG, 1953 – 1963), (GALLEGO, 2003), (BAZARRA, 1993). The alternative method for resolution of the problem of transport and called for method of resolution by tables. (DANTZIG, 1953 – 1963). For this work is carried out an application in a problem for the transport of a tire industry, where there are centers of production and centers of Storage, the classic requirements to the problem of transport. With this practical application applies the two methods of resolution, the simplex method and the method of resolution by tables, and so it is a comparative analysis between the methods in relation to the practicality of resolution and the performance on the solution of the problem. Will be observed parameters for the completion of the analysis, such as: computational work, time, practicality in the resolution, among others. In a clear and specific in short this Labor wants to put through to an example applied to a real problem the performance of the two methods and see which works best for this type of problem.

Key-words: Transport Problem, linear programming, alternative solution.

INTRODUÇÃO

O problema de transporte é talvez o mais representativo dos problemas de programação linear. É um problema de grande aplicação prática, tendo sido estudado por vários investigadores, embora tenha sido Dantzig o primeiro a estabelecer a sua formulação em PL e a propor um método sistemático de resolução além de ser o criador do método simplex. (DANTZIG, 1953 – 1963), (CANAVARRO, 2005).

O objetivo geral de um problema de transporte consiste em determinar a forma mais eficiente, isto é, mais econômica de enviar um bem disponível em quantidades limitadas em determinados locais para outros onde seja necessário, com o menor custo. Como qualquer problema de PL este pode ser resolvido pelo método simplex, porém a sua estrutura particular, permitiu a utilização de métodos que embora sejam derivados do simplex, são mais eficientes em agilidade e praticidade.

A resolução de um problema de transporte envolve basicamente três etapas: a 1ª consiste em encontrar uma solução básica inicial; na 2ª procede-se ao teste para verificar se essa solução é ótima ou não; finalmente esta fase consiste na passagem desta solução a outra melhor, caso exista evidentemente. (DANTZIG, 1953 – 1963), (CANAVARRO, 2005).

Formulação do problema de transporte

O problema clássico de transporte surge como necessidade de programar a distribuição ótima de um produto que: (DANTZIG, 1953 – 1963), (CANAVARRO, 2005).

1. Se encontra disponível em *m* origens nas quantidades fixas $a_i > 0$ (oferta), com i=1,2,...,m.
2. É necessário em *n* destinos nas quantidades fixas $b_j > 0$ (procura), com j=1,2,...,n;
3. Deve ser enviado diretamente para os destinos, esgotando as disponibilidades em cada origem e satisfazendo as necessidades em cada destino, isto é, a procura total iguala a oferta total;

E tendo por objetivo a minimização do custo total envolvido no programa de distribuição desse produto, em que se supõe que os custos unitários de transporte de cada origem para cada destino, c_{ij}, são independentes das quantidades transportadas, x_{ij}.
A seguir a figura 1 ilustra o problema de transporte: (CANAVARRO, 2005), (GILAT, 2008).

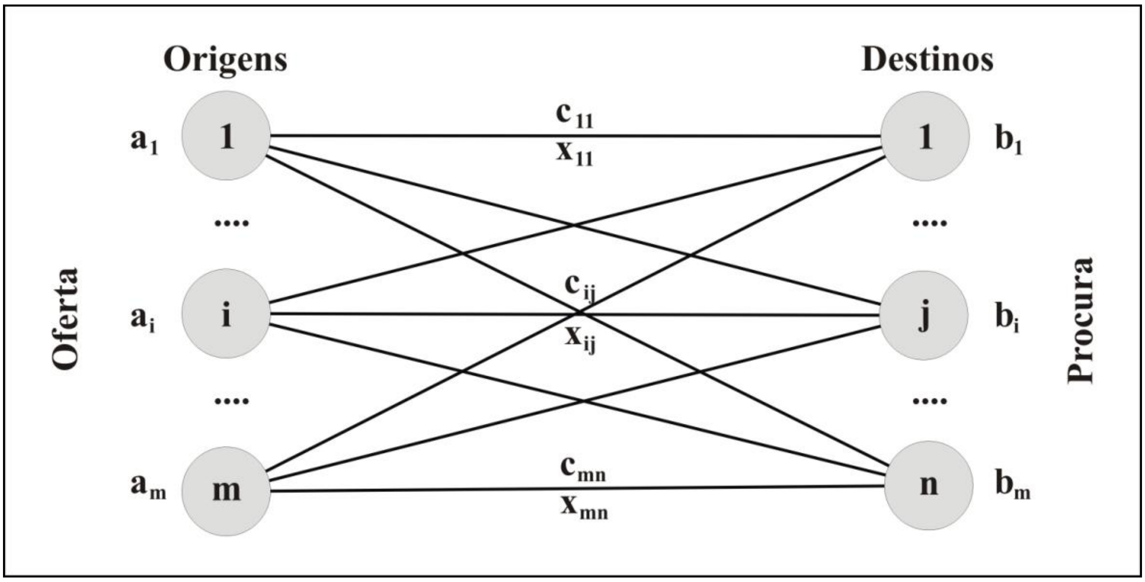

Figura 1: Problema de transporte.

Esta figura ilustra o problema de transporte sobre forma de uma rede com *m* origens e *n* destinos representados por nós, as arestas que ligam as origens aos destinos representam os percursos através dos quais os produtos podem ser transportados.

No quadro a seguir pode ver-se que em cada linha está à informação relativa a uma origem, e cada coluna a um destino. A última coluna contém informação relativa às quantidades disponíveis nas origens e a última linha contém informação referente às quantidades necessárias nos destinos. Em cada quadrícula (i,j), encontra-se a quantidade à transportar da origem *i* para o destino *j*, x_{ij}, e o correspondente custo unitário de transporte, c_{ij}.

Para qualquer plano de transporte admissível a soma em linha dos x_{ij} iguala a quantidade a_i, $\sum_j x_{ij} = a_i$ e a soma dos x_{ij} iguala a quantidade b_j, $\sum_i x_{ij} = b_j$. O custo do percurso (i,j) é dado por $c_{ij} \times x_{ij}$, pelo que o custo total do plano de transporte é dado por $\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$.

Tabela 1: Quadro do problema de transporte. (PERIN, 2001), (GOLDBARG, 2000).

Destino / Origem	1	2	...	n	Oferta
1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	...	C_{1n} X_{1n}	a_1
2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	...	C_{2n} X_{2n}	a_2
...	...	...	...	...	...
m	C_m X_{m1}	C_{m2} X_{m2}	...	C_{mn} X_{mn}	a_m
Procura	b_1	b_2	...	b_n	$\sum a_i = \sum b_i$

A formalização matemática do problema de transporte como problema de programação linear vem então da seguinte maneira: (GALLEGO, 2003), (DANTZIG, 1953 – 1963).

Minimizar z = $\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$

Sujeito a

$$\sum_j x_{ij} = a_i \quad (i = 1, 2, ..., n) \quad \text{Restrições de oferta} \tag{1}$$
$$\sum_i x_{ij} = b_j \quad (j = 1, 2, ..., m) \quad \text{Restrições de Procura}$$
$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, ..., n;\ j = 1, 2, ..., m)$$

Propriedades dos problemas de transportes

Devido à sua estrutura particular, o problema de transporte tem algumas propriedades. (CANAVARRO, 2005), (BAZARRA, 1993).

- Teorema I: O problema de transporte tem sempre solução ótima (finita).
- Teorema II: Qualquer solução básica admissível do problema de transporte tem no máximo ($m+n-1$) variáveis positivas.
- Teorema III: A matriz da base de qualquer SBF do problema de transporte é triangular.
- Teorema IV: Se a_{ij} *e* b_{ij} com $i = 1,2,...,m$ *e* $j = 1,2,...,n$, são inteiros, então qualquer solução básica admissível tem apenas valores inteiros.

Resolução do problema de transporte

Como já foi dito, este problema pode ser resolvido pelo simplex. Contudo, a sua aplicação a esta classe de problemas é por vezes, muito trabalhosa, devido à dimensão dos mesmos. Por isso foram desenvolvidas novas técnicas específicas para o problema em causa, e cuja resolução, tal como problema de PL qualquer, passa pelos seguintes passos: (CANAVARRO, 2005), (GALLEGO, 2003).

I. Obtenção de uma solução básica factível (SBF) inicial;
II. Teste de ótimo. Se a SBF em presença satisfaz o critério de ótimo, o processo termina, caso contrário, continua.
III. Melhoria da solução. Cálculo de nova SBF através da introdução na base de uma variável não básica em substituição de uma variável básica. Voltar ao passo II.

MATERIAL E MÉTODOS

A Seguir apresentam-se os passos do algoritmo do método de resolução por quadros, o método simplex não é apresentado pelo fato de ser encontrado facilmente em qualquer bibliografia.

Método de Resolução por quadros

Inicialmente o passo I do algoritmo pede para que seja encontrada uma SBF através do método do canto do noroeste (NW), ou como é mais conhecido método do canto superior esquerdo. (CANAVARRO, 2005), (PERIN, 2001).

No passo II do algoritmo de resolução por quadros realiza-se o teste de ótimo. Se a SBF em presença satisfaz o critério de ótimo, o processo termina, caso contrário, passa-se ao passo III.
No passo III ocorre a melhoria da solução. Cálculo de nova SBF através da introdução na base de uma variável não básica em substituição de uma variável básica. Calcula-se a nova solução e Volta-se ao passo II.

Método do canto do Noroeste (NW) ou Método do Canto Superior Esquerdo

Este método é de aplicação muito fácil, mas tem um grande inconveniente que é o fato de não considerar a matriz de custos na identificação da SBF inicial. Assim, considerando o PT na forma de quadro apresentado anteriormente, a variável básica escolhida é, em cada quadro, a variável situada no canto superior esquerdo, donde a designação de método do canto do NW. No primeiro quadro, a variável a tomar como básica é sempre x_{11}; no segundo quadro a variável básica escolhida será x_{12} ou x_{21}, consoante tenha sido traçada a coluna 1 ou a linha 1, respectivamente, e assim sucessivamente até terem sido traçadas todas as linhas e todas as colunas.

Algoritmo do Método do Canto do Noroeste (NW). (CANAVARRO, 2005).

Início
$i = 1$, j = 1;

Passo I: Atribuir a x_{ij} o maior valor possível, isto é $x_{ij} = \min \{a_i, b_j\}$, assim se $a_i > b_j$, o destino *i* é satisfeito e risca-se (elimina) o restante da coluna *i*, e ficam disponíveis $a_i - b_j$ unidades na origem *i*, e se $b_j > a_i$, a oferta j é satisfeita e risca-se (elimina) o restante da linha *j*, e ficam disponíveis $a_i - b_j$ unidades na oferta *j*.

Passo II: se $a_i > b_j$, fazer j = j+1, caso contrario fazer i = i+1, e ir ou passo III;

Passo III: se i = *m* e j = *n*, PARE, caso contrario voltar ao passo I.

Após concluir o algoritmo o valor das variáveis x_{ij} são os valores para a solução básica factível inicial. Assim calcula-se o valor da função objetivo.

Obtenção da solução ótima

Obtida uma SBF inicial, esta é submetida ao teste de ótimo, passando-se em seguida a outra solução caso o critério respectivo não seja satisfeito, o processo repete-se até a obtenção da solução ótima. O método utilizado é baseado na solução dual, e foi desenvolvido por Dantzig (1953 – 1963). Os resultados da dualidade vão servir para calcular os custos reduzidos ($z_{ij} - C_{ij}$) do problema primal de transporte. A análise destes valores permite concluir se a SBF que temos é ótima ou não. A primeira coisa a fazer, é determinar a solução dual (u,v) para as variáveis básicas tais que $u_i+v_j-c_{ij} = 0$ ou seja, tal que $u_i + v_j = c_{ij}$.
Assim é preciso determinar os outros valores de u e de v, de tal modo que se verifique a relação $u_i+v_j=c_{ij}$. Quando os valores de $u_i+v_j > c_{ij}$ a variável básica em questão viola o critério.

O Problema

Para este trabalho propõe-se a resolução de um problema de transporte através dos dois métodos e assim faz-se uma análise comparativa entre os mesmo.
O problema de transporte utilizado neste trabalho tem a seguinte descrição:

Uma indústria de Pneus tem duas fábricas, a fábrica 1 e a fábrica 2 com produções de 800 e 1200 peças de pneus por mês, Esta produção é armazenada em deposito de vendas, o deposito 1, deposito 2 e deposito 3, que tem capacidade de armazenamento mensal de 750, 920 e 330 peças de pneus respectivamente. Os custos para o transporte destas peças para os depósitos estão expressos na tabela a seguir:

Tabela 2: Custos para o Problema de transporte de pneus.

	Depósitos		
Fábricas	1	2	3
1	15	10	8
2	13	9	20

Modelagem do problema

Variável do problema: $x_{ij}\begin{cases} i \to fábricas, i = 1,2 \\ j \to depósitos, j = 1,2,3 \end{cases}$

$$\begin{cases} \min z(x) = 15x_{11} + 10x_{12} + 8x_{13} + 13x_{21} + 9x_{22} + 20x_{23} \\ s.a. \\ \left.\begin{array}{l} x_{11} + x_{12} + x_{13} = 800 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1200 \end{array}\right\} \text{Restrição de Produção} \\ \\ \left.\begin{array}{l} x_{11} + x_{21} = 750 \\ x_{12} + x_{22} = 920 \\ x_{13} + x_{23} = 330 \end{array}\right\} \text{Restrição de Produção} \\ x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23} \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Resolução do problema pelo método simplex

Como o problema é de igualdade utiliza-se o método simplex de duas fases. (GALLEGO, 2003). Assim padroniza-se o problema da seguinte forma:

$$\begin{cases} \min z(x) = 15x_{11} + 10x_{12} + 8x_{13} + 13x_{21} + 9x_{22} + 20x_{23} \\ s.a. \\ \left.\begin{array}{l} x_{11} + x_{12} + x_{13} + S_1 = 800 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + S_2 = 1200 \end{array}\right\} \\ \left.\begin{array}{l} x_{11} + x_{21} + S_3 = 750 \\ x_{12} + x_{22} + S_4 = 920 \\ x_{13} + x_{23} + S_5 = 330 \end{array}\right\} \\ x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23} \geq 0 \\ S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Onde as variáveis S_1, S_2, S_3. S_4 e S_5 são variáveis artificiais, variáveis as quais possibilitam o problema ter uma base ótima (identidade).

Calculando as componentes do Quadro Simplex

$C_B = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$ $\qquad$ $C'_B = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]$

$C_N = [15 \quad 10 \quad 8 \quad 13 \quad 9 \quad 20]$ $\qquad$ $C'_N = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$

$\overline{C_N} = C_B B^{-1} N - CN = [-15 \quad -10 \quad -8 \quad -13 \quad -9 \quad -20]$

$$\overline{C'_N} = C'_B B^{-1} N - C' N = [2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2]$$

$$C_B B^{-1} b = [0] \qquad\qquad C'_B B^{-1} b = [4000]$$

Fase I: Quadro Inicial

	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	RHS
X_0	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	4000
S_1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	800
S_2	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1200
S_3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	750
S_4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	920
S_5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	330
X_0	0	2	2	0	2	2	0	0	-2	0	0	2500
S_1	0	1	1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	50
S_2	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1200
X_{11}	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	750
S_4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	920
S_5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	330
X_0	0	0	0	2	2	2	-2	0	0	0	0	2400
X_{12}	0	1	1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	50
S_2	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1200
X_{11}	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	750
S_4	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1	0	870
S_5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	330
X_0	-2	0	0	0	2	2	-2	0	-2	0	0	900
X_{12}	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	800
S_2	-1	0	0	0	1	1	0	1	-1	0	0	800
X_{21}	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	750
S_4	-1	0	-1	0	1	0	-1	0	0	1	0	120
S_5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	330

	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	RHS
X_0	0	0	2	0	0	2	0	0	-2	-2	0	660
X_{12}	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	800
S_2	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1	0	330
X_{21}	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	750
X_{22}	-1	0	-1	0	1	0	-1	0	0	1	0	120
S_5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	330
X_0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0	0	0
X_{12}	1	1	0	0	0	-1	0	-1	1	1	0	470
X_{13}	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1	0	330

X_{21}	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	750
X_{22}	-1	0	0	0	1	1	0	1	-1	0	0	450
S_5	0	0	0	0	0	0	-1	-1	1	1	1	0

Fim da Fase I. Eliminam-se todas as variáveis artificiais, e inicia a Fase II.

	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	RHS
Z	-1	0	0	0	0	-13	21140
X_{12}	1	1	0	0	0	-1	470
X_{13}	0	0	1	0	0	1	330
X_{21}	1	0	0	1	0	0	750
X_{22}	-1	0	0	0	1	1	450
S_5	0	0	0	0	0	0	0

$$\text{Solução Ótima} = \begin{cases} Z(x) = 21140 \\ X_{11} = 0 \qquad X_{13} = 330 \qquad X_{22} = 450 \\ X_{12} = 470 \qquad X_{21} = 750 \qquad X_{23} = 0 \end{cases}$$

Resolução do problema pelo método de resolução por quadros

Para resolver o problema é necessário transforma-lo na forma de quadro, como realizado a seguir:

Destino / Origem	1	2	3	Oferta
1	**15** **X_{11}**	**10** **X_{12}**	**8** **X_{13}**	**800**
2	**13** **X_{21}**	**9** **X_{22}**	**20** **X_{23}**	**1200**
Procura	**750**	**920**	**330**	**2000**

Passo I: Obtenção de uma solução inicial pelo método do canto superior esquerdo (NW)

750	50	\	~~800~~ ~~50~~
\	870	330	~~1200~~ ~~330~~
~~750~~	~~920~~ ~~870~~	~~330~~	

1º $mim\{800{,}750\} = 750$
2º $mim\{50{,}920\} = 50$
3º $mim\{1200{,}870\} = 870$
4º $mim\{330{,}330\} = 330$
$Z(x) = 26180$

Passo II: Teste de Ótimo (Encontrar o problema dual)

V_j

U_i	15	10	21
0	**15**	**10**	21
-1	14	**9**	**20**

$X_{13} = 21 > 8 \rightarrow viola$

$X_{21} = 14 > 13 \rightarrow viola$

$\max\{21-8; 14-13\} = 13 = X_{13}$

Portanto X_{13} Entra na Base

Passo III: Identificando a variável para sair da base

750	**50**	θ
	870	**330**

750	**50-θ**	θ
	870+θ	**330-θ**

$mim\{50; 330\} = 50 = X_{12}$

Portanto X_{12} Sai da Base

Passo I: Nova Solução

750		**50**	~~800~~
	920	**330**	~~1200~~
~~750~~	~~920~~	~~330~~	

$Z(x) = 25530$

Passo II: Teste de Ótimo (Encontrar o problema dual)

U_i \ V_j	15	-3	8
0	**15**	-3	**8**
12	27	**9**	**20**

$X_{12} = -3 < 10 \rightarrow não$

$X_{21} = 27 > 13 \rightarrow viola$

Portanto X_{21} Entra na Base

Passo III: Identificando a variável para sair da base

750		**50**
θ	**920**	**280**

750-θ		**50**+θ
θ	**920**	**280-**θ

$mim\{750;280\}=280=X_{23}$

Portanto X_{23} Sai da Base

Passo I: Nova Solução

470		**330**	8~~0~~0
280	**920**		12~~0~~0
7~~5~~0	9~~2~~0	3~~3~~0	

$Z(x)=21610$

Passo II: Teste de Ótimo (Encontrar o problema dual)

U_i \ V_j	7	3	0
0	**15**	11	**8**
12	**13**	**9**	6

$X_{12}=11>10\rightarrow viola$

$X_{23}=6<20\rightarrow não$

Portanto X_{12} Entra na Base

Passo III: Identificando a variável para sair da base

470	θ	**330**
280	**920**	

470-θ	θ	**330**
280+θ	**920-**θ	

$mim\{470;920\}=470=X_{11}$

Portanto X_{11} Sai da Base

Passo I: Nova Solução

	470	**330**	8~~0~~0
			1200

750	**450**	

$\cancel{7}50$ $\cancel{9}20$ $\cancel{3}30$

$Z(x) = 21140$

Passo II: Teste de Ótimo (Encontrar o problema dual)

U_i \ V_j	4	0	-2
10	14	**10**	**8**
9	**13**	**9**	7

$X_{11} = 14 < 15 \rightarrow não$

$X_{23} = 7 < 20 \rightarrow não$

Portanto a ultima solução encontrada é a Solução Ótima do problema.

$$\text{Solução Ótima} = \begin{cases} Z(x) = 21140 \\ X_{11} = 0 \quad X_{13} = 330 \quad X_{22} = 450 \\ X_{12} = 470 \quad X_{21} = 750 \quad X_{23} = 0 \end{cases}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como se podem observar os dois métodos resolvem o problema de transporte e chegam ao mesmo resultado, porém um método pode ser mais rápido do que o outro para obter a solução ótima.

Através das resoluções deste problema é possível fazer uma análise entre os dois métodos, onde observam-se os seguintes parâmetros:

- Esforço computacional;
- Tempo de resolução;
- Praticidade na resolução;
- Desempenho;

Para o método simplex tem-se a seguinte análise:

Esforço computacional: Devido ao fato do método simplex geralmente trabalhar com a matriz identidade como base, evidentemente são adicionadas muitas variáveis de folga, ou até mesmo artificiais, assim fazendo com que a dimensão do problema seja grande, e exija muito esforço computacional para realizar todos os pivoteamentos, e realizar a inversão das matrizes.

Tempo de resolução: Considerando que o problema seja resolvido na mão leva-se muito tempo para fazer os pivoteamentos, e cálculos com matrizes, agora levando-se em conta a resolução por computador, pode-se ter resultados rápidos para problemas pequenos e resultados com um tempo excessivamente grande para problemas com uma dimensão maior.

Praticidade na resolução: Na resolução de um problema pelo método simplex é difícil em se falar de praticidade, pois o problema se torna complexo pela sua dimensão, porém mesmo assim é possível resolver qualquer problema, a única dificuldade é um pouco mais de trabalho.
Desempenho: Este método tem um desempenho muito bom, pois resolve qualquer tipo de problema linear, por este fato é considerado um dos melhores métodos para programação linear.

Para o método de resolução por quadros tem-se a seguinte análise:
Esforço computacional: Este método diferentemente do método simplex não tem um esforço computacional grande, pois não trabalha com operações matriciais, este método trabalha apenas com operações como somas, subtrações e comparações.

Tempo de resolução: Considerando que o problema seja resolvido na mão, faz-se a resolução em pouco tempo, não tem muitos cálculos trabalhosos, o segredo é seguir os passos corretamente e rapidamente o problema esta resolvido. Considerando que o problema seja resolvido no computador evidentemente o tempo de resolução será pequeno, pelo fato de não precisar realizar operações com matrizes.

Praticidade na resolução: Este método permite uma praticidade muito grande para o problema de transporte, o problema é resolvido sem precisar trabalhar com matrizes e pivoteamentos, enfim de uma maneira fácil e rápida resolve-se o problema pelos quadros.

Desempenho: Este método tem um desempenho muito bom, proporcionando uma facilidade na resolução do problema de transporte, onde com certeza existe uma complexidade considerável.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível apresentar uma solução alternativa para o problema de transporte, problema clássico e com grandes aplicações na área de programação linear. E, além disso, fazer uma análise entre os dois métodos para investigar qual tem melhor praticidade e agilidade na resolução do problema de transporte.

Assim através da análise realizada e da resolução do problema de transporte da indústria de pneus com os dois métodos, foi possível concluir que o novo método de resolução por quadros, aplicado ao problema de transporte tem uma solução ágil e prática.

O uso do método simplex é muito comum para resolver qualquer tipo de problema de programação linear, porém este trabalho apresentou um método diferente para encontrar a mesma solução do problema de transporte resolvido com o método simplex com uma facilidade muito maior e principalmente com menor custo computacional.

Os dois métodos analisados neste artigo tem um grau de precisão e eficiência indiscutível, porém para solução do problema de transporte em programação linear, os autores aconselham o uso do método de resolução por quadros para se obter mais agilidade e praticidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, as nossas famílias, e por fim um especial agradecimento a CAPES pelo apoio (concessão de bolsas de Mestrado).

REFERÊNCIAS

BAZARAA, MOKHTAR S.; SHERALI, HANIF D.; SHETTY, C. M. **linear programming: theory and algoritms**, 2. Ed – Nova Iorque – Wiley – 1993.

CANAVARRO, C. **Apostila de programação linear: problema de transporte,** Instituto politécnico de castelo branco – 2005.

DANTZIG, G. **Notes on linear programming**. RAND Corporation – 1953.

DANTZIG, G. **Linear programming and extensions,** Princeton University Press e RAND Corporation – 1963.

GALLEGO, R. A.; ROMERO, R.; ZULUAGA, A. H. E. **Optimizacion em sistemas elétricos I: programación linear**, 1. Ed – Universidad tecnológica de Pereira – Colômbia – 2003.

GILAT, A.; SUBRAMANIAM, V. **Métodos numéricos para Engenheiros e Cientistas**, Porto Alegre – Bookman – 2008.

GOLDBARG, M.; LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear**, Campus – 2000.

PERIN, C. **Introdução à Programação Linear**. Coleção Imecc – V.2 – Campinas – Universidade Estadual de Campinas – 2001.