5. Estratégias de distribuição

Segundo BALLOU[1993], a Distribuição Física é o ramo da Logística Empresarial que trata da movimentação, estocagem e processamento de pedidos dos produtos finais de uma empresa. O seu planejamento busca garantir a disponibilidade dos produtos requeridos pelo cliente a um custo razoável.

Para alcançar tal objetivo, deve-se conhecer, fundamentalmente, a natureza do produto movimentado, o padrão de sua demanda, as exigências de nível de serviço e os diversos custos que compõem a sua distribuição física.

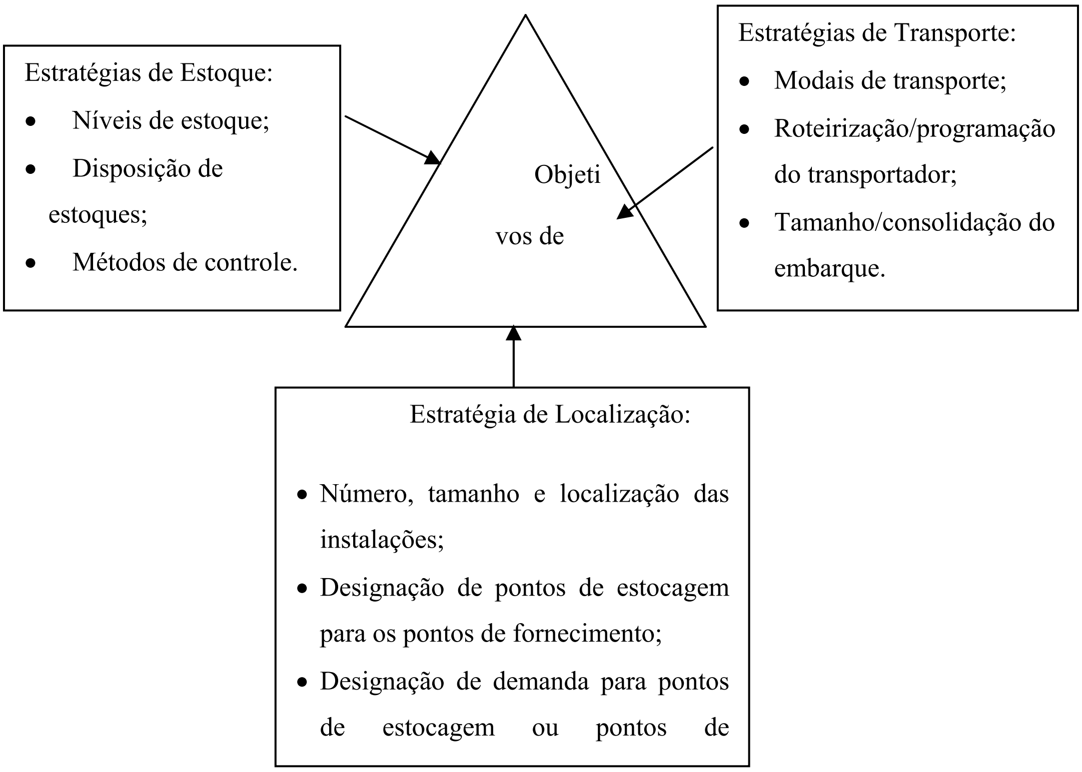


Figura 35 – Estratégias de distribuição física.

Dispondo desses conhecimentos, um profissional de logística estabelece uma estratégia de distribuição física do produto que certamente está calcada nas três formas básicas apresentadas por BALLOU[1993]. São elas:

- Entrega direta a partir de estoques da fábrica;

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

- Entrega direta a partir de vendedores ou da linha de produção e
- Entrega feita utilizando um sistema de depósitos.

A essência da estratégia de distribuição física é selecionar a forma que produz o mais baixo custo total ou, alternativamente, o máximo lucro. A forma selecionada decide, então, questões de localização de instalações, de transporte e estoques, de acordo com a Figura 35 apresentada por BALLOU[2001].

Todas as questões a serem decididas numa estratégia de distribuição física podem torná-la um problema muito complexo. Há diversas variáveis a serem consideradas, que em inúmeros casos, deve-se simplificá-las ou até desconsiderá-las, a fim de se definir uma boa solução. Entretanto, há também alguns princípios ou conceitos que auxiliam o profissional de logística na tentativa de alcançar uma boa solução. Conforme BALLOU[1993], são eles:

- Compensações (trade-offs) nos custos;
- O conceito de custo total;
- O conceito do Sistema total.

5.1.Conceitos de custos

5.1.1. Compensações nos custos

A compensação de custos refere-se ao comportamento conflitante que alguns custos apresentam nas atividades primárias de uma distribuição física. Considerando como custos básicos de uma distribuição física o custo de transporte, o custo de estoque e o custo de processamento de pedidos, a Figura 36 mostra os seus comportamentos em relação ao número de armazéns num sistema qualquer de distribuição.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

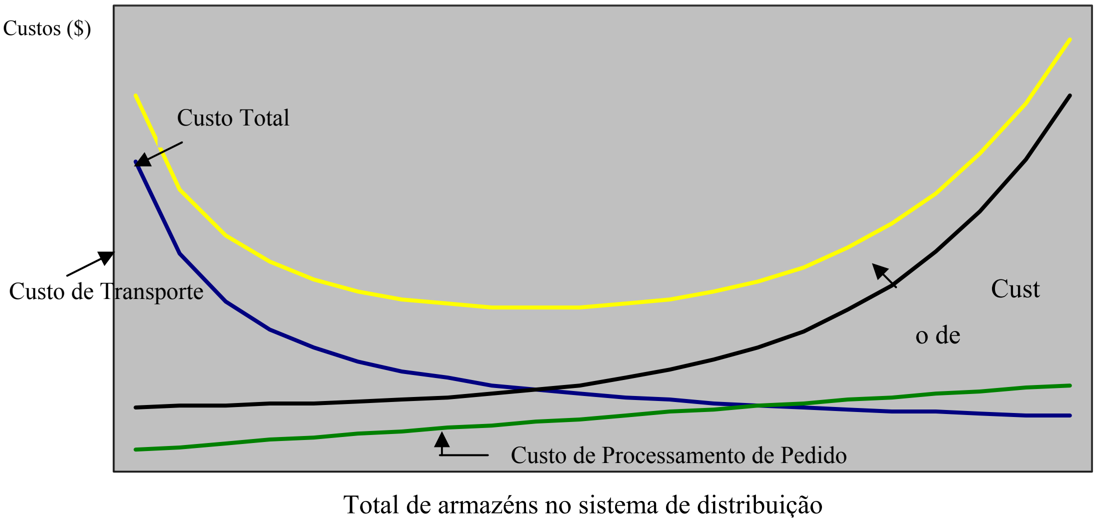


Figura 36 – Custos X Total de armazéns

A Figura 37 apresentado tem-se uma redução no custo de transporte, quando o número de armazéns aumenta. Isto ocorre, porque se obtém fretes menores para grandes volumes de carga para os armazéns e a distância total percorrida para a entrega de lotes pequenos aos clientes diminui. Por outro lado, à medida que o número de armazéns aumenta, o custo de estoque e o custo de processamento de pedidos também aumentam. O custo de estoque aumenta, porque para se manter o mesmo nível de disponibilidade para um número maior de armazéns, é necessário haver mais estoques no total de armazéns. A elevação do custo de processamento de pedidos sobrevém, porque os armazéns também servem como pontos para processamentos de pedidos.

Estes dois últimos custos, estoque e processamento de pedidos, são conflitantes com o custo de transporte. É importante procurar um equilíbrio desses custos conflitantes para uma decisão do número de armazéns que prestará serviços a uma rede de distribuição.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

5.1.2. O conceito de custo total

O conceito de custo total, em reconhecimento aos custos conflitantes das diversas atividades logísticas que compõem uma estratégia de distribuição, procura tratar os custos de forma conjunta, pois uma solução de custo de transporte mínimo certamente não terá um custo de estoque ou custo de processamento de pedidos mínimo. BALLOU[1993] conclui que a idéia do custo total é um fator determinante para decidir quais atividades deveriam ser reunidas na distribuição física.

O conceito de custo total aplica-se, portanto, a inúmeros problemas logísticos onde é preciso gerenciar os custos logísticos conflitantes. BALLOU[2001] apresenta alguns casos ilustrados e brevemente comentados com as figuras a seguir.

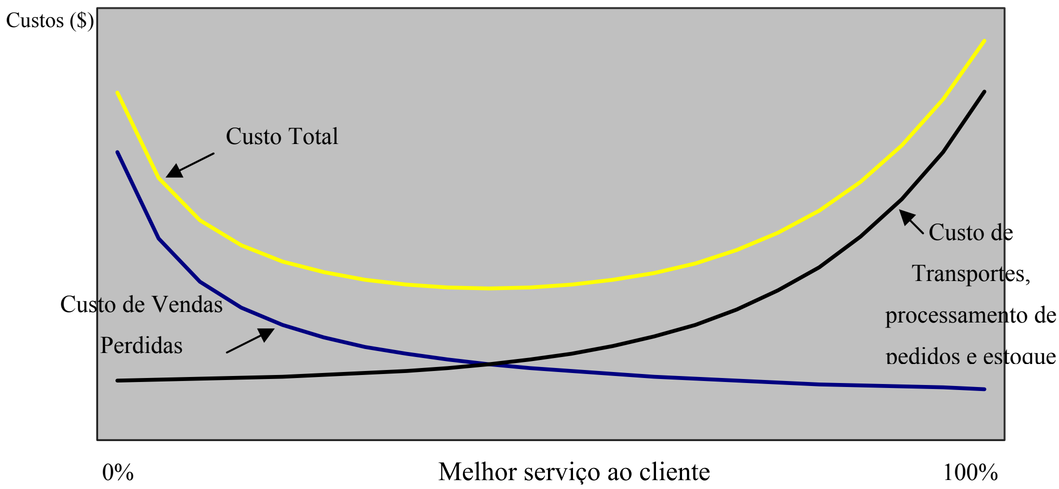


Figura 37 – Custos X Melhor serviço ao cliente

A Figura 37 ilustra que um melhor serviço ao cliente , geralmente produz maiores custos de transporte, estoque e processamento de pedidos. Entretanto com o serviço melhorado, reduz-se a perda de cliente que se sucedia por falta de estoque e entregas espaçadas. A melhor compensação ocorre em um ponto abaixo do nível de serviço 100% (BALLOU[2001]).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

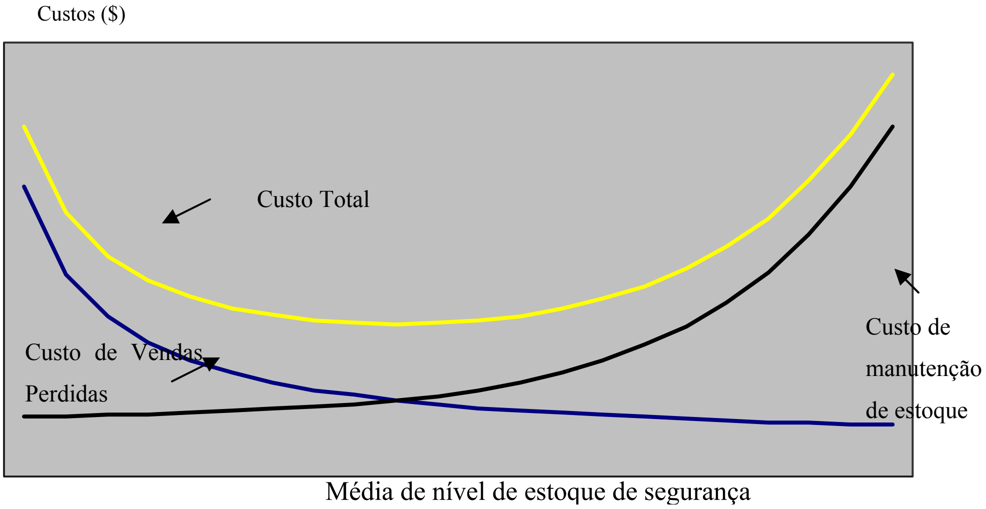


Figura 38 – Custos X Média de nível de estoque

Pelo gráfico apresentado, à medida que aumenta o nível de estoque de segurança também aumenta o nível médio de inventário. Uma maior disponibilidade de inventário produz uma melhora no nível de serviço ao cliente e reduz o custo com vendas perdidas. O aumento do nível médio de estoque conseqüentemente resulta em um aumento no seu custo de manutenção. Os custos de transportes pouco se alteram.

5.1.3. O conceito do sistema total

Finalmente, o conceito de sistema total (BALLOU[1993]) estende o conceito de custo total para toda a cadeia de suprimentos. Este conceito considera os impactos de uma tomada de decisão logística produzidos nos custos dos clientes e fornecedores. Por exemplo, uma empresa, ao minimizar seu custo total, pode provocar um aumento de estoque no seu cliente, ocasionando um aumento de preço do produto e diminuição de vendas. Esta redução de vendas de um

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

produto pode influenciar as receitas do fabricante, que mesmo minimizando os custos, não obterá um maior lucro com sua tomada de decisão.

DAGANZO[1996] apresenta um exemplo que esclarece numericamente a minimização de custos conflitantes, numa distribuição física:

> *Supõe-se que uma empresa possua 3 fábricas que servem a 100 centros de distribuição. A fábrica A produz CPU's, a fábrica B televisores, monitores e teclados, e a C consoles. Alguns componentes precisam ser montados antes de vendidos e isto pode ser feito nos centros de distribuição(CD) ou num armazém próximo a fábrica B. Os caminhões podem carregar até 30000Kg e são contratados a $ 1/ Km. Há uma taxa diária de custo financeiro de 0,06% aplicada ao produto em estoque, resultado de um juro de 15% por 250 dias de trabalho num ano. Cada CD vende por dia 10 unidades de cada item. A distância entre as fábricas e CD's é em torno de 1000 Km. Cada ano os CD's solicitam de cada fábrica 2500 unidades por item. A figura e o quadro a seguir completam as informações do exemplo.*

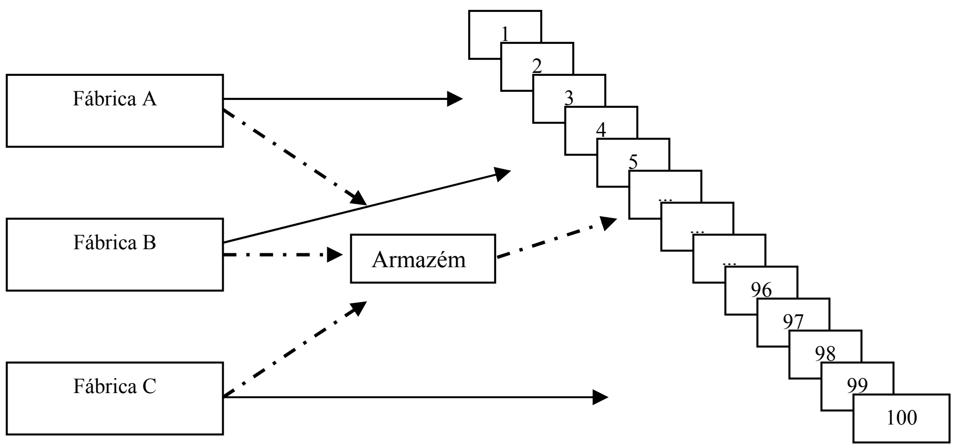


Figura 39 – Exemplo de distribuição de Daganzo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Produtos	*Peso (Kg)*	*Valor ($)*	*Quantidade (unid./ano)*
CPU	*5*	*300*	*2500*
Monitor/teclado	*10*	*400*	*2500*
Televisão	*10*	*400*	*2500*
Consoles	*30*	*100*	*2500*

Tabela 7 - Exemplo de distribuição de Daganzo

A empresa vislumbra duas estratégias de distribuição. Na estratégia (i) todos os produtos são transportados das fábricas diretamente para os CD's, sem pontos intermediários de parada. Na estratégia (ii) os produtos são montados no armazém próximo à fábrica B. Os caminhões transportam os produtos para o armazém e deste para os 100 CD's. A estratégia escolhida será a que minimiza a soma dos custos de transporte e estoque por ano.

Para a estratégia (i) obtém-se o custo total de transporte determinando quantas viagens são necessárias ao ano para transferir todos os produtos das fábricas para os 100 CD's.

- *Cada ano as fábricas A e C enviam 2500 itens e a B 5000 itens para cada CD. Então para cada CD é necessário:*

Fábrica A:

$$2500 item/ano((5Kg/item)/(30000Kg/viagem)) = 0{,}417 viagem/ano$$

Fábrica B:

$$2500 item/ano((20Kg/item)/(30000Kg/viagem)) = 1{,}667 viagem/ano$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Fábrica C:

$$2500 item/ano((30Kg/item)/(30000Kg/viagem)) = 2{,}5 viagem/ano$$

Para 100 CD's:

$$100(0{,}417 + 1{,}667 + 2{,}5) \approx 460 viagens/ano$$

Para um custo de \$1/km e uma distância por viagem em torno de 1000km, tem-se o custo total de transporte C_{Ti}*:*

$$C_{Ti} = (\$1/km).(1000km/viagem).460 viagem/ano = \$4{,}6x10^{5}/ano$$

.

O custo de estoque depende do tempo que o produto leva estocado na origem até ser carregado e transportado para o CD e do tempo que produto permanece estocado no CD até ser consumido. Como um caminhão da fábrica A faz 0,417 viagem/ano a um CD, pode-se dizer que o produto leva $0{,}417^{-1}$ *ano em estoque. Segue-se o mesmo raciocínio para a fábrica B e C. Portanto, tem-se:*

- *Para cada CD com uma taxa de custo financeiro de 15% a.a.*

Fábrica A:

$$C_{EA} = (\$300/item).(0{,}15/ano).(0{,}417^{-1} ano) \approx \$108/item$$

Fábrica B: (neste caso um item corresponde a uma televisão, um monitor e um teclado)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$C_{EB} = (\$800/item).(0{,}15/ano).(1{,}667^{-1}ano) \approx \$72/item$$

Fábrica C:

$$C_{EB} = (\$100/item).(0{,}15/ano).(2{,}5^{-1}ano) = \$6/item$$

Para 100 CD's e 2500 itens, o custo total de estoque, C_E ,é:

$$C_{Ei} = 100.2500(C_{EA} + C_{EB} + C_{EC}) = 100.2500(\$108 + \$72 + \$6) = \$46{,}5x10^6/ano$$

O custo total, CT_i, para a estratégia (i) é:

$$CT_i = C_{Ti} + C_{Ei} = \$4{,}6x10^5 + \$46{,}5x10^6 \approx \$47x10^6/ano$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Para a estratégia (ii) obtém-se o custo total de transporte em duas etapas. Na primeira etapa calcula-se o custo de transporte dos produtos das fábricas A,B e C para o armazém. Na segunda etapa determina-se o custo de transporte para a entrega dos produtos com origem no armazém para os 100 CD's.

Na primeira etapa, como as distâncias entre as fábricas A e C, e o armazém é de 1000Km e custo de transporte por Km é de \$1, pode-se dizer que o custo de transporte, C_{t1}, é igual ao custo de transporte da estratégia (i) diminuído do custo de transporte dos produtos da fábrica B para o armazém, que por estarem próximas, a distância entre elas é considerada nula. Portanto tem-se:

$$C_{t1} = \$4{,}6x10^5/ano - ((1{,}667.100)viagem/ano.\$1/Km.1000Km)$$

$$C_{t1} \approx \$3x10^5 / ano$$

Na segunda etapa, os mesmos produtos que sairiam de cada fábrica, agora saem do armazém e a distância do armazém para os CD's é igual a distância de cada fábrica para os CD's. Portanto o custo de transporte da segunda etapa, C_{t2}*, é:*

$$C_{t2} = \$4,6x10^5 / ano$$

O custo total de transporte para a estratégia (ii) é a soma dos custos de transportes das duas etapas. Então, C_{Tii} *é :*

$$C_{Tii} = C_{t1} + C_{t2} = \$(3 + 4,6)x10^5 / ano = \$7,6x10^5 / ano$$

O custo de estoque da estratégia (ii) pode ser desmembrado em 3 etapas:

1. *O custo de estoque (fábrica A – armazém)*

A fábrica A transfere para o armazém anualmente (2500.100) itens. Cada item pesa 5Kg. Portanto o total de peso carregado é de (2500.100.5)Kg. Como cada caminhão possui a capacidade de 30000Kg, é necessário (2500.100.5)/30000 caminhões para esta transferência, o que significa aproximadamente 41 caminhões. Estes 41 caminhões ao ano representam um "headway" de $(41)^{-1}$*. Então o custo de estoque desta etapa,* $C_{E_{Aa}}$ *é de:*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$C_{E_{Aa}} = (\$300/item).(2500)item.100.(0,15)/ano.(41)^{-1} \approx \$2,75x10^{5}/ano$$

2. *O custo de estoque (fábrica C – armazém)*

A fábrica C transfere para o armazém anualmente (2500.100) itens. Cada item pesa 30Kg. Portanto o total de peso carregado é de (2500.100.30)Kg. Como cada caminhão possui a capacidade de 30000Kg, é necessário (2500.100.30)/30000 caminhões para esta transferência, o que significa aproximadamente 246 caminhões. Esses 246 caminhões ao ano representam um "headway" de $(246)^{-1}$. Então o custo de estoque desta etapa, $C_{E_{Ca}}$ *é de:*

$$C_{E_{Ca}} = (\$100/item).(2500)item.100.(0,15)/ano.(246)^{-1} \approx \$0,15x10^{5}/ano$$

3. *O custo de estoque (armazém – CD's)*

Cada CD recebe 2500 itens de cada tipo. Isto significa em carga 2500.(5+10+10+30)Kg que são carregados por caminhões com capacidade de 30000Kg. Portanto a transferência para cada CD necessita de 2500.(5+10+10+30)/30000 caminhões, o que significa 4,6 caminhões ao ano. Então o "headway" da transferência de produtos para cada CD é de $4,6^{-1}$. O custo de estoque para cada CD é:

$$C_{E_{aCD}} = (\$1200)/item.(2500)item.(0,15)/ano.(4,6)^{-1} \approx \$98x10^{3}/ano$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

O custo de estoque para os 100 CD's é:

$$C_{E_a} = \$100x98x10^3 / ano = 98x10^5 / ano$$

O custo total de estoque para a estratégia (ii) é a soma dos custos das 3 etapas. Então $C_{Eii} = \$(2{,}75 + 0{,}15 + 98)x10^5 / ano \approx \$10{,}1x10^6 / ano$

O custo total, CT_{ii}, para a estratégia (ii) é:

$$CT_{ii} = C_{Tii} + C_{Eii} = \$7{,}6x10^5 + \$10{,}1x10^6 \approx \$10{,}9x10^6 / ano$$

A Tabela 8 resume os valores encontrados para cada estratégia.

	Estratégia (i)	*Estratégia (ii)*
Custo de transporte (\$/ano)	*$4{,}6x10^5$*	*$7{,}6x10^5$*
Custo de Estoque(\$/ano)	*$46{,}5x10^6$*	*$10{,}1x10^6$*
Total (\$/ano)	*$47x10^6$*	*$10{,}9x10^6$*

Tabela 8 – Resumo do exemplo de custos de distribuição de Daganzo

Percebe-se que, com a utilização do armazém na estratégia (ii), os custos de transporte aumentam, pois o armazém consolida todos os produtos para depois distribuí-los ao centro, aumentando a distância percorrida por cada produto. Entretanto, os custos de estoque diminuem, porque os centros de distribuição são

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

servidos pelo armazém, com um volume alto de produtos, permitindo uma entrega com maior freqüência, reduzindo assim o tempo de espera dos produtos.

DAGANZO[1996] amplia os cálculos para mais três estratégias que são: a estratégia (i) com freqüência ótima, a estratégia (ii) com freqüência ótima e uma estratégia mista em que parte dos produtos segue para o armazém e a outra parte é transferida diretamente para os centros de distribuição. Os resultados destas estratégias demonstram que a estratégia (v) com parte direta e parte armazém apresenta o menor custo total.

DAGANZO[1996] propõe uma fórmula, com robustez, que simplifica os cálculos de custos de transporte e estoque. A fórmula é:

$$C_T = 2[(\alpha\mu).Q.C_f]^{1/2}$$

Onde:

$\alpha \rightarrow$ Taxa de custo financeiro/ano, no exemplo igual a 0,15;

$\mu \rightarrow$ Valor unitário do produto [\$/t ou \$/m^3];

$Q \rightarrow$ Fluxo anual do produto [t/ano];

$C_f \rightarrow$ Custo de frete por uma viagem [\$].

Com a fórmula apresentada chega-se aos seguintes valores estimados na Tabela 9 para as 5 estratégias:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Estratégia	Custo estimado (10^6 \$/ano)
(i) Direto, caminhões cheios	47
(ii) Armazém, caminhões cheios	10,9
(iii) Direto, freqüência ótima	6,8
(iv) Armazém, freqüência ótima	4,6
(v) Parte direto, Parte armazém	5,5

Tabela 9 – Fórmula simplificada de custos de Daganzo

Deve ficar claro que tanto o exemplo apresentado como os seus cálculos simplificam as inúmeras variáveis que influem na composição dos custos de qualquer estratégia. A idéia desse exemplo, entretanto, é demonstrar a importância de trabalhar com o conceito de custo total, quando este é composto por custos conflitantes. A fórmula simplificada de DAGANZO[1996] é deduzida mais adiante no texto, após algumas definições apresentadas por NOVAES[1989].

NOVAES[1989] aborda o problema macro-logístico da distribuição com a análise de dois problemas típicos de transferência de produtos:

- A transferência direta indústria-consumidor;
- A transferência via depósito de triagem.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

5.2. Transferência direta indústria-consumidor

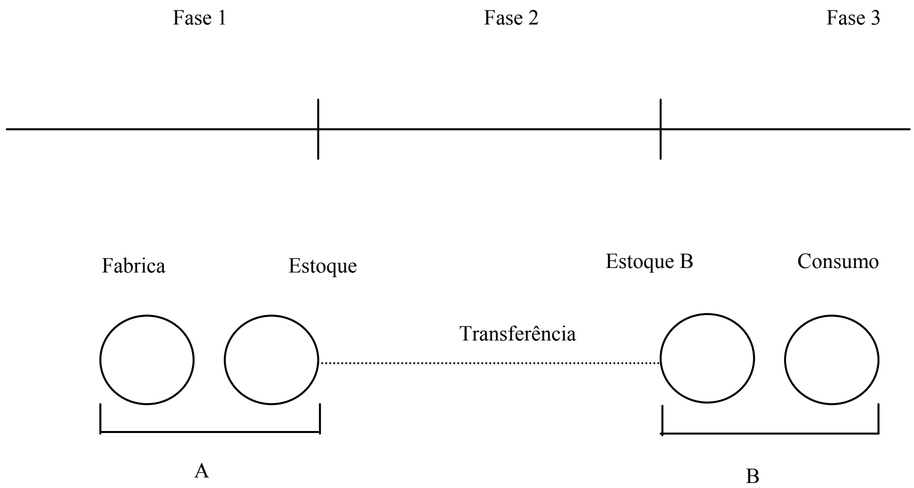


Figura 40 – Transferência direta indústria-consumidor

As fases da transferência direta da indústria para o consumidor são descritas a seguir:

1. Após a fabricação, o produto se acumula na indústria, formando o primeiro estoque do processo;

2. O produto é transferido para o agente de comercialização, em intervalos de tempo definidos;

3. O produto se acumula no agente de comercialização até ser consumido.

Essas fases estão representadas na Figura 40.
São definidas as seguintes variáveis para a análise desse problema:

$Q \rightarrow$ Taxa média mensal de consumo e de produção na fábrica [t/mês ou m^3/mês];

$\mu \rightarrow$ Valor unitário do produto [$/t ou $/$m^3$];

$\tau \rightarrow$ Tempo médio de transferência fábrica – consumo;

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$\alpha \rightarrow$ Taxa de custo financeiro/mês (juros, despesas de estocagem e mais outras despesas financeiras);

$U \rightarrow$ Tamanho médio dos lotes de transferência entre A e B;

$t_R \rightarrow$ Intervalo de tempo entre remessas [dias];

É estabelecida a seguinte relação:

$$U = \textit{[consumo médio diário] . [intervalo entre remessas]} = \frac{Q}{30} t_R .$$

Em cada uma das fases apresentadas anteriormente são atribuídos custos, como de estoque em depósitos e estoques em trânsito, transportes e manipulação ou manuseio.

A análise inicia-se com a compreensão do comportamento do estoque em cada fase.

5.2.1. Estoque na fábrica (fase 1)

NOVAES [1989] analisa a fabricação diária de Q/30 unidades de um produto. Este produto vai sendo fabricado e estocado, e após um tempo t_R, tem-se um lote para ser embarcado e enviado para um centro de consumo. O lote enviado é de U unidades, já representado pela relação $Q.t_R/30$. A fábrica mantém um estoque reserva E_R, para pedidos eventuais ou extraordinários. E_R é, portanto o limite mínimo de estoque da fábrica. O limite máximo é o total de unidades que se encontra estocado num instante anterior ao envio do lote para um centro de consumo. O limite máximo é E_M cujo valor representa a soma do estoque reserva

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

E_R com o lote a ser embarcado U. Estas variáveis estão representadas na figura a seguir.

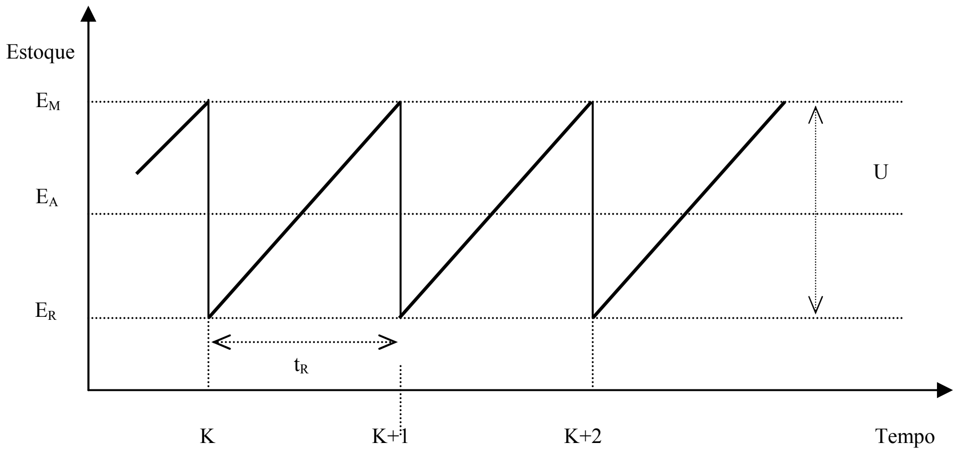


Figura 41 – Estoque na fábrica

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Têm-se, então, as seguintes relações:

- $E_M = E_R + U$;
- O estoque médio $\overline{E_A} = \dfrac{E_M + E_R}{2} = E_R + \dfrac{U}{2}$

NOVAES[2001] representa $\overline{E_A}$, o estoque médio na fábrica por:

$$\overline{E_A} = \frac{U}{2}(1 + f_R)$$

Onde f_R representa o fator que considera o estoque reserva ou de segurança relacionado com o lote de unidades despachado. Ou seja:

$$f_R = 2E_R / U$$

Ambas as fórmulas referidas anteriormente para $\overline{E_A}$ são equivalentes. Ou seja:

$$\overline{E_A} = \frac{U}{2} + \frac{U}{2} . \frac{2E_R}{U} = E_R + \frac{U}{2};$$

5.2.2. Estoque em trânsito (fase 2)

Antes de definir as relações do estoque em trânsito com as diversas variáveis de produção e transferência, NOVAES[1989] distingue os conceitos de estoque instantâneo, momento de estoque e estoque médio. Para tal, apresenta um gráfico que representa a variação do estoque ao longo do tempo. Então, tem-se:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

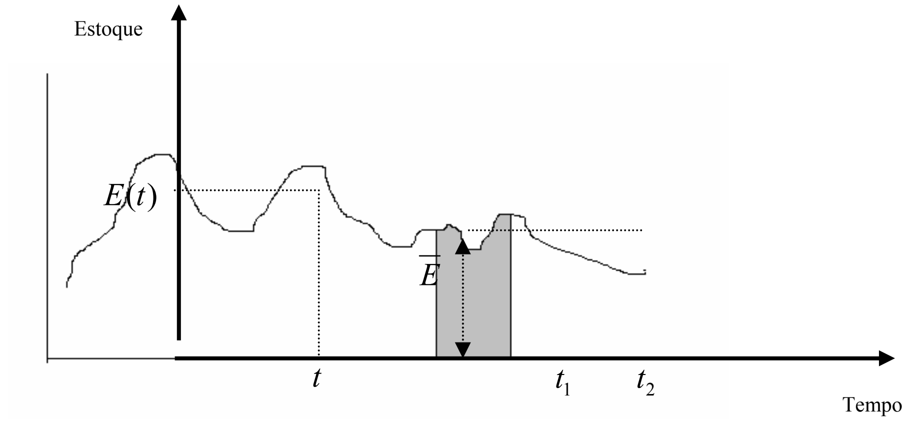


Figura 42 – Estoque em trânsito (fase 2)

A qualquer instante *t* a curva determina um valor *E(t),* onde *E(t)* representa o estoque num instante *t* , ou seja, o estoque instantâneo.

A área embaixo da curva de variação do estoque num período de tempo compreendido entre os instantes t_1 e t_2, representada pela cor acinzentada na Figura 42 significa o momento de estoque entre t_1 e t_2. O momento de estoque, M_E, pode ser determinado por:

$$M_E = \int_{t_1}^{t_2} E(t)dt$$

O estoque médio, portanto, é o momento de estoque M_E dividido pelo intervalo de tempo $(t_2 - t_1)$. O estoque médio $\overline{E}$ pode ser calculado por:

$$\overline{E} = \frac{M_E}{(t_2 - t_1)} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} E(t)dt}{(t_2 - t_1)}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Com as diversas definições sobre estoque apresentadas, a análise do estoque em trânsito pode ser reproduzida na Figura 43.

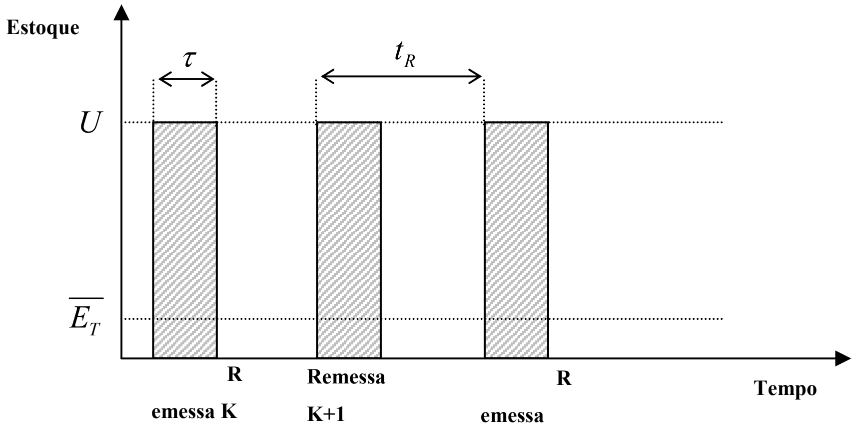


Figura 43 – Estoque em trânsito (fase 2)

Durante um intervalo de tempo entre duas remessas consecutivas, t_R, o momento de estoque pode ser calculado como a área compreendida abaixo da curva de variação do estoque. Esta área corresponde à soma de uma área hachurada mais um espaço vazio, ou seja o momento de estoque M_{E_T} corresponde :

$$M_{E_T} = U.\tau + 0;$$

Assim o estoque médio $\overline{E_T}$ correspondente ao intervalo entre duas remessas consecutivas é:

$$\overline{E_T} = \frac{M_{E_T}}{t_R} = \frac{U.\tau}{t_R}$$

Sabendo que $U = Q.t_R / 30$, tem-se:

$$\overline{E_T} = \frac{Qt_R.\tau}{30t_R} = \frac{Q.\tau}{30};$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

5.2.3. Estoque no agente de comercialização (fase 3)

NOVAES[1989] supõe uma taxa de consumo diária igual à produção diária na fábrica de Q/30 unidades de um produto. No instante seguinte da chegada de uma remessa o estoque no agente de comercialização atinge o seu valor máximo E_M. No instante anterior à chegada da remessa o estoque está no seu valor mínimo E_R. O valor da remessa ou lote enviado é de U unidades e pode ser representado pela relação $Q.t_R/30$. Estas variáveis estão representadas na Figura 44.

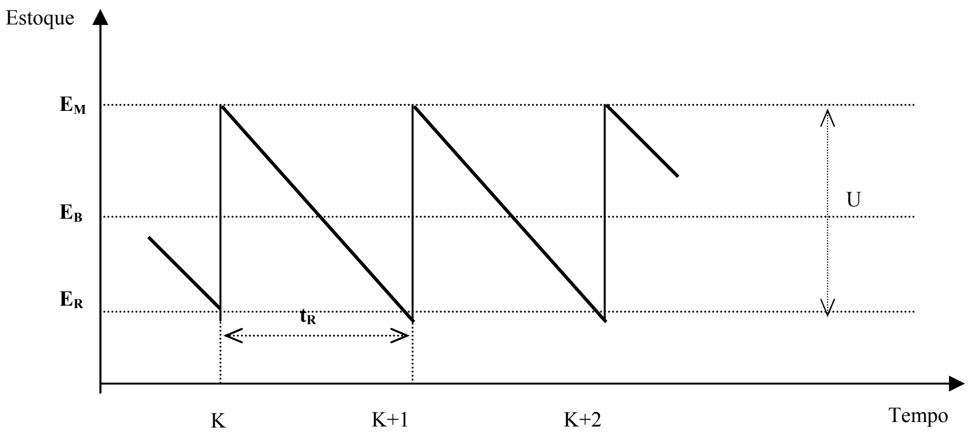


Figura 44 – Estoque no agente da comercialização (fase 3)

E têm-se, analogamente ao estoque na fábrica (fase 1), as seguintes relações:

- $E_M = E_R + U$;
- O estoque médio $\overline{E_B} = \dfrac{E_M + E_R}{2} = E_R + \dfrac{U}{2}$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

O estoque médio total $\overline{E}$ é a soma dos estoques nas três fases da distribuição:

$$\overline{E} = \overline{E_A} + \overline{E_T} + \overline{E_B} = 2E_R + U + \frac{Q\tau}{30};$$

Para o período de um mês o custo médio mensal gasto em estoque é o produto do valor médio da mercadoria estocada pela taxa mensal de custo financeiro. Tem-se, então:

$$CM_E = \alpha\mu\overline{E}$$

Onde:

$CM_E \rightarrow$ Custo médio mensal em estoque [$];

$\mu \rightarrow$ Valor unitário do produto [$/t ou $/m^3];

$\alpha \rightarrow$ Taxa de custo financeiro/mês (juros, despesas de estocagem e mais outras despesas financeiras);

Sendo Q a produção mensal, o custo de estoque por unidade produzida $\overline{C_E}$ é:

$$\overline{C_E} = \frac{\alpha\mu\overline{E}}{Q} = \frac{\alpha\mu}{Q}[2E_R + U + \frac{Q\tau}{30}]$$

A análise prossegue com a compreensão do comportamento da transferência do produto da fábrica para o agente de comercialização.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

5.2.4. Transferência do Produto

Os custos de transferência de um produto de um ponto para outro de uma distribuição física compreende a soma do custo de carregá-lo na origem para o veículo de distribuição, do custo de transportá-lo e do custo de descarregá-lo do veículo no ponto de destino.

O custo de transportar o produto pode ser desmembrado em duas parcelas. A primeira parcela, denominada custo fixo CF, inclui normalmente, segundo NOVAES[2001], a amortização do capital investido no veículo, o salário e obrigações sociais referentes ao motorista, o licenciamento do veículo, seguro e a parte fixa do custo de manutenção (oficina). A segunda parcela é o custo variável por quilômetro, CKM, que abrange as despesas com combustível, lubrificantes do motor e da transmissão, pneus e câmaras de ar, lavagens e graxas e a parte variável da manutenção do veículo (peças de reposição).

O custo fixo CF é normalmente representado em [$/hora] de operação e o custo variável CKM em [$/Km].

NOVAES [2001] utiliza os valores de custo fixo e variável de dez veículos de carga fornecidos pela revista *Frota & Cia* para ajustar estatisticamente, por meio de regressão, funções de custo fixo e variável.

Para o custo fixo, tem-se a seguinte função linear:

$CF = a + bW$ em [$/dia];

Para o custo variável, tem-se a seguinte função não-linear:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$CV = a_0 + a_1 W^{a_2}$ em [$/Km]

Em ambas as fórmulas, tem-se:

$W \rightarrow$ Capacidade de carga de um veículo em [t];

Admitindo a distância de d Km entre a fábrica e o agente de comercialização e o tempo de τ dias para ir e voltar, o custo de transporte de uma viagem pode ser calculado como:

$$C_{Trans} = \tau(a + bW) + 2.d(a_0 + a_1 W^{a_2})$$

O custo de transporte anual pode ser calculado determinando o número de viagens necessárias para transportar a demanda anual do produto D. Supondo que em cada viagem o veículo de distribuição esteja totalmente carregado e que sua capacidade W represente o lote de cada remessa, tem-se que:

$$CT_{trans} = \frac{D}{W}(\tau(a + bW) + 2.d(a_0 + a_1 W^{a_2}))$$

Acrescentando a esse custo, segundo NOVAES[2001], um percentual (α) aos custos diretos por conta de custos administrativos, de contabilidade , de vendas e outros, e supondo uma margem de lucro β em percentual, tem-se:

$$CT_{trans} = \frac{D}{W}(\tau(a + bW) + 2.d(a_0 + a_1 W^{a_2}))\frac{(1+\alpha)}{(1-\beta)}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

NOVAES[2001] fornece um seguinte exemplo:

Admite-se que, em uma viagem de ida e volta no trecho São Paulo-Porto Alegre de 1120 km, o tempo gasto seja de 4 dias . A demanda anual neste trecho é de 20000 unidades com o peso unitário de 44Kg. Em toda viagem o caminhão está totalmente carregado do lote de cada remessa. Supõe-se que não haja carga de retorno no trecho São Paulo-Porto Alegre, que os custos indiretos correspondem a 20% dos custos totais de transporte e que se atribua uma margem de 15% de lucro bruto. Pede-se a determinação do custo anual de transporte. Admitem-se, também, os seguintes valores calculados por regressão, em março de 1999, para os custos fixo e variável:

$$CF=57{,}57+4{,}69W \ \ [R\$/dia] \ \ e \ \ CV=0{,}0355W^{0,662}+0{,}1 \ \ [R\$/Km]$$

Então, tem-se para uma viagem:

$$C_{Trans}=4CF+(2.1120)CV=454{,}28+18{,}76W+79{,}52\ W^{0,662}$$

O número de viagens necessárias para o cumprimento da demanda anual é:

$$Viagens\ Anuais=\frac{\text{20000unidades.44kg.1t/1000kg}}{\text{W}}=\frac{880}{W}$$

O custo anual de transporte é:

$$CT_{Trans}=\frac{880}{W}(454{,}28+18{,}76W+79{,}52W^{0,662}).\frac{1{,}20}{(1-0{,}15)}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$CT_{Trans} = (16508{,}80 + \frac{399766{,}40}{W} + \frac{69977{,}60}{W^{0{,}338}}).\frac{1{,}20}{0{,}85}$$

$$CT_{Trans} = 23306{,}54 + \frac{564376{,}09}{W} + \frac{98791{,}91}{W^{0{,}338}}$$

NOVAES[2001] aborda o custo de carga/descarga do produto num item separado chamado *custo de armazenagem na fabrica e no depósito do varejista*.

NOVAES[1989] formula para o custo total de transferência não só a parcela do custo de transporte como o custo de carga/descarga do produto transportado. Admite-se que tanto o custo de carga quanto o custo de descarga são diretamente proporcionais à capacidade do veículo de distribuição e geralmente são representados por um só valor em [$/t]. Portanto, para NOVAES[1989], o custo total de transferência do produto é:

$$CT = C_D W + f_R[CF.\tau + CKM.d]$$

Onde:

$C_D \rightarrow$ Custo médio de carga/descarga em [$/t];

$W \rightarrow$ Capacidade de carga de um veículo em [t];

$f_R \rightarrow$ Fator que leva em conta o custo de retorno vazio;

$CF \rightarrow$ Custo fixo em [$/h];

$\tau \rightarrow$ Tempo total de viagem em [h];

$CKM \rightarrow$ Custo variável em [$/Km];

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$d \rightarrow$ Distância percorrida em [Km].

NOVAES[1989] estima para o custo de transferência *CT*, através de análise de regressão estatística, a seguinte fórmula:

$$CT = a_0 + a_1 W^b$$

Onde:

$a_0, a_1, b \rightarrow$ Constantes;

$W \rightarrow$ Capacidade de carga de um veículo em [t];

É interessante observar que NOVAES[2001] considera o custo fixo dependente também da capacidade de carga de um veículo e não mais um valor fixo a_0.

NOVAES[1989] obtém o custo unitário médio $\overline{C_T}$, dividindo *CT* por *W*. Então, tem-se:

$$\overline{C_T} = \frac{a_0}{W} + \frac{a_1}{W^{1-b}}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

5.2.5. Lote econômico

NOVAES[1989] define como o lote econômico de transferência de uma demanda de produção, aquele que minimiza os custos médios totais. Para tal, é necessário determinar o custo médio total $\overline{C}$, que é a soma dos custos médios de estoque e de transferência ou movimentação.

O custo unitário médio de estoque e movimentação, segundo NOVAES[1989] é:

$$\overline{C} = \overline{C_E} + \overline{C_T} = \frac{\alpha\mu}{Q}[2E_R + U + \frac{Q.\tau}{30}] + \frac{a_0}{W} + \frac{a_1}{W^{1-b}}$$

Dada a fórmula do custo unitário médio total $\overline{C}$ em função de U, tamanho do lote, o valor mínimo de $\overline{C}$ é obtido por:

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial U} = 0$$

Entretanto, a fórmula de NOVAES[1989] é descontínua, o que obriga a assumir algumas hipóteses simplificadoras como:

W=U e b=1;

Para transferências de carga através de caminhões, a relação W=U só ocorre, enquanto U for menor que a capacidade máxima prática de caminhões.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

A fórmula de $\overline{C}$ passa a ser:

$$\overline{C} = \frac{\alpha\mu}{Q}[2E_R + U + \frac{Q.\tau}{30}] + \frac{a_0}{U} + a_1$$

Então:

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial U} = \frac{\alpha\mu}{Q} - \frac{a_0}{U^2} = 0$$

Obtendo-se:

$$U = \left(\frac{a_0 Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

DAGANZO[1995] aborda de outra forma o custo de transferência. Admite-se que o custo de transferência anual seja a soma dos custos de transferência de cada embarque.

O custo de cada embarque é:

$$CT = C_f + C_V V$$

Onde:

$V \rightarrow$ Tamanho do Lote de embarque;

$C_f \rightarrow$ Custo fixo por embarque, onde se inclui, por exemplo, salário do motorista;

$C_V \rightarrow$ Custo variável por embarque, onde se inclui, consumo de combustível, óleo etc.

O custo por transferir uma seqüência $\{V_i\}$ de n embarques (i=1,...,n), totalizando V, ou seja $(V = \sum_i V_i)$ é:

$$CT_{total} = \sum_{i=1}^{n} C_f + C_v V_i = C_f n + C_v V$$

E o custo de transferência por item $\overline{C_T}$ é:

$$\overline{C_T} = C_f\left(\frac{n}{V}\right) + C_V = C_f\left(\frac{1}{\overline{V}}\right) + C_V$$

Onde:

$\overline{V} \rightarrow$ Tamanho médio da carga de embarque;

Por esta fórmula verifica-se que o custo de transferência por item diminui à medida que o tamanho médio da carga aumenta, apresentando, portanto economia de escala.

Assim, a fórmula do custo unitário total $\overline{C}$, com o custo de transferência definido por DAGANZO[1996], é:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$\overline{C} = \frac{\alpha\mu}{Q}[2E_R + U + \frac{Q.\tau}{30}] + \frac{C_f}{\overline{V}} + C_V$$

Supondo, então, um embarque de tamanho constante e ótimo, ou seja , de tamanho menor ou igual à capacidade de carga do veículo tem-se:

$$\overline{V} = U\,;$$

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial U} = \frac{\alpha\mu}{Q} - \frac{C_f}{U^2} = 0\,;$$

E o lote econômico igual a:

$$U = \left(\frac{C_f Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2}$$

Para cálculos aproximados, simplifica-se a fórmula de $\overline{C}$, desprezando os custos de estoques reserva e de transferência, e o custo variável C_V. Considerando $\overline{V} = U$ e $U = \left(\frac{C_f Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2}$, tem-se:

$$\overline{C} = \frac{\alpha\mu}{Q}U + \frac{C_f}{U} = \frac{\alpha\mu}{Q}.\left(\frac{C_f Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2} + \frac{C_f}{\left(\frac{C_f Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2}} = \frac{\alpha\mu}{Q}.\left(\frac{C_f Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2} + \frac{C_f \alpha\mu}{C_f Q}.\left(\frac{C_f Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2}$$

;

$$\overline{C} = 2\frac{\alpha\mu}{Q}.\left(\frac{C_f Q}{\alpha\mu}\right)^{1/2} = 2\left(\frac{C_f \alpha\mu}{Q}\right)^{1/2}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Portanto, para o custo total, C_T , tem-se:

$$C_T = 2Q\left(\frac{C_f \alpha\mu}{Q}\right)^{1/2} = 2(\alpha\mu Q C_f)^{1/2}.$$

Esta fórmula já foi apresentada no item 5.1.3 e foi elaborada por DAGANZO[1996].

NOVAES[1989] apresenta um exemplo para a determinação do lote econômico, variando parametricamente o valor unitário da carga, μ e a distância d. Os valores de a_0, a_1 e b foram obtidos através de análise de regressão estatística para diversas distâncias e veículos de capacidade de carga variável. No programa de NOVAES[1989], o valor mínimo de $\overline{C}$ é obtido pelo método de Fibonacci, permitindo, portanto, valores de b diferentes da unidade.

O programa **SISLOG/Macro-logística/Lote econômico** apresenta o exemplo 8.1 de NOVAES[1989] na Figura 45.

Figura 45 – Entrada de dados do **SISLOG/Macro-logística/Lote econômico**

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

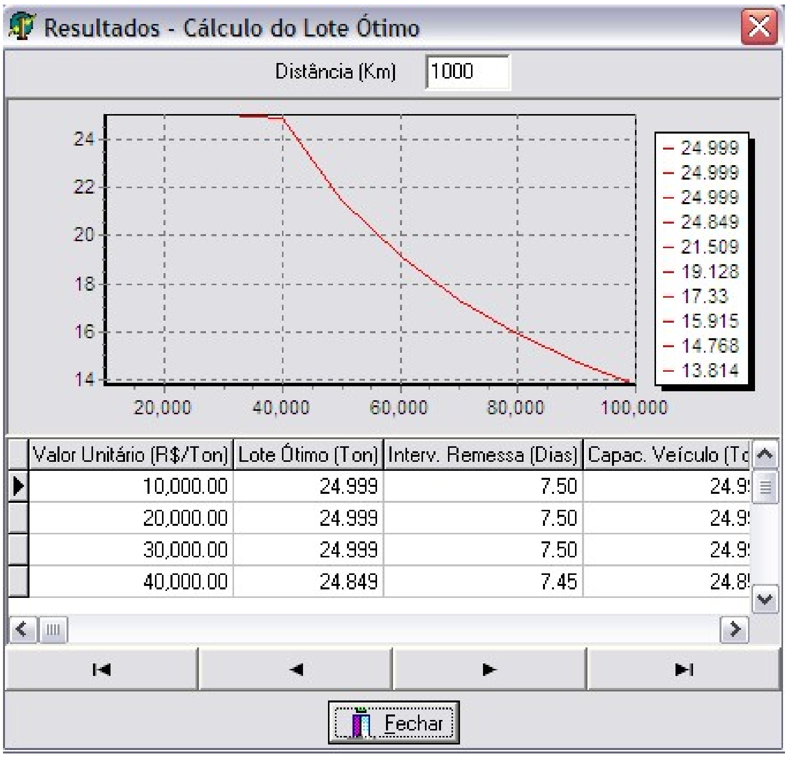


Figura 46 – Resultado do Lote Ótimo do programa **SISLOG/Macro-logística/Lote econômico**

O resultado do lote econômico para o valor unitário da carga variando de \$10.000 a \$100.000 para as distâncias de 500Km , 1000Km, 2000 Km e 3000 Km mostra que, à medida que o valor unitário da carga cresce, o lote econômico e o intervalo de remessa decrescem para uma mesma distância. Na Figura 46, o eixo das abscissas corresponde ao valor unitário e o das ordenadas ao lote econômico. Observa-se no resultado que o lote ótimo é igual a capacidade do veículo. Isto ocorre porque a busca por Fibonacci para a obtenção do valor mínimo de $\overline{C}$ é feita, de acordo com NOVAES[1989], para um intervalo de lote de valor mínimo 0,5t e valor máximo de 25t. Portanto, para estes casos a capacidade do veículo será igual ao lote ($W = U$).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

A tabela com o resultado do programa **SISLOG/Macro-logística/Lote econômico** ilustrado na Figura 49, para as diversas distâncias, encontra-se anexa**.**

O gráfico a seguir reforça os resultados apresentados de que, para uma distância fixa, quanto maior o valor unitário menor o lote econômico. Conclui-se também que, para um certo valor unitário da carga, o lote econômico tende a aumentar com a distância percorrida. Esta última observação justifica o fato real do uso de caminhões mais pesados para distâncias mais longas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

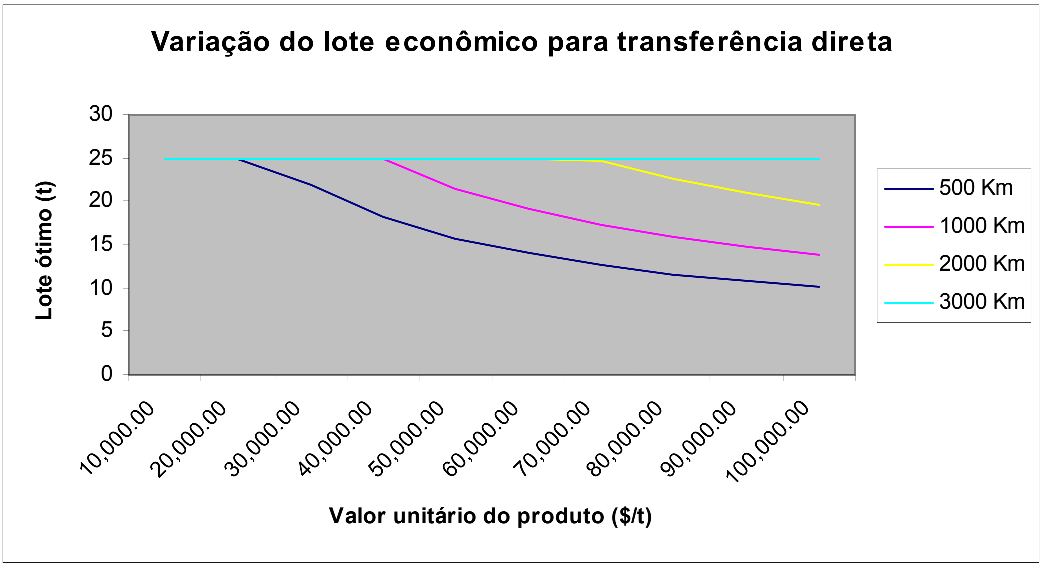


Figura 47 – Variação do Lote econômico para a transferência direta.

Para o cálculo parametrizado do exemplo 8.1 de NOVAES[1989], o lote varia de 10t a 100t, para uma distância de 1000km. O resultado da análise paramétrica encontra-se anexo e demonstra um custo mínimo para uma faixa específica de lote de transferência. Apresenta-se a seguir o gráfico com os valores da Figura 48. Este gráfico demonstra que, para uma mesma distância, quanto maior o valor unitário do produto, maior a taxa de variação do custo em relação ao tamanho do lote. No exemplo citado, para o valor unitário de $10.000,00, a variação é suave e as flutuações de valores ocorrem, porque NOVAES[1989] estabeleceu a capacidade máxima do veículo em 25 t, e , neste caso para lotes maiores de 25t, tem-se *W=U/N*, onde N é o número de veículos .

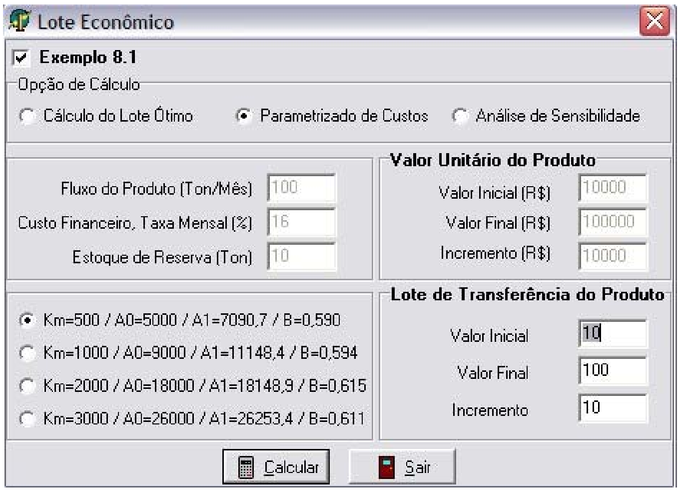


Figura 48 - Entrada de dados do **SISLOG/Macro-logística/Parametrizado de custos**

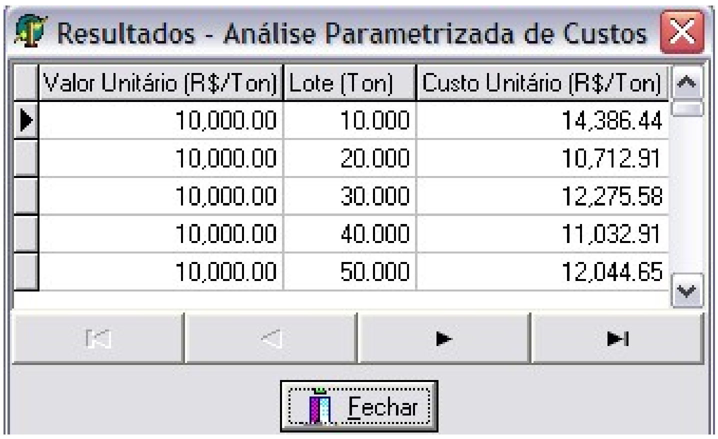


Figura 49 - Resultado do **SISLOG/Macro-logística/Parametrizado de custos**

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

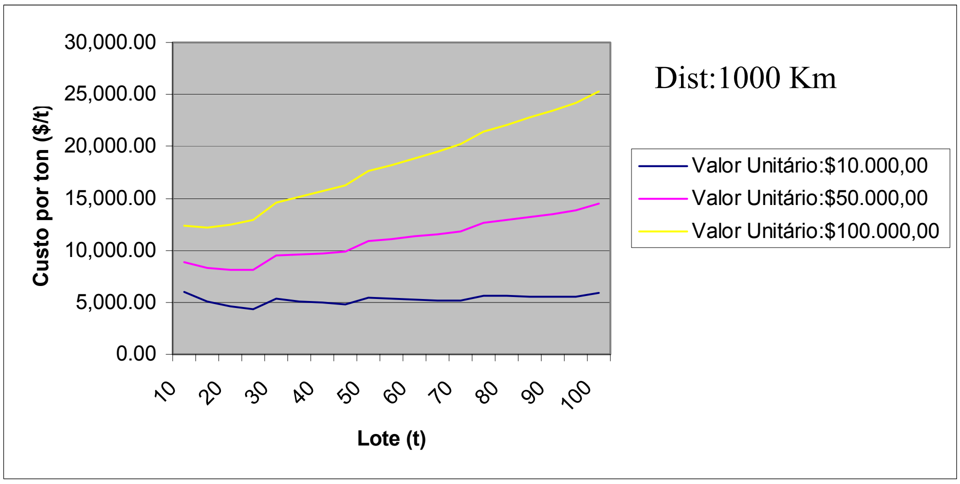


Figura 50 – Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa **SISLOG/Macro-logística/Lote econômico**

O programa fornece também às elasticidades do custo logísticos em relação às principais variáveis do problema. A elasticidade do custo em relação a uma variável x é calculada , conforme NOVAES [1989], seguindo os seguintes passos:

1. Determina-se $\overline{C}$ para um valor especificado da variável x;
2. Determina-se o valor de $x^{'}$, onde $x^{'} = 1{,}05x$. Ou seja, $x^{'}$ representa um valor 5% maior que x.
3. Calcula-se o novo valor de $\overline{C}$ para $x^{'}$, obtendo-se $\overline{C}^{'}$.
4. Determina-se ε_x, a elasticidade de $\overline{C}$ em relação a x, da seguinte forma:

$$\varepsilon_x = \frac{\left(\dfrac{\overline{C}^{'} - \overline{C}}{\overline{C}}\right)}{\left(\dfrac{x^{'} - x}{x}\right)};$$

O resultado do programa **SISLOG/Macro-logística/lote econômico** para a análise de sensibilidade conclui que a variação do custo é inelástica em relação ao fluxo mensal, ao valor unitário da carga, ao tempo de transferência e à taxa de juros. Pode-se concluir, também, pelo valor negativo (notação de Marshall) da

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

elasticidade do custo em relação ao fluxo mensal, que o custo unitário diminui com o aumento do fluxo mensal, qualquer que seja a distância.

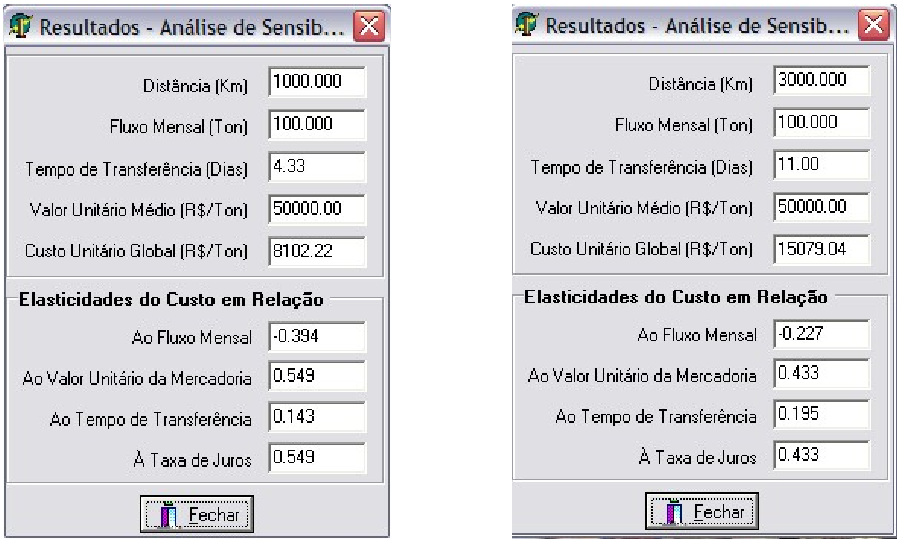


Figura 51 - Resultado da análise de sensibilidade do programa **SISLOG/Macro-logística/Lote econômico**

5.3. A transferência via depósito de triagem

As fases da transferência direta da indústria para o consumidor são descritas a seguir:

1. Após a fabricação, o produto se acumula na indústria, formando o primeiro estoque do processo;

2. O produto é transferido para um depósito de distribuição, em intervalos de tempo definidos;

3. No depósito o produto é descarregado. É feita uma triagem relacionada com os destinos finais de todos os produtos contidos no depósito. O

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

produto se acumula no depósito, aguardando o embarque para os veículos de distribuição;

4. O produto embarcado segue para o agente de comercialização;

5. O produto se acumula no agente de comercialização até ser consumido.

Justifica-se a transferência via depósito de triagem quando os lotes para envio direto de diversos clientes são relativamente pequenos, não preenchendo um veículo. Então para reduzir os custos, procura-se implantar um depósito na região de destino e fazer a transferência de mercadoria com veículos de maior tonelagem em intervalos maiores. Assim, o custo por tonelagem diminui. Outra redução de custo é obtida com o adensamento do processo de distribuição na região de destino. Deste modo, a transportadora agrega carga de vários clientes, lotando o seu veículo e distribuindo essa carga em rotas de menores percursos.

A transferência via depósito de viagem aumenta o custo de movimentação de carga nos depósitos intermediários. Portanto, a opção por usar este tipo de estratégia está condicionada ao valor absoluto da redução de custo com a economia de escala na transferência ser maior que a soma dos custos de movimentação nos depósitos intermediários.

A Figura 52 ilustra o esquema de transferência via depósito de triagem.

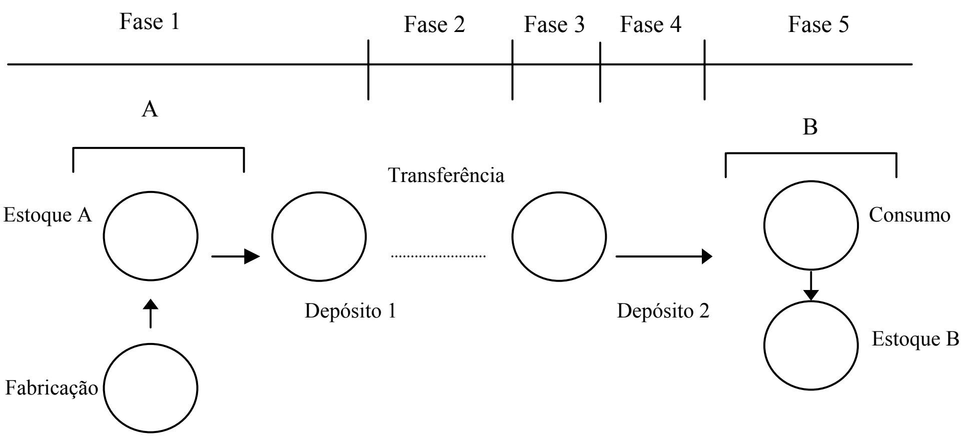


Figura 52 – Transferência via depósito de triagem

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

NOVAES[1989] utiliza as seguintes variáveis para a análise da transferência via depósito de triagem:

- $Q_1 \rightarrow$ Fluxo médio mensal de produtos do cliente em questão entre os pontos A e B em [t/mês ou m^3/mês];
- $Q_2 \rightarrow$ Fluxo médio mensal de produtos dos outros clientes em conjunto entre os pontos A e B em [t/mês ou m^3/mês];
- $\mu \rightarrow$ Valor unitário do produto [\$/t ou \$/m^3];
- $\tau \rightarrow$ Tempo médio de transferência depósito 1 – depósito 2;
- $\alpha \rightarrow$ Taxa de custo financeiro/mês (juros, despesas de estocagem e mais outras despesas financeiras);
- $U \rightarrow$ Tamanho médio dos lotes de transferência entre A e B em [t/mês ou m^3/mês];
- $t \rightarrow$ Intervalo de tempo entre remessas sucessivas na zona de destino [dias];
- $C_A \rightarrow$ Custo médio de coleta e triagem na origem em [\$/t ou \$/m^3];
- $C_B \rightarrow$ Custo médio de triagem e distribuição final em [\$/t ou \$/m^3];
- $t_A \rightarrow$ tempo de coleta e triagem do produto na origem, desde o momento da coleta no cliente até o despacho no depósito 1 em [h];
- $t_B \rightarrow$ tempo de triagem e distribuição final do produto em [h];
- $C_T \rightarrow$ Custo unitário de transferência em [\$/t ou \$/m^3];

NOVAES[1989] admite que o fluxo médio mensal do cliente em questão seja muito menor que a soma dos fluxos dos outros clientes. Portanto, a contribuição de Q_1 é desprezível. Assim, praticamente o custo unitário total via depósitos não se altera com a entrada de um novo cliente. Tem-se, então:

$$\overline{C_{Q_1+Q_2}} \approx \overline{C_{Q_2}}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Conforme já visto, o custo unitário total para transferência direta é:

$$\overline{C} = \frac{\alpha\mu}{Q}[2E_R + U + \frac{Q.\tau}{30}] + \frac{a_0}{W} + \frac{a_1}{W^{1-b}}$$

Para a transferência via depósito de triagem, tem-se:

- Custo médio de estoque

No tempo do estoque na transferência do produto o tempo τ é acrescido do tempo de coleta e triagem do produto t_A e o tempo de triagem e distribuição final t_B. Tem-se então:

$$\overline{C_E} = \frac{\alpha\mu}{Q_1}[2E_R + U + \frac{Q_1.(\tau + t_A + t_B)}{30}]$$

A periodicidade de entregas sucessivas entre A e B é fixada pelo transportador. O cliente pode escolher, para suas remessas, uma periodicidade igual ou múltipla de *t*. Então, tem-se:

$$t_R = K.t$$

onde K=1,2,3,.....,n

Portanto, o lote U que atende ao fluxo mensal Q_1 é:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$U = \frac{Q_1.K.t}{30}$$

Substituindo U na fórmula de custo médio de estoque tem-se:

$$\overline{C}_E = \frac{\alpha U}{Q_1}[2E_R + \frac{Q_1 Kt}{30} + \frac{Q_1.(\tau + t_A + t_B)}{30}]$$

- Custo médio de transferência

O custo médio de transferência é a soma do custo de coleta dos produtos em A, o custo de transferência entre depósitos e custo de distribuição em B. Tem-se, então:

$$\overline{C_T} = C_A + C_{D_1 D_2} + C_B\,;$$

- Custo unitário total

O custo unitário total é a soma do custo médio de estoque e custo médio de transferência. Ou seja:

$$\overline{C} = \overline{C_E} + \overline{C_T}$$

O custo médio de transferência de um cliente não depende de *U,* pois o fluxo médio mensal do cliente em questão é muito menor que a soma dos fluxos dos outros clientes. Conclui-se, então, que o custo mínimo acontece para a menor periodicidade estabelecida pelo transportador. Esta periodicidade entre remessas ocorre para *K=1*. Neste caso tem-se:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$\overline{C}_E = \frac{\alpha\mu}{Q_1}[2E_R + \frac{Q_1 t}{30} + \frac{Q_1.(\tau + t_A + t_B)}{30}]$$

O custo unitário total, para este caso é:

$$\overline{C} = \frac{\alpha\mu}{Q_1}[2E_R + \frac{Q_1 t}{30} + \frac{Q_1.(\tau + t_A + t_B)}{30}] + C_A + C_{D_1D_2} + C_B$$

A comparação entre o custo unitário total da transferência direta e o custo unitário total da transferência via depósito permite ao operador logístico optar pela estratégia de transferência de menor custo.

NOVAES[1989] apresenta um exemplo que oferece três opções de análise. Este exemplo é observado no programa **SISLOG/Macro-Logística/Distribuição Via depósito de Viagem**:

- Cálculo de custos das estratégias de transferência direta e transferência via depósitos para um caso específico. Os valores das constantes do custo de transferência entre depósitos ($\mathbf{a_0}$, $\mathbf{a_1}$ e **b**) foram estimados através da análise de regressão estatística em 1989. Estes valores deveriam ser novamente estimados para uma aplicação atual.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Figura 53 - Entrada de dados do **SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/estratégia ótima**

Para o caso específico apresentado no exemplo 8.2 de NOVAES[1989], tem-se o custo de transferência direta ($7856,53) maior que o custo total via depósito ($7168,89), sendo, portanto, a estratégia de transferência via depósito - no programa está titulada como “sistema integrado de Distribuição” , de acordo com NOVAES[1989] – a melhor opção. O lote ótimo para os dois tipos de transferência foi obtido pelo método de Fibonacci, para um intervalo de lote de valor mínimo 0,5t e valor máximo de 25t. Portanto, para estes casos a capacidade física do veículo é igual ao lote ($W = U$).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

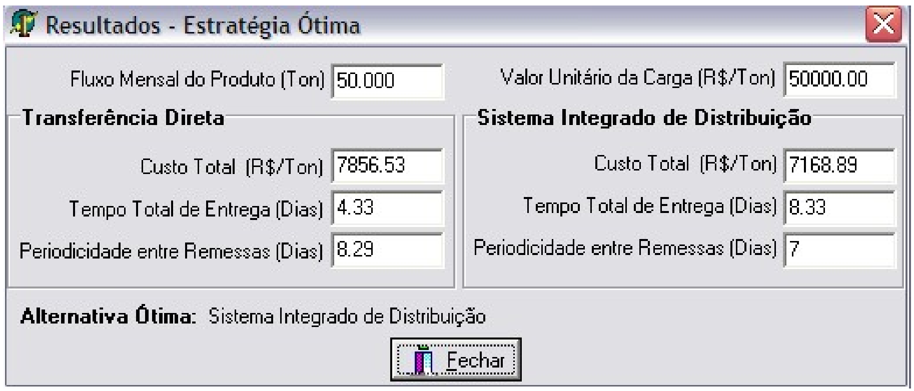


Figura 54 – Resultado do **SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/estratégia ótima**

- A análise paramétrica dos custos em função da variação do fluxo mensal do produto e do valor da carga.

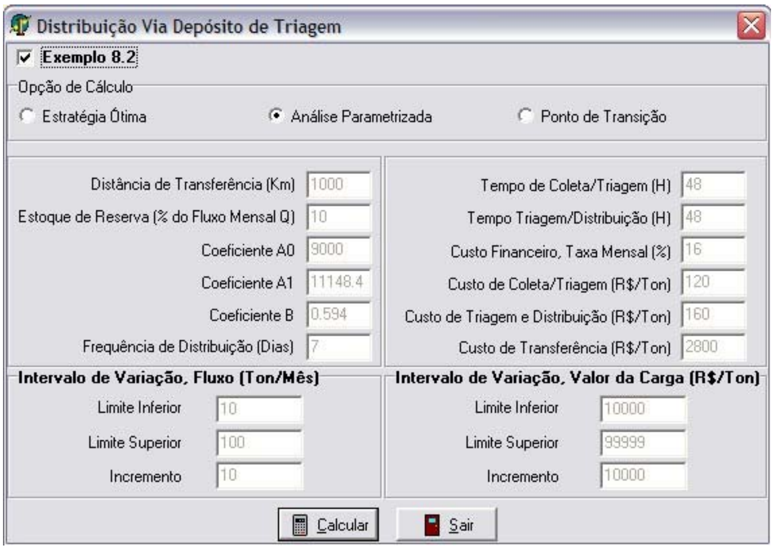
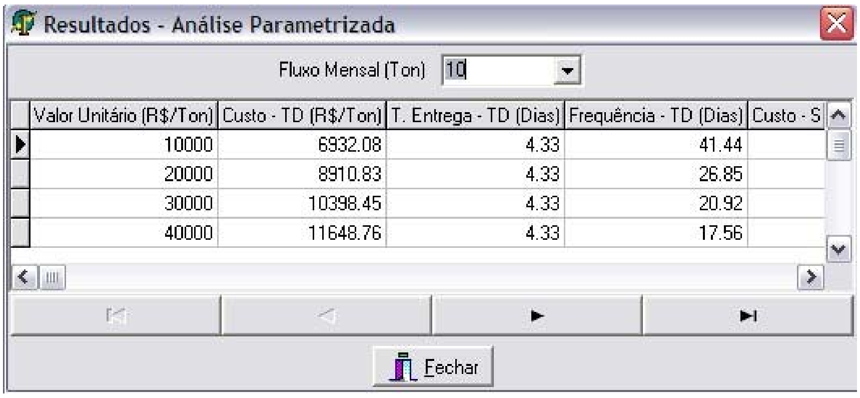


Figura 55 - Entrada de dados do **SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada**

Observa-se, pelo resultado em anexo, que a alternativa de transferência via depósito é mais econômica para fluxos mensais e valores de carga pequenos. À medida que os fluxos aumentam ou o valor da carga ou ambos, torna-se mais vantajoso optar pela transferência direta.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC



Valor Unitário (R$/Ton)	Custo - TD (R$/Ton)	T. Entrega - TD (Dias)	Frequência - TD (Dias)	Custo - S
10000	6932.08	4.33	41.44	
20000	8910.83	4.33	26.85	
30000	10398.45	4.33	20.92	
40000	11648.76	4.33	17.56	

Figura 56 - Resultado do **SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada**

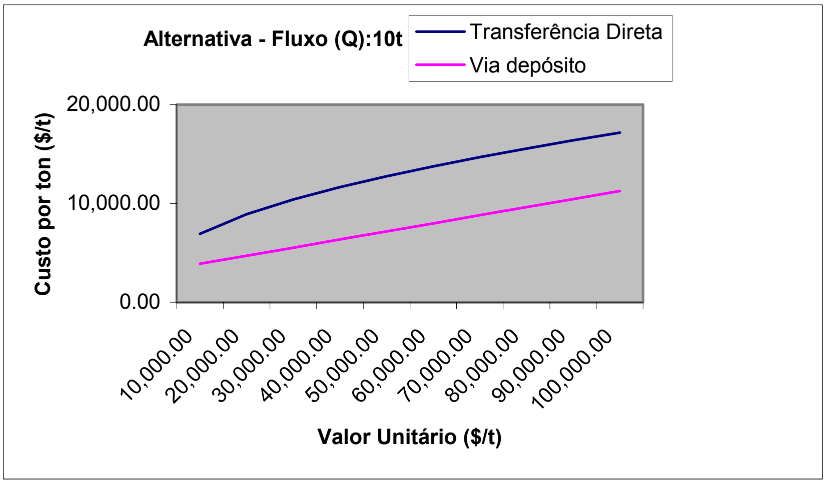


Figura 57 - Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa **SISLOG/Macro-logística/ Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada (fluxo:10t)**

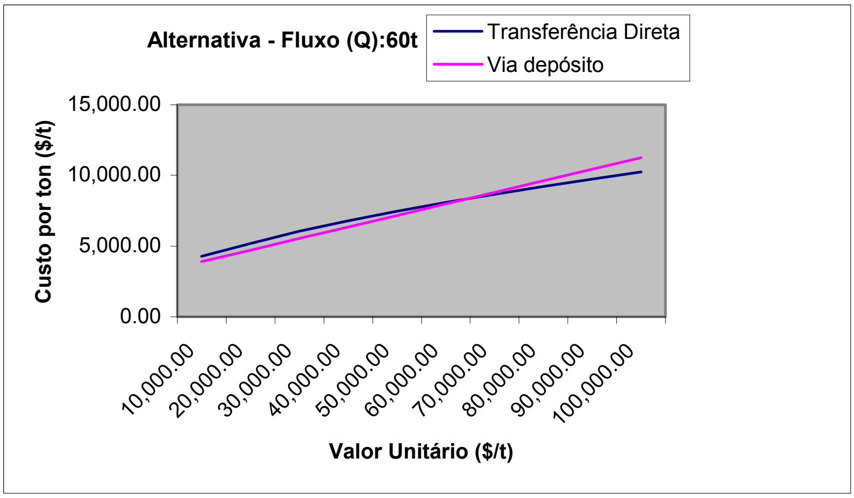


Figura 58 - Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa **SISLOG/Macro-logística/ Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada (fluxo:60t)**

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

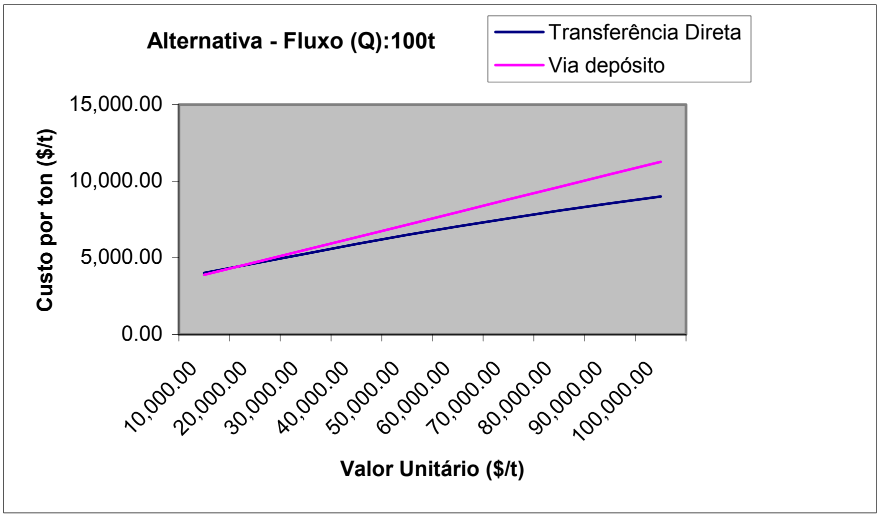


Figura 59 - Gráfico da análise Parametrizada de Custos do programa **SISLOG/Macro-logística/ Distribuição via depósito de triagem/análise parametrizada (fluxo:100t)**

Fica claro, pela Figura 57, Figura 58, Figura 59 que quanto maior o fluxo de carga, menor o valor unitário da carga, onde ocorre a mudança de opção entre a transferência via depósito para transferência direta.

- Determinação do fluxo de transição entre duas alternativas para um determinado valor unitário da carga.

Neste caso entra-se com o valor da carga transportada μ para se determinar o valor do fluxo mensal Q_1 que iguala o custo médio total da alternativa de transferência direta com o custo médio total da alternativa de transferência via depósito. A curva de transição obtida graficamente é um conjunto de pontos onde se torna mínima a expressão:

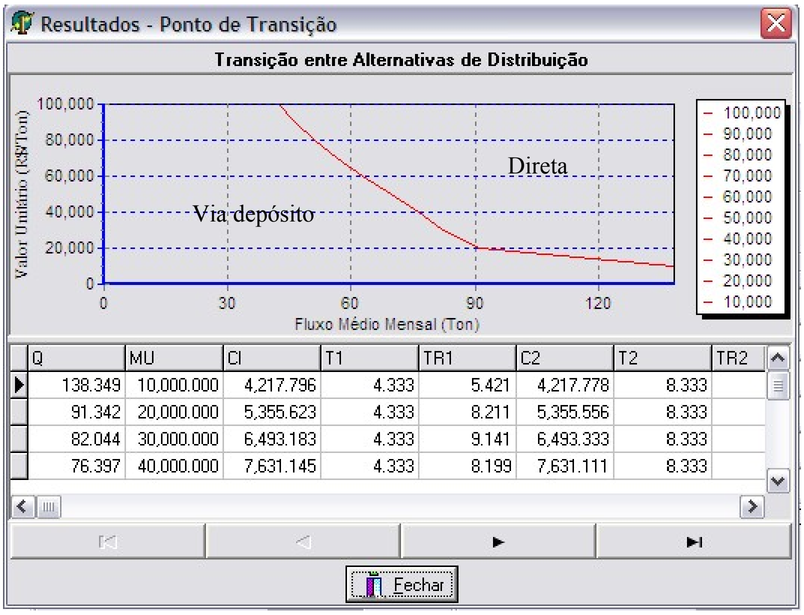
$$\Delta C = \left|\overline{C_1} - \overline{C_2}\right|$$

Onde:

$\overline{C_1} \rightarrow$ Custo médio total da alternativa de transferência direta;

$\overline{C_2} \rightarrow$ Custo médio total da alternativa de transferência via depósito.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC



Q	MU	CI	T1	TR1	C2	T2	TR2
138.349	10,000.000	4,217.796	4.333	5.421	4,217.778	8.333	
91.342	20,000.000	5,355.623	4.333	8.211	5,355.556	8.333	
82.044	30,000.000	6,493.183	4.333	9.141	6,493.333	8.333	
76.397	40,000.000	7,631.145	4.333	8.199	7,631.111	8.333	

Figura 60 - Resultado do **SISLOG/Macro-logística/Distribuição via depósito de triagem/ponto de transição**

Observa-se pelo gráfico da Figura 60, o já verificado pelas três figuras anteriores. Quanto maior o valor da carga, menor o volume de carga ideal para ser transferido via depósito.

No gráfico da Figura 61, verifica-se que, para um valor de carga μ fixo, torna-se mais vantajoso o envio via depósito, quanto maior a distância. Esta última observação acontece, segundo NOVAES[1989], porque os custos de coleta, triagem e distribuição, que são invariáveis com a distância, têm seus valores menos significativos em relação ao custo total na transferência via depósito.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

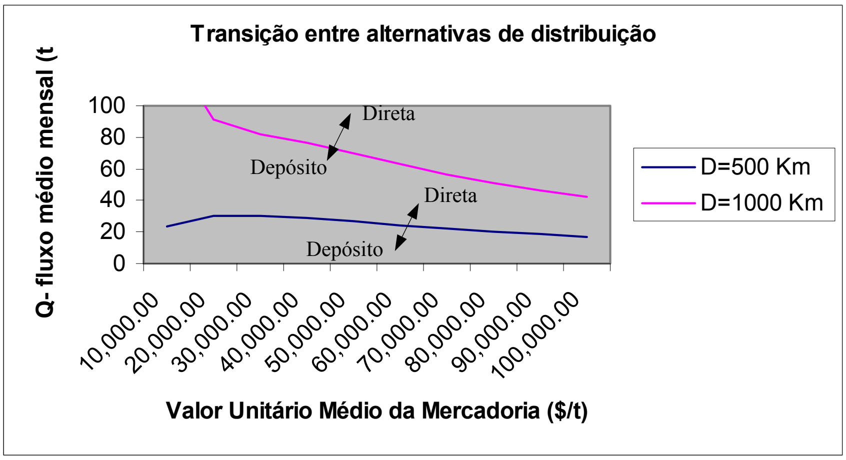


Figura 61 – Transição entre alternativas de distribuição

LEAL[2003] e NOVAES[1989] esclarecem que os custos não devem ser o único critério a ser considerado na escolha de uma alternativa de transferência de produtos. Outros fatores como segurança contra roubos e avarias e a confiabilidade com relação ao tempo total de viagem podem pesar nas tomadas de decisão da melhor estratégia de transferência.

5.3.1. Sistema diferenciado de distribuição

No sistema diferenciado de distribuição tenta-se otimizar a periodicidade de envios de cada cliente numa transferência via depósito.

NOVAES[1989] apresenta o problema de análise de um sistema diferenciado de distribuição, admitindo que uma empresa transportadora distribui produtos para uma região num intervalo de t dias. A região com uma área S é dividida em M zonas de entrega. Na região há N_i pontos de entrega para o cliente i e a periodicidade de cada cliente é t_i. Este cliente tem um fluxo mensal Q_i e um valor médio unitário da carga μ_i.

O total de pontos de entrega na região é N, que pode ser representado por:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$N = \sum_i N_i$$

Cada cliente pode optar por uma periodicidade de distribuição para sua carga equivalente a um múltiplo de t, intervalo de distribuição da empresa transportadora na região. Portanto, tem-se que:

$$t_i = K_i t$$

Onde K_i é um número inteiro positivo maior ou igual a 1.

NOVAES[1989] admite inicialmente que todos os pontos de entrega sejam visitados em intervalos iguais de t dias. Assim para qualquer cliente i , as entregas do seu produto far-se-ão em $t_i = t$ dias, ou seja para $K_i = 1$.

O número médio de paradas por zona é N/M . Deste modo a distância total percorrida dentro de cada zona é:

$$E[L] = a_0 \sqrt{\frac{N}{M} . \frac{S}{M}} = \frac{a_0}{M} \sqrt{N.S}$$

Onde:

$$a_o \approx 0{,}765$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Como visto anteriormente, o custo de uma viagem de distribuição C_D, com origem num depósito e como destino uma zona de atendimento, pode ser expresso da seguinte forma:

$$C_D = C_H.T_D + C_{KM}.D$$

Onde:

$C_H \rightarrow$ Custo horário do veículo em [$/h];

$C_{KM} \rightarrow$ Custo quilométrico do veículo em [$/Km];

$T_D \rightarrow$ Tempo total de distribuição em [h];

$D \rightarrow$ Distância total percorrida na viagem de distribuição em [Km].

O tempo total de distribuição é a soma dos tempos de parada nos pontos ,dos tempos de deslocamento entre os pontos de parada e dos tempos de deslocamento do depósito à zona e da zona de volta para o depósito. NOVAES[1989] admite que a velocidade de deslocamento do depósito a zona é igual a velocidade de deslocamento entre os pontos de atendimento da zona e que a distância depósito-zona é igual a da zona-depósito. Portanto, tem-se para T_D:

$$T_D = \frac{N.t_p}{M} + (\frac{2d + E[L]}{V})$$

Onde:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$N / M \rightarrow$ Número médio de pontos de parada por zona;

$t_p \rightarrow$ Tempo médio de parada por entrega em [h];

$d \rightarrow$ Distância média do depósito à zona em [Km];

$E[L] \rightarrow$ Valor esperado da distância percorrida dentro da zona em [Km]

$V \rightarrow$ Velocidade média do veículo tanto no deslocamento para zona, quanto entre pontos de parada, em [Km/h];

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

Pode-se dizer que:

$$D = 2d + E[L]$$

Determina-se o custo médio de distribuição por parada $\overline{C_p}$, dividindo o custo de uma viagem de distribuição C_D pelo número de pontos de atendimento na zona. Então, tem-se:

$$\overline{C_p} = \frac{C_D}{(N/M)};$$

Onde:

$C_D \rightarrow$ Custo de uma viagem de distribuição em [$/viagem];

$N/M \rightarrow$ Número médio de pontos de uma zona atendidos em uma viagem de distribuição.

Determina-se o custo médio por tonelada para um cliente *i*, $\overline{C_q^{(i)}}$ dividindo o custo médio de distribuição por parada $\overline{C_p}$ pela carga média por entrega de um cliente i, q_i. Então, tem-se:

$$\overline{C_q^{(i)}} = \frac{\overline{C_p}}{q_i} = \frac{\dfrac{C_D}{\left(N/M\right)}}{q_i};$$

Onde:

$q_i \rightarrow$ Carga média por entrega para o cliente i , considerando a produção acumulada durante o intervalo de entrega em [t/viagem].

A tonelagem média por entrega para o cliente *i* pode ser determinada por:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$q_i = \frac{\left(\frac{Q_{i.}.K_i t}{30}\right)}{N_i}$$

Onde:

$(\frac{Q_i K_i .t}{30}) \rightarrow$ Fluxo médio de carga do cliente acumulado em $K_i t$ dias em [t];

$N_i \rightarrow$ Número de pontos do cliente *i*.

Então , tem-se:

$$\overline{C_q^{(i)}} = \frac{\frac{C_D}{\left(N/M\right)}}{q_i} = \frac{\frac{C_D}{\left(N/M\right)}}{\frac{\left(Q_i K_i t/30\right)}{N_i}} = \frac{C_D M.30 N_i}{N Q_i t}$$

O custo logístico total para um cliente $i, \overline{C_i}$, é obtido pela expressão:

$$\overline{C_i} = \frac{\alpha\mu_i}{Q_i}(2E_{R_i} + \frac{Q_i K_i t}{30} + \frac{Q_i(\tau + t_A + t_B)}{30}) + C_A + C_T + \frac{30MN_i}{Q_i K_i t N}(C_H T_D + C_{KM} D)$$

;

Onde:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$Q_i \rightarrow$ Taxa média mensal de consumo e de produção para o cliente *i* em [t/mês ou m^3/mês];

$\mu_i \rightarrow$ Valor unitário do produto do cliente *i* em [\$/t ou \$/m^3];

$\tau \rightarrow$ Tempo médio de transferência entre depósitos;

$\alpha \rightarrow$ Taxa de custo financeiro/mês (juros, despesas de estocagem e mais outras despesas financeiras);

$E_{R_i} \rightarrow$ Estoque reserva do cliente *i* em [t]

$t \rightarrow$ Intervalo de tempo entre remessas sucessivas na zona de destino [dias];

$C_A \rightarrow$ Custo médio de coleta e triagem na origem em [\$/t ou \$/m^3];

$C_T \rightarrow$ Custo unitário de transferência em [\$/t ou \$/m^3];

$t_A \rightarrow$ tempo de coleta e triagem do produto na origem, desde o momento da coleta no cliente até o despacho no depósito 1 em [h];

$t_B \rightarrow$ tempo de triagem e distribuição final do produto em [h];

$C_H \rightarrow$ Custo horário do veículo em [\$/h];

$C_{KM} \rightarrow$ Custo quilométrico do veículo em [\$/Km];

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$T_D \rightarrow$ Tempo total de distribuição em [h];

$D \rightarrow$ Distância total percorrida na viagem de distribuição em [Km];

$K_i \rightarrow$ Fator de periodicidade do cliente i.

Embora NOVAES[1989] comente que $\overline{C_i}$ é calculado substituindo C_B pelo valor de $\overline{C_q^{(i)}}$ na expressão ($\frac{\alpha U}{Q_1}[2E_R + \frac{Q_1 t}{30} + \frac{Q_1.(\tau + t_A + t_B)}{30}] + C_A + C_{D_1 D_2} + C_B$) do custo unitário total, C_B não é excluído nas fórmulas apresentadas pelo autor. Entretanto, na dissertação, C_B não será considerado, respeitando o comentário de NOVAES[1989] e a fórmula utilizada pelo autor no *programa 9* em anexo no seu livro.

NOVAES[1989] observa que o segundo membro da expressão acima é composto por três parcelas com comportamentos diferentes. A primeira parcela $[\frac{\alpha \mu_i}{Q_i}(2E_{R_i} + \frac{Q_i t}{30} + \frac{Q_i(\tau + t_A + t_B)}{30})]$ é função das especificidades e características de cada cliente. A segunda parcela $[C_A + C_T]$ é considerada fixa, independe do cliente. A terceira parcela $[\frac{30MN_i}{Q_i tN}(C_H T_D + C_{KM} D)]$ é função não só do cliente i, mas de todos os outros clientes que pertencem a região de distribuição, pois a periodicidade de um cliente influencia na densidade de pontos atendidos em uma viagem de distribuição.

Como neste tipo de distribuição o objetivo é definir as condições logísticas ótimas para cada cliente que compõe o sistema integrado de distribuição, NOVAES[1989] admite que na prática o cliente i procura ser atendido numa periodicidade ótima múltipla da periodicidade oferecida pela empresa transportadora. Ou seja, cada cliente tem uma periodicidade $t_i = K_i t$, onde K_i é

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

um número inteiro positivo maior ou igual a 1. Portanto, em cada viagem feita com periodicidade *t*, o número de pontos atendidos do cliente *i* é uma fração de N_i. O número de pontos atendidos do cliente *i* é N_i/K_i. Assim o número médio de pontos de parada de todos os clientes por zona atendida N_Z é:

$$N_Z = \frac{1}{M}\sum_i \frac{N_i}{K_i};$$

Onde:

$M \rightarrow$ Número de zonas atendidas na região;

$N_i \rightarrow$ Número de pontos de parada por cliente;

$K_i \rightarrow$ Fator de periodicidade de cada cliente em relação à periodicidade determinada pela empresa transportadora.

O custo logístico total para um cliente $i, \overline{C_i}$, passa a ser determinado por:

$$\overline{C_i} = \frac{\alpha\mu_i}{Q_i}(2E_{R_i} + \frac{Q_i K_i t}{30} + \frac{Q_i(\tau + t_A + t_B)}{30}) + C_A + C_T + \frac{30MN_i}{Q_i K_i t \sum_i \frac{N_i}{K_i}}(C_H T_D + C_{KM} D)$$

Os valores de *D* e de T_D, também necessitam ser alterados. Tem-se, então:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

$$D = 2d + E[L] = 2d + \frac{K}{M}\sqrt{S.\sum_i \frac{N_i}{K_i}} \quad \text{e}$$

$$T_D = \frac{\sum_i \frac{N_i}{K_i}.t_p}{M} + (\frac{2d + E[L]}{V})$$

Como, por restrições nas leis trabalhistas, o Tempo de distribuição T_D não pode exceder a um determinado número de horas *H*, deve-se recalcular o número de zonas para atender a condição $T_D = H$. Deste modo, tem-se:

$$M' = \frac{(\sum_i \frac{N_i}{K_i}.t_p)}{[H - \frac{(2d + E[L])}{V}]};$$

NOVAES[1989] apresenta um exemplo de análise do processo de distribuição de um sistema formado por dez clientes. O objetivo do exemplo é determinar os valores de K_i que tornem os custos logísticos de cada cliente *i* mínimos. O processo de cálculo do custo logístico é dividido em três etapas e obedece a um processo computacional iterativo planejado por HALL[1985]. As etapas são as seguintes:

1. Cálculo do custo médio por parada;

   1.1. Nesta etapa, faz-se inicialmente K_i=1 para qualquer cliente *i*, admitindo-se que todos os clientes adotam, em princípio, a

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

periodicidade *t* oferecida pela empresa transportadora. Então, para um número M de zonas dado, determina-se D e T_D, através das fórmulas:

$$D = 2d + E[L] = 2d + \frac{K}{M}\sqrt{S.\sum_i \frac{N_i}{K_i}}$$ e

$$T_D = \frac{\sum_i \frac{N_i}{K_i}.t_p}{M} + (\frac{2d + E[L]}{V});$$

1.2. Determina-se o novo número de zonas $M^{'}$ que garanta a restrição $T_D \leq H$. Como *E[L]* é função do número de zonas M , calcula-se iterativamente $M^{'}$ até se obter dois resultados iguais. $M^{'}$ é calculado pela fórmula:

$$M^{'} = \frac{(\sum_i \frac{N_i}{K_i}.t_p)}{[H - \frac{(2d + E[L])}{V}]};$$

1.3. Calcula-se, então o custo médio por parada, através da fórmula:

$$\overline{C_p} = (C_H.T_D + C_{KM}.D)\frac{M}{\sum_i \frac{N_i}{K_i}}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

2. Cálculo do custo de distribuição por tonelada, para cada cliente;

2.1. O custo médio de distribuição é calculado para cada cliente, pois cada cliente possui uma carga média por parada em função de sua demanda mensal. Portanto é necessário determinar q_i para cada cliente *i*.

$$q_i = \frac{Q_i K_i t}{30 N_i}$$

2.2. Em seguida, o custo médio de distribuição é determinado para cada cliente pela fórmula:

$$\overline{C_q^{(i)}} = \frac{\overline{C_p}}{q_i}$$

3. Cálculo do custo médio logístico

Obtém-se o custo médio logístico por tonelada de carga do cliente i, através da fórmula:

$$\overline{C_i} = \frac{\alpha \mu_i}{Q_i}(2E_{R_i} + \frac{Q_i K_i t}{30} + \frac{Q_i(\tau + t_A + t_B)}{30}) + C_A + C_B + C_T + \frac{30 N_i}{Q_i K_i t}\overline{C_p}$$

4. Cálculo do valor de K_i^0 que torna mínimo o custo de logístico de cada cliente *i*. Com os novos valores de K_i^0, volta-se a etapa 1, para o início do novo cálculo do custo médio logístico para cada cliente. Com o novo custo médio logístico de cada cliente, determina-se novos valores K_i^1. O

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

processo termina quando o vetor $K^m = \{K_1^m, K_2^m, ..., K_n^m\}$ for exatamente igual a $K^{m-1} = \{K_1^{m-1}, K_2^{m-1}, ..., K_n^{m-1}\}$.

Em pseudocódigo, as etapas do processo iterativo computacional podem ser:

<u>*Início*</u>

$K_i^{'} = 1;$

<u>*repita*</u>

$K_i = K_i^{'}$

calcular $\overline{C_p}$ *;*

calcular $\overline{C_q^{(i)}}$ *;*

calcular $\overline{C_i}$ *;*

calcular $K_i^{'}$ *para* $\overline{C_i}$ *mínimo;*

<u>*até*</u> ($K_i^{'} = \mathrm{K_i}$)

resultados

fim

O **SISLOG/Macro-logística/ Periodicidade de despacho** reproduz o exemplo 8.3 do NOVAES[1989], adotando, para o cálculo da distância média percorrida dentro da zona de distribuição, o valor do coeficiente a_0 igual a 0,765 multiplicado por 1,11, para corrigir as diferenças entre a distância real rodoviária e a distância euclidiana.

Observa-se pelo resultado em anexo, que o processo para a determinação da periodicidade ótima no exemplo termina na iteração 3. NOVAES[1989] observa que em relação a iteração 1, o resultado final dos custos de alguns clientes

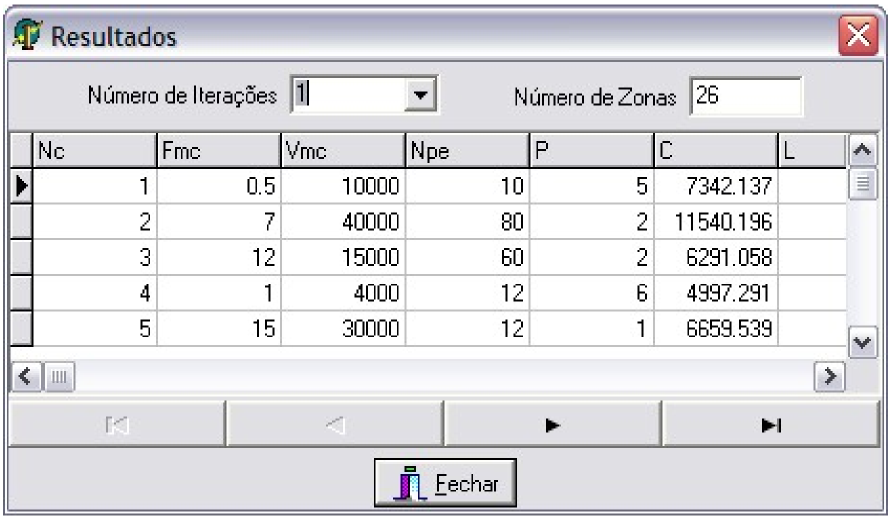
PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC

aumentaram. Esses clientes sofreram influência dos demais no cálculo da terceira parcela do custo médio total, não diluindo seus custos de distribuição da melhor maneira.

LEAL[2003] observa que o custo de distribuição está em função da densidade de pontos na zona, dependente assim das condições de concentração de carga. Portanto qualquer alteração na periodicidade de um cliente, afeta de certa forma os demais clientes, pois surgem novas densidades de pontos de entrega que, conseqüentemente, alteram o custo médio logístico.

Figura 62 – Entrada de dados de **SISLOG/Macro-logística/ Periodicidade de despacho**

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC



Nc	Fmc	Vmc	Npe	P	C	L
1	0.5	10000	10	5	7342.137	
2	7	40000	80	2	11540.196	
3	12	15000	60	2	6291.058	
4	1	4000	12	6	4997.291	
5	15	30000	12	1	6659.539	

Figura 63 – Resultado de **SISLOG/Macro-logística/ Periodicidade de despacho**

NOVAES[1989] comenta que o processo iterativo adotado no seu exemplo pode ser desmembrado por classes de mercadoria, assim o cálculo da periodicidade ótima levará em conta o mínimo custo para cada cliente envolvendo todas as suas classes de mercadoria.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0311064/CC