LOCALIZAÇÃO DE INDÚSTRIAS: O MÉTODO GRÁFICO NA MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE

ERNESTO E. E. GEIGER

"Localizar uma nova fábrica é sempre uma experiência traumatizante para o administrador. A análise, o uso da razão e o cálculo o conduzem às portas da solução. Mas daqui até a decisão se interpõem muitas questões não respondidas, quiçá sem resposta..." — BENJAMIN CHINITZ

A localização de fábricas pode ser considerada do ponto de vista [1] empresarial e governamental. Nesses, o estudo da localização deve definir uma das condições:

ERNESTO E. E. GEIGER — Professor contratado do Departamento de Produção da *Escola de Administração de Emprêsas de São Paulo*, da Fundação Getúlio Vargas.

1) Para o estudo das várias teorias que desenvolvem êsses pontos de vista, indicamos:

"Contribuições a Teoria da Localização Industrial", pelo Prof. RUY AGUIAR DA SILVA LEME (Boletim n.º 39 Cadeira XXIV, da Fac. Ciências Econômicas e Administrativas da USP — 1965).
Nessa obra há abundante bibliografia e citações dos autores clássicos que trataram de localização industrial:

VON THÜNEN	(1842)
ALFRED WEBER	(1909)
AUGUST LÖSCH	(1936)
LAUNHARDT	(1872)
PREDÖHL	(1925)
PALANDER	(1935)

Estão também mencionadas as aplicações de:
a) matrizes de entrada e saída, de Leontieff (Isard-1960; Isard, Smolensky — 1963);
b) teoria estatística da decisão (Isard, Reiner — 1963);
c) cadeias de Markov (Smith — 1961);

- o local mais conveniente para produzir um bem econômico, e com mínimo custo operacional;
- o que fôr mais conveniente produzir, num local prédeterminado.

Pode-se ainda estudar a distribuição territorial das indústrias, para fins sociais e como pesquisa econômica, verificando a influência de fatôres aglomerativos que criam grandes unidades industriais e utilizam processos automatizados de produção em massa; ou fatôres dispersivos que originam numerosa pluralidade de pequenas indústrias de tipo artesanal ou pouco mais evoluídas. Êste último, estuda-se pelo método estatístico, histórico, e por questionários.

O método estatístico foi usado por FLORENCE e BALDAMUS (*Investiment Locations and Size of Plant,* 1948) e ALEXANDER e LIDBERG (1961). O histórico empregado por DESCHESNE (1945) que procurava as leis econômicas e sociais que governam a localização industrial. E o método por questionário com entrevistas, foi adotado numa pesquisa efetuada por professôres da Escola de Administração de Emprêsas de São Paulo, da Fundação Getúlio Vargas. [2]

No presente artigo fazemos referência ao ponto de vista empresarial, quando procura o local mais conveniente, no qual produzir um bem econômico.

Na escolha dêsse local, ponderam-se as influências de fatôres QUANTITATIVOS e de fatôres QUALITATIVOS.

---

d) programação linear (Vietorisz, Manne — 1963; Berman-1959; Koch Snodgrass — 1959; Stevens — 1958);
e) teoria dos jogos (Jacot — 1963; Stevens — 1961);
f) álgebra simbólica (Smidt, Reis — 1963).

Com referência ao ponto de vista empresarial citamos:

1) *Plant Location,* por LEONARD C. YASSEEN (editado pelo "American Research Council" — 1956);
2) "Localização de Indústrias, por KURT ERNST WEIL, *Escola de Administração de Emprêsas de São Paulo* — FGV, Março 1964, mimeografado).

2) "A Administração da Produção na Pequena Emprêsa Brasileira" (versão preliminar), por CLAUDE MACHLINE, KURT ERNST WEIL e IVAN DE SÁ MOTTA, Fundação Getúlio Vargas, 1967.

Fatôres Quantitativos. São os fatôres que podem ser medidos e orçados.

1) Matérias-primas (sua disponibilidade e seu transporte);
2) combustíveis (sua disponibilidade e seu transporte);
3) energia (sua disponibilidade, tipo de fornecimento);
4) água (sua disponibilidade, tratamento necessário);
5) mercados (transporte e distribuição dos produtos);
6) mão-de-obra (disponibilidade, níveis salariais);
7) custo do terreno;
8) topografia e geologia do local (terraplenagem, estaqueamento, muros de arrimo, drenagem, estrada de acesso, pontes, etc.);
9) tipo de construção dos prédios fabris (condições climáticas, emergências climáticas e telúricas);
10) obras auxiliares (vila operária, hospital, escola etc.);
11) resíduos industriais (necessidade de neutralização);
12) impostos locais.

Fatôres Qualitativos. São fatôres que dependem de condições "flutuantes" ou de "simpatias e preconceitos" e que sòmente podem ser ESTIMADOS como influências favoráveis ou contrárias, por confronto entre várias localizações.

1) Clima (temperatura, umidade, ventos dominantes, emergências, influenciando a continuidade da produção e a produtividade);
2) facilidades governamentais (isenção de impostos, financiamentos preferenciais);
3) politização dos trabalhadores e da população local, hábitos e costumes locais;
4) potencialidades e treino profissional do operariado local (SENAI, Escolas Profissionais, velhas indústrias locais, artesanato local);

5) condições higiênicas e alimentares da população local;

6) zoneamento municipal;

7) serviços municipais (pavimentação, água encanada, esgotos, iluminação pública);

8) transportes públicos para funcionários e freguezes;

9) facilidades de manutenção (oficinas mecânicas, de encanadores, eletricistas);

10) transportes de carga disponíveis (rodoviário, ferroviário, fluvial, marítimo, aéreo);

11) meios de comunicação (telefone, correio e telégrafo);

12) comércio local (abastecimento dinâmico de ubiqüidades [3]);

13) recursos educacionais, recreativos, turísticos, para os funcionários;

14) vizinhança (barulho, fumaça, poeira, poluição);

15) bancos;

16) serviços de bombeiros, polícia, assistência;

17) expansão do mercado local;

18) saturação futura dos meios de transporte e dos fatôres quantitativos, pelas novas indústrias que se instalarem no local e pelo crescimento da população;

19) segurança nacional.

Entre os fatôres quantitativos, encontramos mencionado nos itens 1, 2 e 5, o TRANSPORTE das matérias-primas e dos combustíveis, desde as fontes até a fábrica e, o TRANSPORTE dos produtos desde a fábrica até os mercados de distribuição.

---

3) O têrmo ubiqüidade indica materiais que podem ser encontrados em qualquer lugar.

Na obra de ALFRED WEBER (1909) e na citada obra do Prof. RUY AGUIAR DA SILVA LEME, dá-se grande importância aos CUSTOS de TRANSPORTE, pois representam grande parcela dos Custos Operacionais.

Como exemplo objetivo da incidência dos Custos dos Transportes, reproduzimos os dados publicados no artigo "Custo do transporte no preço FOB do aço laminado", por CÁSSIO PENTEADO SERRA — Revista *Engenharia* — agôsto 1964.

Para interpretar os dados, devemos ter em conta as necessidades de matérias-primas das usinas siderúrgicas que transformam o minério de ferro em "gusa" reduzindo o minério pela ação do carvão coque, no alto forno. O ferro "gusa", ainda líquido, é tratado no convertedor Bessemer para queimar o excesso de carbono e outras substâncias, ou é tratado num forno Siemens-Martin, formando aço. Os lingotes de aço, são depois laminados para formar chapas, perfilados de vários tipos, tubos.

O carvão nacional não fornece coque apropriado, pois o beneficiamento do carvão nacional reduz o mesmo a pedaços pequenos, sem entretanto separar completamente as substâncias indesejáveis. Há leis que obrigam a usar no mínimo quarenta por cento de carvão nacional, misturado com o carvão importado, para produzir o coque usado nas siderúrgicas.

Segue a tabela das matérias-primas necessárias para produzir UMA tonelada de aço.

Matérias-primas	*Quantidades* ton.	%
Minério de ferro	1,667	46,85
Calcário	0,466	13,09
Carvão nacional	0,478	13,43
Carvão importado	0,717	20,15
Diversas	0,230	6,48
Totais	3,558	100,00

As matérias-primas DIVERSAS são: minério de manganês, dolomita, fluorita etc.

As três usinas brasileiras a coque são:

COSIPA — Piaçaguera, no km. 19 da E. F. Santos-Jundiaí;

CSN — Volta Redonda, no km. 146 da E.F.C. do Brasil;

USIMINAS — Ipatinga, no km. 451 da E.F. Vitória a Minas.

FONTES DE MATÉRIAS-PRIMAS

Minério de ferro	— Quadrilátero ferrífero de Minas Gerais
Carvão nacional	— Zona carbonífera de Santa Catarina
Carvão importado	— Hapton Roads (EUA)
Calcário	— Localizado em várias regiões

MINÉRIO DE FERRO

	COSIPA	CSN	USIMINAS
Procedência	Congonhas do Campo	Casa de Pedra	Itabira
Distância (km.)	828	420	119
Ferrovia	CB/SJ	CB	VM
Frete (1964) Cr$/ton.	5.685	2.500	730

CALCÁRIO	COSIPA	CSN	USIMINAS
Procedência	Brigadeiro Tobias	Barroso	Matosinhos
Distância (km.)	154	352	331
Ferrovia	EFS/SJ	RMV/CB	CB/VM
Frete (1964) Cr$/ton.	2.540,—	4.020,—	2.900,—

CARVÃO NACIONAL

a) TRANSPORTE MARÍTIMO

Procedência	Imbituba	Imbituba	Imbituba
Destino	Santos	Angra dos Reis	Vitória
Distância (km.)	373	511	853
Frete + 29% (1964) Cr$/ton.	4.417,—	5.021,—	6.513,—

b) DESPESAS PORTUÁRIAS	COSIPA	CSN	USIMINAS
Pôrto	Santos	Angra dos Reis	Vitória
Despesa Cr$/ton.	5.000,—	5.000,—	5.000,—

c) TRANSPORTE FERROVIÁRIO

Procedência	Santos	Angra dos Reis	Vitória
Distância (km.)	19	114	451
Ferrovia	SJ	RMV	VM
Frete (1964) Cr$/ton.	350,—	1.400,—	1.020,—
d) CUSTO TOTAL - Cr$/ton	9.767,—	11.421,—	13.433,—

CARVÃO IMPORTADO

a) TRANSPORTE MARÍTIMO

Procedência	Hampton R.	Hampton R.	Hampton R.
Destino	Santos	Rio de Janeiro	Vitória
Frete (1964 — US$ = = Cr$ 1.200) Cr$/ton.	9.600,—	9.600,—	9.600,—

b) DESPESAS PORTUÁRIAS

Pôrto	Santos	Rio de Janeiro	Vitória
Despesa — Cr$/ton.	6.000,—	6.000,—	6.000,—

c) TRANSPORTE FERROVIÁRIO

Procedência	Santos	Rio de Janeiro	Vitória
Distância (km.)	19	146	451
Ferrovia	SJ	CB	VM
Frete (1964) Cr$/ton.	350,—	1.610,—	1.920,—
d) CUSTO TOTAL - Cr$/ton	15.950	17.210,—	17.520,—

CUSTO DO TRANSPORTE DAS MATÉRIAS-PRIMAS
Por tonelada de aço laminado

(vide porcentagens) — Cr$/ton.

	COSIPA	CSN	USIMINAS
Minério de ferro	9.480	4.170	1.220
Calcário	1.190	1.880	1.350
Carvão nacional	4.670	5.460	6.420
Carvão importado	11.440	12.340	12.560
CUSTO TOTAL (1964)	26.780	23.850	21.550

Em 1964, o preço médio de venda, FOB-Usina, de uma tonelada de aço laminado era de Cr$ 135.000, resultando que a influência dos custos de transporte das matérias-primas, fica em:

COSIPA	19,8%
CSN	17,6%
USIMINAS	16,0%

Por êsses dados verifica-se a importância da LOCALIZAÇÃO da indústria em relação às fontes de matérias-primas, como também a importância de dispor de meios e vias de transporte eficientes.

Chamamos atenção ao fato de que, as porcentagens referem-se sòmente ao Custo do TRANSPORTE das matérias-primas, em razão ao PREÇO FOB do produto acabado e pôsto à venda.

A importância do Custo dos Transportes verifica-se também pelo quadro seguinte, que lembra conhecimentos gerais, pois mostra a formação do custo total de um produto acabado.

a	custo das matérias-primas FOB na fonte,	M_i	+
b	custo dos combustíveis FOB na fonte,	C_i	+
c	custo das matérias auxiliares (ubiqüidades),	A_i	+
d	custo de TRANSFORMAÇÃO, em função da quantidade processada,	P_i	+
e	custo do TRANSPORTE das matérias-primas e dos combustíveis, até a fábrica,	T_m	+
f	custo do TRANSPORTE dos produtos, desde a fábrica até os mercados	T_p	
	CUSTO TOTAL	CT	

A parcela (d), custo de TRANSFORMAÇÃO, depende da capacidade de absorção de produtos pelos mercados e das disponibilidades de matérias-primas e combustíveis nas fontes. Depende também dos fatôres QUANTITATIVOS e dos fatôres QUALITATIVOS próprios da RE-

GIÃO de MACRO-LOCALIZAÇÃO da fábrica e dos bens de produção disponíveis, apropriados ao processo produtivo e, dos capitais aplicados.

Pela análise acima verificamos que, a MICRO-LOCALIZAÇÃO pouco afeta essa parcela (d) mas, muito influencia as parcelas (e), (f) referentes aos Custos dos Transportes.

Confirma-se pela lógica, a ênfase dos vários autores, sôbre a importância de localizar a fábrica em função da MINIMIZAÇÃO dos Custos dos Transportes e, a conveniência de usar um método rápido e seguro para essa pesquisa de minimização dos custos.

O método apresentado neste artigo é *original,* diferente dos sugeridos por outros autores.

TARIFAS DE CARGA E CUSTO DO TRANSPORTE (FRETE)

As tarifas de transportes, como os valores dos bens econômicos, são bastante influenciadas pela competição entre as várias emprêsas de transporte, como também pelas preferências de escalas ou estações, percursos etc.

No cálculo dos custos de transporte, entra o rateio das DESPESAS FIXAS da emprêsa transportadora (garage, conservação e manutenção; ordenados e salários, com encargos sociais; depreciação e eventual amortização das instalações e dos veículos; impostos; seguros etc.), como também, uma parte proporcional aos percursos efetuados (em quilômetros) e a carga transportada e medida em toneladas ou em metros cúbicos de espaço ocupado. Esta parcela depende das DESPESAS VARIÁVEIS (combustível, lubrificantes, pneus etc., e outras despesas, dependendo do tipo de veículo ou meio de transporte.

As despesas fixas correm também quando os veículos estiverem parados, ou esperando pela carga.

Quando se escolher o meio de transporte mais apropriado, necessita-se pedir as emprêsas transportadoras as suas tabelas de TARIFAS de FRETE (Carga), prêmios de seguro e, as condições regulamentares. Essas tabelas indicam as importâncias cobradas entre as escalas ou estações, em cruzeiros novos por unidade de carga, pois a quilometragem está já computada.

Para cada meio de transporte, podemos traçar um gráfico (vide Figura 1) tendo nas abscissas a quilometragem (km.), e nas ordenadas o frete em cruzeiros novos por tonelada transportada (NCr$/ton.) ou em cruzeiros novos por metro cúbico transportado (NCr$/m^3).

Em geral, êsse gráfico torna-se quase retilíneo ou pode ser aproximado com uma reta que corta o eixo das ordenadas na altura (ordenada) que designamos com (a).

Para cada distância quilométrica, o complemento de ordenada (b./d) é proporcional à distância (d) em quilômetros.

Resulta que, aproximadamente, a tarifa de frete pode ser interpretada pela fórmula linear:

$$\text{(Tarifa de frete)} \ \frac{\text{NCr\$}}{\text{ton}} = a + (b.d) \qquad (1)$$

na qual

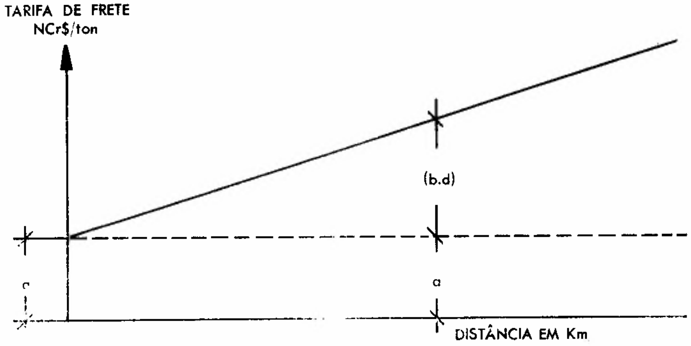
a = parcela de despesas fixas, em NCr$/ton.;

b = parcela de despesas variáveis, em NCr$/ton.-km.

c = distância percorrida, em km.

Essa parcela (a) tem analogia com a "bandeirada" dos taxis e, corresponde à parcela de despesas fixas da emprêsa transportadora, despesas que ocorrem também quando o veículo de carga estiver parado, esperando a carga (demora de carga).

FIGURA 1



As condições acima valem para todos os tipos de transporte: aéreo, marítimo, ferroviário, rodoviário. Para cada caso, há diferentes valores de (a) e de (b), como também, êsses valores mudam e dependem de cada tipo de mercadoria (carga) e do seu acondicionamento (a granel, em caixotes, em fardos, em sacos etc.).

Para o nosso fim, LOCALIZAR uma FÁBRICA minimizando os custos dos transportes, devemos considerar as quantidades (P_i) em toneladas ou em metros cúbicos, a serem transportadas, desde as FONTES de MATÉRIAS-PRIMAS até a FÁBRICA, e as quantidades de produtos a serem transportadas desde a FÁBRICA, até os MERCADOS de distribuição.

Com isso, os CUSTOS de FRETE ficam em

$$\text{Custo de frete} = F = P_i \cdot (a + b \cdot d) =$$
$$= F = (a.P_i) + (b.P_i)d \qquad (2)$$

Nossos cálculos, executados gràficamente, serão conduzidos em duas fases. Primeira fase: cálculo da parcela variável $(b.P_i)d$. Na segunda fase, vamos introduzir a parcela fixa $(a.P_i)$.

Uma vez que as emprêsas transportadoras não souberam indicar um nome para essa parcela fixa, optamos pela designação "portagem" que, se não é própria, indica melhor a idéia do "custo fixo inicial":

$$L_i = \text{Portagem} = a_i \ . \ P_i \qquad (3)$$

Seguindo a mesma lógica:

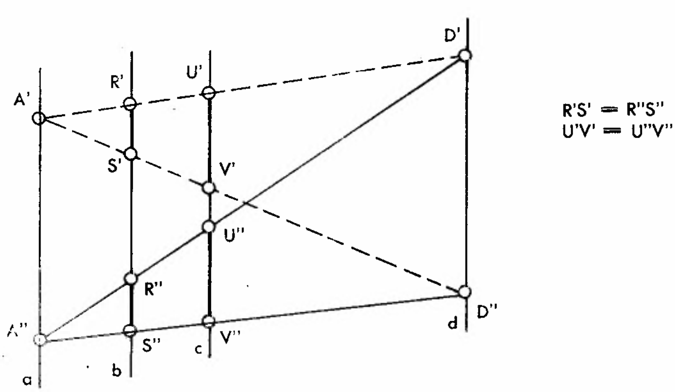
$$C_i = \text{Carretagem} = (b_i P_i) \ d_i \quad (4)$$

CÁLCULO GRÁFICO

Para compreendermos o processo de cálculo gráfico que vamos explicar, devemos primeiro lembrar o Teorema de Tales, aprendido em Geometria Plana (Euclidiana). Fazemos referência à Figura 2, na qual temos quatro retas PARALELAS verticais (a), (b), (c), (d). Nesta última marcamos dois pontos (D') e (D''), que limitam a BASE de dois triângulos. Êsses têm os vértices nos pontos (A') e (A'') da primeira reta.

Formamos assim os dois triângulos (A'D'D'') e ..... (A''D'D'') tendo a base comum (D'D'').

FIGURA 2



A reta paralela (b) corta os dois triângulos nos pontos (R'), (S') e (R''), (S'') e, a reta paralela (c) corta os dois triângulos nos pontos (U'), (V') e (U''), (V'').

Pelo Teorema de Tales sabemos que valem as PROPORÇÕES

$$\frac{A'R'}{A'U'} = \frac{R'S'}{U'V'} = \frac{A'S'}{A'V'} \text{ e } \frac{A''R''}{A''U''} = \frac{R''S''}{U''V''} = \frac{A''S''}{A''V''} \text{ etc.}$$

No gráfico, vamos aplicar essa proporcionalidade.

Escala de Medição dos Resultados Gráficos

Continuando com as mesmas notações, indicamos com (M) o MÓDULO de um vetor, tendo o valor

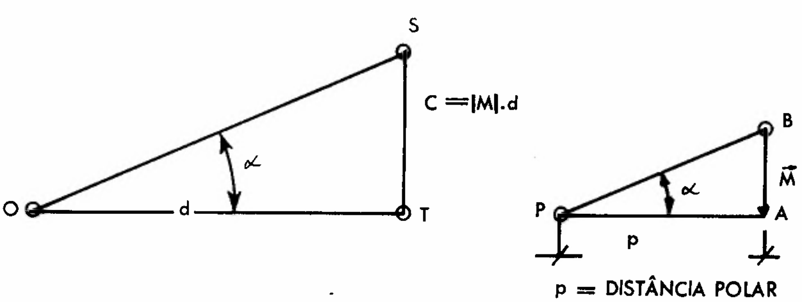
$$M_i = b.P_i \qquad (5)$$

sendo

$$\text{Carretagem} = (M).d = C \qquad (6)$$

Numa escala conveniente, representamos na Figura 3 êsse VETOR, de maneira que um centímetro vale (x) unidades do vetor (m). Por exemplo, 1 cm. vale (x) NCr$/km.

FIGURA 3



Façamos agora referência à figura.

Traçamos a reta (OT) e paralelamente o segmento (PA), tendo o comprimento (p) chamado "DISTÂNCIA POLAR", pois o ponto (P) chama-se "POLO" da construção geométrica que vamos executar. Se o nosso vetor fôr vertical traçamos o segmento (BA) que representa o vetor com seu módulo (M) na escala antes mencionada (um centímetro vale x unidades do módulo M).

Traçamos o triângulo (PBA), sendo (α) o valor do ângulo (BPA).

Na reta (αOT), o comprimento marcado (OT) vale a distância ou "percurso" (d), na escala de "UM centímetro vale (y) km de percurso (d)".

Pelo ponto (O) traçamos a PARALELA (OS) à hipotenusa (PB) do primeiro triângulo (PBA).

O cateto (ST) do segundo triângulo (OST), tem o valor

$$C = |M| \cdot d \qquad (7)$$

na escala

"Um centímetro de (ST) vale (p.x.y) unidades de (C)".

De fato,

$$(ST) = (OT) \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \qquad (8)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{(BA)}{p}, \qquad (9)$$

resultando:

$$(ST) = (OT) \cdot \frac{(BA)}{p} \qquad (10)$$

que se interpreta com

$$\frac{C}{p.x.y} = \frac{d}{y} \cdot \frac{(M)}{x} \cdot \frac{1}{p} \qquad (11)$$

Por isso, o segmento (ST) representa (C) na escala = = UM cm. vale (p.x.y).

Com essa premissa, vamos calcular gràficamente a resultante de um sistema de fôrças paralelas (vetores paralelos), (M_1), (M_2), (M_3), (M_4), de posição definida.

Polígono Funicular

Na Figura 4, estão os quatro vetores, que são reproduzidos paralelamente e alinhados, nos segmentos (0,1), . . (1,2), (2,3), (3,4). Neste exemplo, o polo (P) está na distância (p = 4 cm.) desde a reta (0,4) dos vetores alinhados.

Vamos construir o POLÍGONO FUNICULAR dêsses vetores. Traçamos as retas paralelas (A_1A), (B_1B), (C_1C), (D_1D) que passam pelos vetores originais (M_1), (M_2), (M_3), (M_4).
Cortamos em (A) a reta (A_1A) com uma paralela à (OP). Esta primeira reta servirá de BASE para as medidas utilizadas nos cálculos das carretagens das matérias-primas localizadas em (A_1) e (B_1) do percurso (A_1D_1).

Pelo mesmo ponto (A) traçamos a paralela à (1, p), até cortar (B) a reta (B_1B_2).

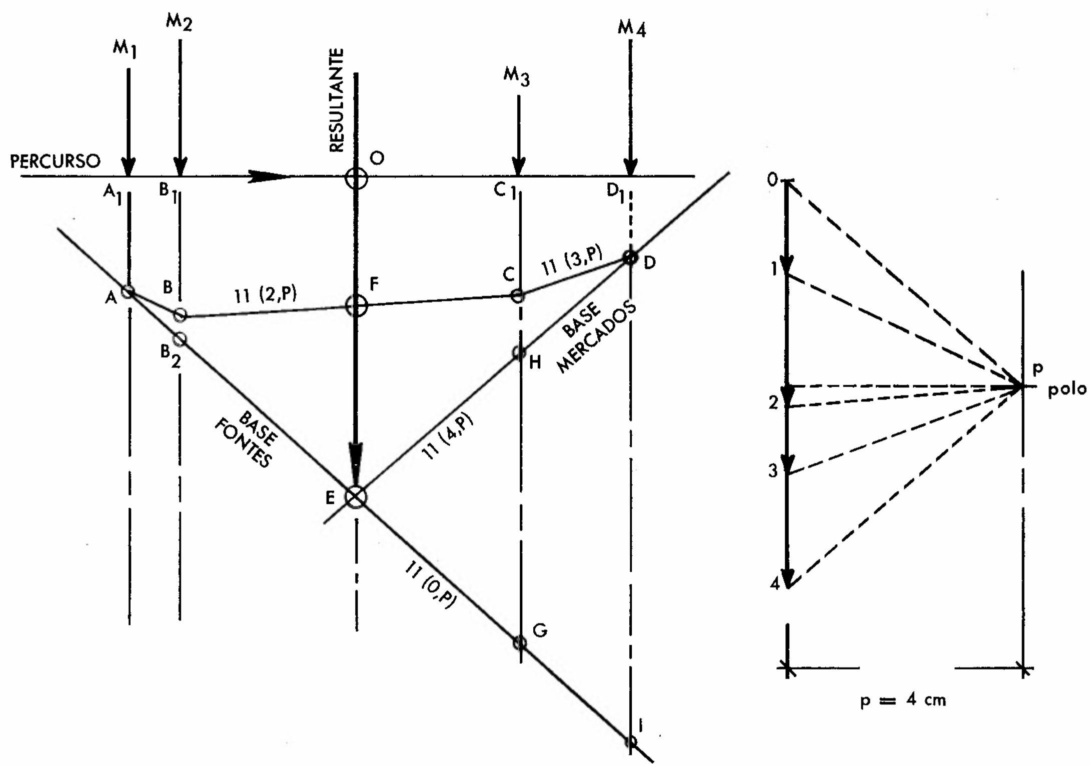
Pelo que dissemos no parágrafo anterior, o segmento (BB_2) representa em escala oportuna o valor do produto

$$C_1 = |M_1| \cdot (A_1B_1)$$

isto é, "carretagem da carga (M_1) no percurso (A_1B_1), excluindo o custo de carregamento, demora, baldeação".

Pelo ponto (B) traçamos a paralela à reta (2, P) até cortarmos a reta (C_1G), pelo ponto (C) traçamos a paralela à reta (3, P) até cortarmos em (D) reta (D_1I), pelo ponto (D) traçamos a paralela à reta (4, P) até cortarmos em (E) a primeira reta (AI).

FIGURA 4



Escala M = 1 cm vale 200 (= x) $/km
Escala percursos (comprimentos horizontais): 1 cm vale 50 km (= y)
Escala do segmento (FE): 1 cm vale (pxy) = 4.200 . 50 km = Cr$ 40.000/cm

$(A_1O)\ (0,1) + (B_1O)\ (1,2) + (OC_1)\ (2,3) + (OD_1)\ (3,4) = 2\ .\ (FE)$

Assim completamos a POLÍGONO FUNICULAR dos vetores (M_1), (M_2), (M_3), (M_4).

Pelo ponto (E) passa a RESULTANTE dos quatro vetores. Esta resultante corta a linha de percurso (A_1D_1) horizontal, no ponto (O) que é o BARICENTRO dos pontos (A_1), (B_1), (C_1), (D_1) nos quais aplicam-se os respectivos vetores.

A construção gráfica do POLÍGONO FUNICULAR de uma série de vetores, aplica-se na engenharia para o cálculo dos "momentos fletores" de vigas e colunas, para o cálculo do baricentro de um elemento construtivo, para o cálculo do "momento de inércia" etc.

Estamos aqui aplicando essa construção gráfica, para um cálculo de cunho "econômico" e, para dar objetividade vamos logo aplicar a figura de maneira prática.

A reta (A_1D_1) representa o PERCURSO entre as FONTES de MATÉRIAS-PRIMAS e os MERCADOS de DISTRIBUIÇÃO dos PRODUTOS.

Sejam:

$$M_1 = b_1 \,.P_1 = \text{Cr\$}320/\text{km.}$$
$$M_2 = b_2 \,.P_2 = \text{Cr\$}440/\text{km.}$$
$$M_3 = b_3 \,.P_3 = \text{Cr\$}400/\text{km.}$$
$$M_4 = b_4 \,.P_4 = \text{Cr\$}400/\text{km.}$$

Êsses valores estão representados na figura, na escala de "1 cm. vale 200 Cr$/km.", isto é, x = 200 Cr$/km.

As DISTÂNCIAS a percorrer são:

$$A_1D_1 = 430 \text{ km.}$$
$$A_1C_1 = 335 \text{ km.}$$
$$B_1C_1 = 290 \text{ km.}$$
$$B_1D_1 = 385 \text{ km.}$$

Essas distâncias estão representadas na figura, na escala de "1 cm. vale 50 km.", isto é, y = 50 km.

A distância POLAR utilizada na figura, é de p = 4 cm.

A escala de leitura dos segmentos verticais (paralelamente aos vetores), do polígono funicular, fica em

p.x.y = 4 cm. 200 Cr$/km. 50 km. = Cr$ 40.000/cm.

isto é, cada centímetro dos segmentos verticais determinados pelo polígono funicular, vale Cr$ 40.000.

Isso como exemplo, pois as unidades e os valores p.x.y podem ser mudados de acôrdo com as necessidades do momento.

Vamos analisar nossa figura.

O ponto (0) de cruzamento da RESULTANTE dos vetores, com a reta representando o percurso das cargas, fica nas distâncias:

$A_10 = 195$ km.
$B_10 = 150$ km.
$0C_1 = 140$ km.
$0D_1 = 235$ km.

Localizando a fábrica de beneficiamento no BARICENTRO (0), a carretagem TOTAL será:

Cr$ 320 . 195 km. + Cr$ 440 . 150 km. +
+ Cr$ 240 . 140 km + Cr$ 400 . 235 km =
= Cr$ 256.000.

O segmento (EF) tem o comprimento de 3,2 cm. Aplicando a sua escala de interpretação (Cr$ 40.000/cm.), resulta: carretagem = 2 . Cr$ 40.000/cm. . 3,2 cm. = = Cr$ 256.000.

O segmento (EF) foi considerado duas vêzes, pois representa a esquerda, carretagem de (M_1), (M_2) e, a direita a carretagem de (M_3), M_4).

Vamos agora MUDAR a LOCALIZAÇÃO da fábrica, para o ponto (C_1) centro do mercado de distribuição (M_3).

Nesse caso, as distâncias de percurso são:

$$A_1C_1 = 335 \text{ km.}$$
$$B_1C_1 = 290 \text{ km.}$$
$$D_1C_1 = 95 \text{ km.}$$

Da carretagem TOTAL será, excluindo (M_3),

$$\text{Cr\$ } 320 \;.\; 335\,\text{km} + \text{Cr\$ } 440 \;.\; 290\,\text{km} + + \text{Cr\$ } 400 \;.\; 95\,\text{km} = \text{Cr\$ } 272.800.$$

Na figura, essa carretagem está representada pela SOMA dos segmentos:

(GC) = 5,83 cm. para a parte de esquerda

(HC) = 1,0 cm., para a parte a direita do ponto (C_1)

A soma vale:

$$(GC) + (HC) = 5{,}83 + 1{,}00 = 6{,}83 \text{ cm.}$$

Multiplicando pela escala (40.000 Cr$/cm.), temos

$$6{,}83 \text{ cm. } . \text{ Cr\$ } 40.000/\text{cm.} = \text{Cr\$ } 273.200.$$

Considerando que o desenho da figura é PEQUENO, constatamos que a precisão do resultado é promissora. Aliás, os dados práticos, em geral, são aproximados, pois representam PREVISÕES prováveis e com possíveis variações futuras. Por isso, o método gráfico de cálculo demonstra ser plenamente suficiente para a precisão desejada.

Podemos também calcular as carretagens para localização nos pontos (D_1), (A_1), (B_1), utilizando o gráfico da Figura 4 no lado esquerdo do baricentro (0), e com referência à reta BASE (DE). Os valores obtidos pelo gráfico e os valores calculados, conferem.

Localizando a fábrica em (D_1) temos:

	Cr$
$(A_1D_1) . M_1 = 430$ km . Cr$ 320/km =	137.600
$(B_1D_1) . M_2 = 385$ km . Cr$ 440/km =	169.400
$(C_1D_1) . M_3 = 95$ km . Cr$ 240/km =	22.800
Carretagem Total =	329.800

Localizando a fábrica em (B_1) temos:

	Cr$
$(A_1B_1) . M_1 = 45$ km . Cr$ 320/km =	14.400
$(B_1C_1) . M_3 = 290$ km . Cr$ 240/km =	69.600
$(B_1D_1) . M_4 = 385$ km . Cr$ 400/km =	154.000
Carretagem Total =	238.000

Localizando a fábrica em (A_1) temos:

	Cr$
$(A_1B_1) . M_2 = 45$ km . Cr$ 440/km =	19.800
$(A_1C_1) . M_3 = 335$ km . Cr$ 240/km =	80.400
$(A_1D_1) . M_4 = 430$ km . Cr$ 400/km =	172.000
Carretagem Total =	272.200

Seja pelo gráfico da Figura 4, como pelos valores calculados, podemos preparar um segundo gráfico de leitura mais fácil, representado na Figura 5. Nesta, cada abscissa representa uma posição da fábrica ao longo do percurso entre as fontes de matérias-primas e os baricentros dos mercados e, as ordenadas representam os CUSTOS de transporte quando se localizar a fábrica na abscissa.

O traço cheio representa as carretagens (SEM considerar as demoras de carga ou descarga).

Conhecendo os valores (a) da fórmula (3), podemos calcular as PORTAGENS (L):

$$L_i = a_i \cdot P_i \qquad (3)$$

resultando o CUSTO TOTAL do transporte

$$(CT) = \Sigma(M_i \cdot d_i) + \Sigma(a_i \cdot P_i) \qquad (12)$$

Na Figura 5, o traço pontilhado representa os CUSTOS TOTAIS calculados pela fórmula (12).

As ordenadas da curva pontilhada são obtidas da maneira seguinte:

Calculam-se $(L_1 = a_1 \cdot P_1)$, $(L_2 = a_2 \cdot P_2)$, $(L_3 = a_3 \cdot P_3)$, $(L_4 = a_4 \cdot P_4)$. A soma dêsses valôres (L_i) é adicionada às ordenadas da curva cheia, por segmento $\Sigma L_i / p \times 4$, formando-se assim a curva pontilhada.

Admitindo localizar a fábrica no ponto (A_1), não teremos nesse local a PORTAGEM (L_1), e por isso o CUSTO TOTAL no ponto (A_1) carece dessa "portagem" (L_1).

Entretanto, admitindo localizar-se a fábrica no ponto (B_1), neste local não precisaremos ter a PORTAGEM (L_2), e por isso, o CUSTO TOTAL no ponto (B_1) carece dessa "portagem" (L_2).

Quando se localizar a fábrica no ponto (C_1), não teremos a PORTAGEM correspondente a (L_3), mas teremos ainda as (L_1), (L_2), (L_4).

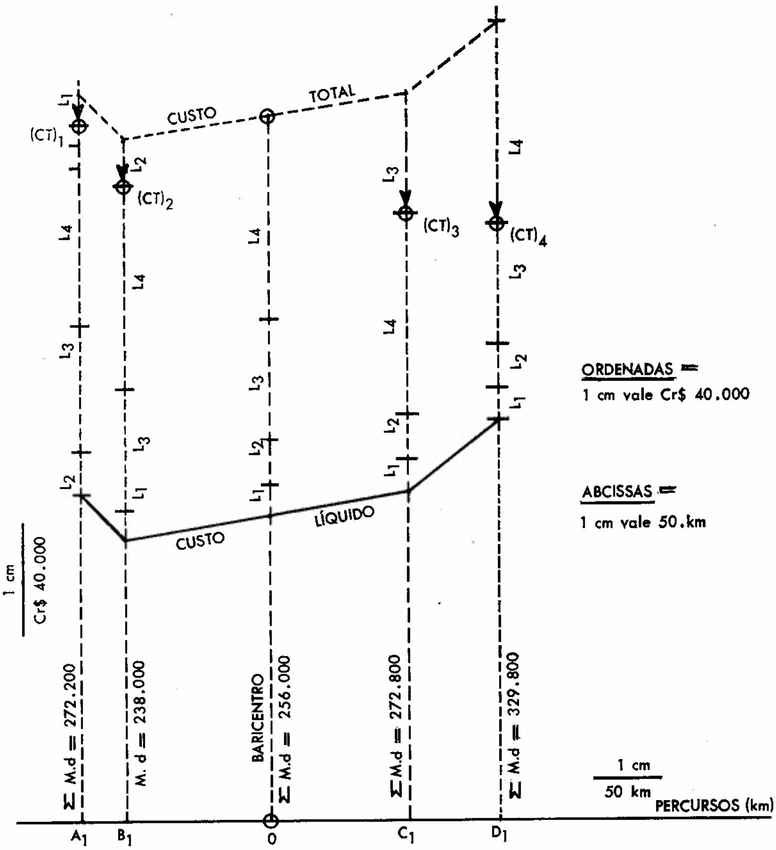
Se entretanto localizarmos a fábrica no ponto (D_1) não teremos a DEMORA de CARGA correspondente a (L_4), mas continuaremos tendo os valôres (L_1), (L_2), (L_3).

Se agora analisamos as duas curvas, encontramos que, na curva cheia obtida pela fórmula

$$M = b.P \qquad (5)$$

a localização mais favorável seria no ponto (B_1), no qual temos o custo líquido MÍNIMO.

FIGURA 5



———————— CUSTO DE CARRETAGEM SEM DEMORA DE CARGA OU DESCARGA

– – – – – – – – – – CUSTO TOTAL (CT) NOS PONTOS INTERMEDIÁRIOS DOS PERCURSOS

CUSTO TOTAL (CT) NOS PONTOS DE CARGA OU DESCARGA

$L_1 = a_1 P_1 = 22.040$

$L_2 = a_2 P_2 = 31.680$

$L_3 = a_3 P_3 = 100.800$

$L_4 = a_4 P_4 = 168.000$

Entretanto, se considerarmos os CUSTOS TOTAIS, pela fórmula (12), encontramos que o local mais favorável está em (D_1).

Estamos assim verificando a grande influência das PORTAGENS das matérias-primas e dos produtos acabados. Isso acontece, em geral, para as matérias-primas prevalentes e de baixo aproveitamento, e para os produtos acabados bem delicados e utilizando muitas matérias-primas ou ubiqüidades.

Deduzimos que, nas condições estudadas acima, sempre encontraremos como LOCALIZAÇÃO mais favorável, ou uma das FONTES de matérias-primas, ou o baricentro de um MERCADO.

LOCALIZAÇÃO numa FONTE de MATÉRIAS-PRIMAS:

Quando esta matéria-prima fôr prevalente, e quando seu aproveitamento porcentual fôr baixo. Exemplos: processamento de recursos naturais — fábricas de papel, serrarias, em geral indústrias extrativas.

LOCALIZAÇÃO num MERCADO:

- quando o PRODUTO fôr constituído por várias matérias-primas;

- quando o produto utilizar "ubiqüidades" (matérias-primas que podem ser encontradas e compradas em qualquer lugar);

- quando a perda de matéria-prima no beneficiamento fôr mínima;

- quando a matéria-prima fôr despachada "a granel" e os produtos exigirem especiais cuidados de embalagem, de carga e de transporte. Exemplos: enlatamentos, confecções, restaurantes, produtos farmacêuticos.

MACRO-LOCALIZAÇÃO, NO BARICENTRO DE UM GRUPO DE PONTOS PESADOS (LOCAIS DAS FONTES E DOS MERCADOS)

Admitimos conhecer as posições geográficas das FONTES das matérias-primas principais, e as posições geográficas dos "baricentros" dos MERCADOS. Cada uma dessas posições está caracterizada por um VETOR, função da quantidade (P) de carga a transportar, e de uma TARIFA (b) de transporte de uma UNIDADE de carga por unidade de percurso. O módulo dêsses vetores está determinado por

$$|M| = b_i \, . P_i \qquad (5)$$

Não estamos considerando a DEMORA de carga e sua portagem (L). Queremos determinar gràficamente o BARICENTRO do conjunto dêsses pontos "pesados" (pontos nos quais se aplicam vetores).

Para mostrar objetivamente como resolver o problema gràficamente, recorremos novamente a um exemplo, representado na Figura 6.

Sejam (A), (B) fontes de matérias-primas, por exemplo, minas. Sejam (C), (D) os baricentros dos dois mercados. Nesses quatro pontos aplicam-se os vetores (pesos)

$$M_a = b_a \, . P_a$$
$$M_b = b_b \, . P_b$$
$$M_c = b_c \, . P_c$$
$$M_d = b_d \, . P_d$$

Colocamos êsses vetores em posição horizontal e traçamos o seu polígono funicular em relação ao polo (P_1), pelo método usado na Figura 4. A seqüência dos vetores é (b, d, c, a). Obtemos a resultante (R_1).

Colocamos agora os mesmos vetores em direção vertical (ortogonal à primeira), e traçamos outro polígono funicular, com polo ($P_!$). Desta vez, a seqüência fica em (a, b, c, d) da esquerda para direita na planta, e de cima para baixo no alinhamento dos vetores, para construção do polígono funicular. Encontramos a resultante (R_2) que cruza com a primeira no ponto (0).

Êsse ponto (0) é o BARICENTRO dos pontos pesados (A, B, C, D).

Se usássemos transporte aéreo, poderíamos intuitivamente admitir que, localizando a fábrica nesse "baricentro" (0), teríamos percursos MÍNIMOS.

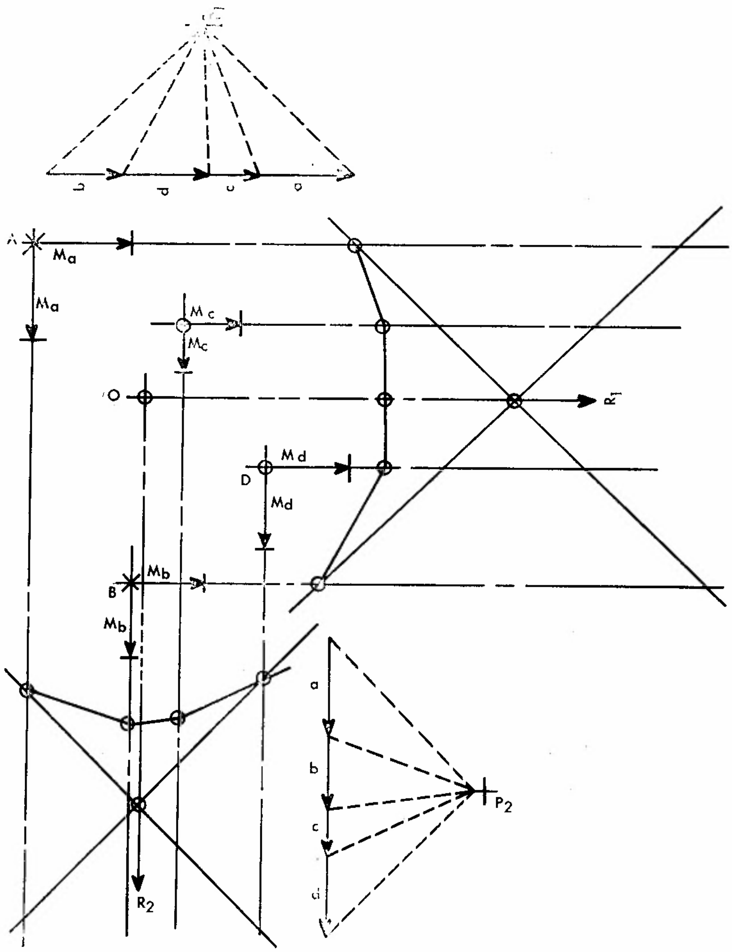
Se os pontos (A, B, C, D) fôssem ilhas no mar, poderíamos localizar um navio-fábrica no baricentro (0), admitindo intuitivamente, que obteríamos os mínimos percursos, em relação a outras localizações do navio-fábrica. Vamos economizar demonstrações matemáticas, pois na realidade não teremos essa livre escolha de localização, visto que estaremos presos a PERCURSOS obrigatórios, correspondentes às vias de comunicação existentes na região "em volta" do baricentro (0).

Essa região em volta do baricentro (0), representa a MACRO-LOCALIZAÇÃO da fábrica que estamos estudando. Lembramos que a localização final de uma fábrica está influenciada por muitos fatôres quantitativos e qualitativos, e que o fator transporte nem sempre prevalece.

Essa região em volta do baricentro (0) permite-nos procurar os meios e as vias de transporte, determinando os percursos, e as tarifas de frete de cada um.

O método gráfico empregado na Figura 6 permite-nos determinar o BARICENTRO de um MERCADO. Tratando-se de um mercado de "varejo", dividimos a região do mercado, em FAIXAS trapezoidais. Em cada faixa trapezoidal marcamos seu próprio "baricentro" por construção gráfica que encontramos em qualquer manual técnico. Nesse baricentro da faixa trapezoidal, aplicamos um vetor "pêso" correspondente ao potencial de vendas da mesma faixa. Tratamos êsses vetores da mesma maneira como explicado em relação à Figura 6.

FIGURA 6



O — BARICENTRO DOS LOCAIS (A-B-C-D)
(cruzamento de duas resultantes ortogonais R1, R2, obtidas por polígonos funiculares).

MICRO-LOCALIZAÇÃO, PELOS PERCURSOS EFETIVOS

Continuamos querendo MINIMIZAR as DESPESAS de TRANSPORTE e determinar nos detalhes a LOCALIZAÇÃO em função dos custos dos TRANSPORTES, isto é, fazer uma MICRO-LOCALIZAÇÃO.

Para fornecer uma explicação objetiva, fazemos referência à Figura 7, na qual reproduzimos os locais (A), (B) das FONTES de matérias-primas e os locais (C), (D) dos baricentros dos MERCADOS, idênticos aos mostrados na Figura 6. Desta vez indicamos o TRONCO comum (EF) e os ramais (AF), (CF), (ED) nos quais marcamos o "sentido de percurso".

Temos várias possibilidades:

- os PRODUTOS distribuídos no mercado (C) podem usar matéria-prima de (A) ou de (B);
- os PRODUTOS distribuídos em (D) podem usar matéria-prima de (A) ou de (B);
- os PRODUTOS distribuídos em (C) usam matéria-prima de (A);
- os PRODUTOS distribuídos em (D) usam matéria-prima de (B).

Admitimos precisar de matéria-prima ÚNICA e de baixo aproveitamento porcentual (exploração de recurso natural, indústria extrativa) e que, seja conveniente instalar fábrica perto da fonte de matéria-prima.

Fazemos os POLÍGONOS FUNICULARES dêsses quatro casos, usando as escalas:

COMPRIMENTOS (percursos): 1 cm. vale y = 50 km.

VETORES de CARRETAGEM (C), pela fórmula (5): 1 cm. vale x = Cr$ 200/km.

ORDENADAS de CARRETAGEM do TRANSPORTE, no polígono funicular: 1 cm vale (p.x.y) Cr$, e para p = 3 cm., 1 cm. vale Cr$ 30.000.

FIGURA 7

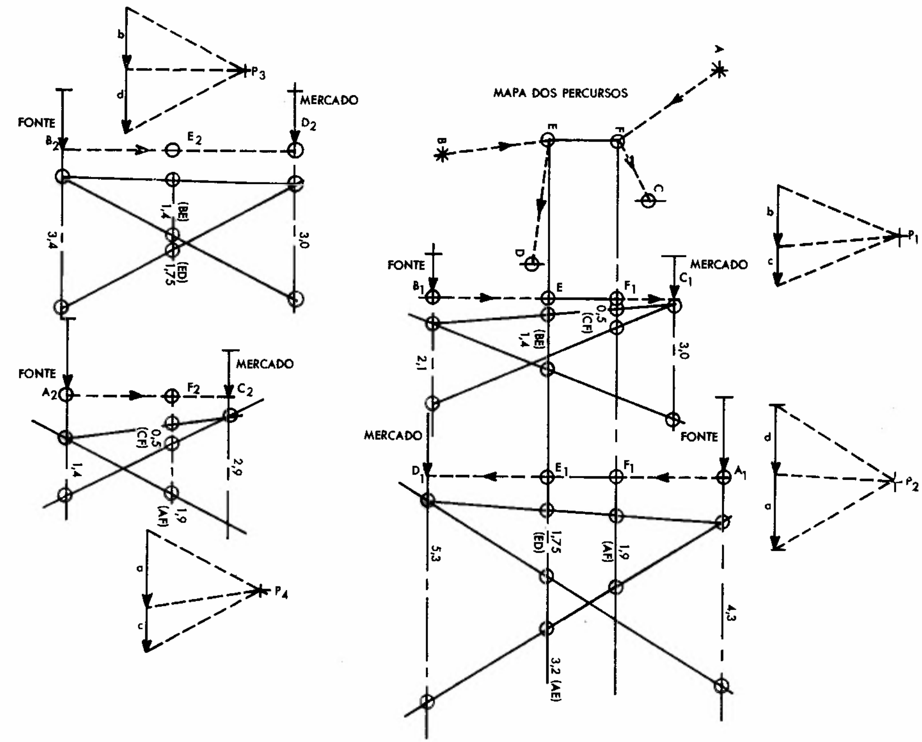
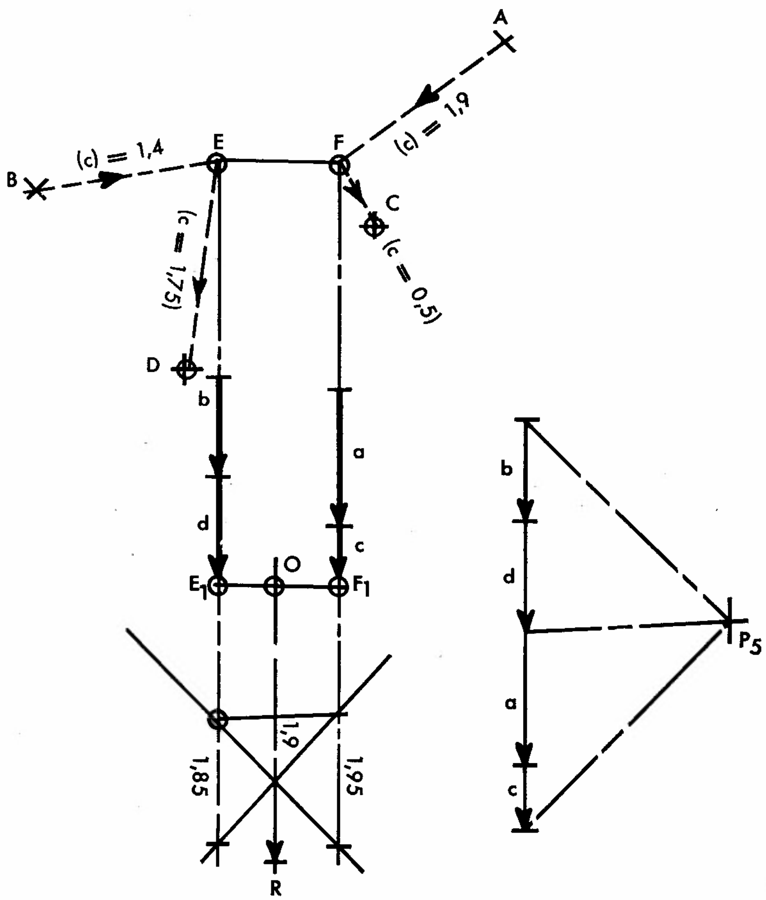

MAPA DOS PERCURSOS
FONTE
MERCADO
3,0
3,4
2,1
2,9
1,4
1,75
1,9
4,3
5,3
0,5
(BE)
(ED)
(CF)
(AF)
3,2 (AE)

FIGURA 7 A



Carretagem nos percursos (BE) + (DE) + (AF) + (CF) + 5,55 . (p.x.y)
em E: (5,55 + 1,85) = 7,4 . (p.x.y)
em F: (5,55 + 1,95) = 7,5 (p.x.y)

Para rapidez de confronto, vamos usar a seguir sòmente as carretagens determinadas pelas ordenadas do polígono funicular.

1) Vamo-nos referir a produto único, distribuindo uma unidade em (C), outra em (D). Há duas fábricas, uma localizada em (A), outra em (B), cada uma processando duas unidades, enviando uma para (C), outra para (D).

Unidades de produto entregue em (C) =

a (C) de (B) 2,1 cm.

a (C) de (A) 1,4 cm.

Total 3,5 cm. Cr$ 30.000 =
= Cr$ 105.000

Unidades de produto entregue em (D) =

a (D) de (A) 4,3 cm.

a (D) de (B) 3,4 cm.

7,7 cm. Cr$ 30.000 =
= Cr$ 231.000

Carretagem de QUATRO unidades de produto, processado em (A) e (B), entregues em (C) e (D) Cr$ 336.000

A carretagem média fica em Cr$ 84.000.

2) O mercado (C) recebe sòmente de (A), o mercado (D) recebe sòmente de (B). Cada fábrica processa UMA unidade de produto.

a (C) de (A)	1,4 cm. Cr$ 30.000 =	Cr$ 42.000
a (D) de (B)	3,4 cm. Cr$ 30.000 =	Cr$ 102.000

Carretagem de DUAS unidades de produto processado em (A) e (B) Cr$ 144.000

Com isso encontramos a carretagem média de Cr$ 72.000, porém precisamos de DUAS fábricas, uma em (A) e outra em (B), e que as matérias-primas de (A) e (B) sejam similares e intercambiáveis. Se entretanto, para fabricação dos produtos precisarmos de duas matérias-primas diferentes e combinadas, esta solução NÃO será viável.

Ainda não encontraríamos a localização de UMA só fábrica utilizando as DUAS matérias-primas em conjunto. Para isso devemos considerar o trecho comum ou tronco (EF), procurando a localização da fábrica. *Se a fábrica estivesse num ramal, teríamos percursos maiores.*

Façamos referência à Figura 8. Nesta consideramos:

em (F), o transporte da matéria-prima de (A) até (F);
em (F), o transporte dos produtos, de (F) até (C);
em (E), o transporte da matéria-prima de (B) até (E);
em (E), o transporte dos produtos de (E) até (D).

Construindo o polígono funicular no trecho ou tronco (EF), encontramos que a localização mais favorável está em (E). A carretagem (sem despesas de portagem) para DUAS unidades de produto, uma posta em (C), outra em (D), fica em:

matéria-prima de (A) até (E): (vide Figura 6)

3,2 cm . Cr$ 30.000 = Cr$ 96.000

matéria-prima, de (B) para (E)

1,4 cm . Cr$ 30.000 = Cr$ 42.000

produtos, de (E) para (C)

1,1 cm . Cr$ 30.000 Cr$ 33.000

produtos, de (E) para (D)

1,75 cm . Cr$ 30.000 = Cr$ 52.000

Carretagem de DUAS unidades de produto Cr$ 223.500

Carretagem média, por unidade de produto = Cr$ .... 111.750,00.

Utilizando diretamente os dados da Figura 8, encontramos no ponto (E):

carretagem	(B-E)	1,4 cm.
"	(D-E)	1,75 cm.
"	(A-F)	1,9 cm.
"	(F-C)	0,5 cm.
"	(E-F)	1,85 cm.

Carretagem de DUAS unidades de produto } 7,40 cm . Cr$ 30.000 = = 222.000

Essa diferença é causada pela precisão de leitura dos gráficos. A precisão (desvio relativo) é de 0,67%, sendo satisfatória nesse caso.

Estamos vendo que, se o produto contiver SÓ uma matéria-prima e se aceitarmos DUAS fábricas, as carretagens são MÍNIMAS. Entretanto, se o produto contiver as DUAS matérias-primas e se quisermos só UMA fábrica, a carretagem é maior.

É provável que, o custo operacional do conjunto das duas fábricas seja maior do que o custo operacional de uma única fábrica de produção global. Deve ser verificado se o aumento do custo operacional (duas fábricas) absorve a redução de carretagem.

O método de cálculo gráfico empregado na Figura 8 é geral. De fato, escolhemos outros percursos, para os mesmos locais (A), (B) das fontes de matérias-primas e para os mesmos locais (C) e (D) dos baricentros dos mercados. Fazemos isso na Figura 9, na qual o ponto (0) corresponde ao BARICENTRO da região, como encontrado na Figura 6.

Nessa figura, traçamos os percursos "rebatidos" na horizontal, partindo dos pontos de confluência ou entroncamentos (G) e (H). Obtemos os pontos (A_1), (B_1), (C_1), (D_1), (G_1), (H_1).

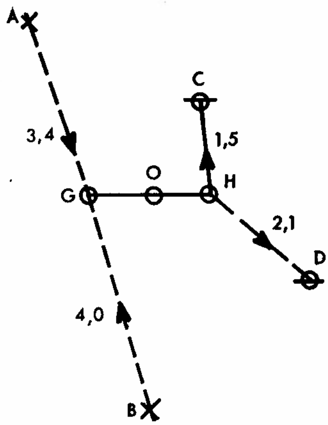
Os números indicados nos traçados dos percursos, são os comprimentos gráficos em centímetros. Os números marcados nas ordenadas do polígono funicular, são os comprimentos dessas ordenadas em centímetros. Os números marcados no traçado rebatido na horizontal, são as ordenadas do polígono nos trechos correspondentes.

Feito o polígono funicular nas mesmas escalas que o precedente das figuras (7) e (8), encontramos que a localização mais conveniente é ainda o local de entroncamento (G).

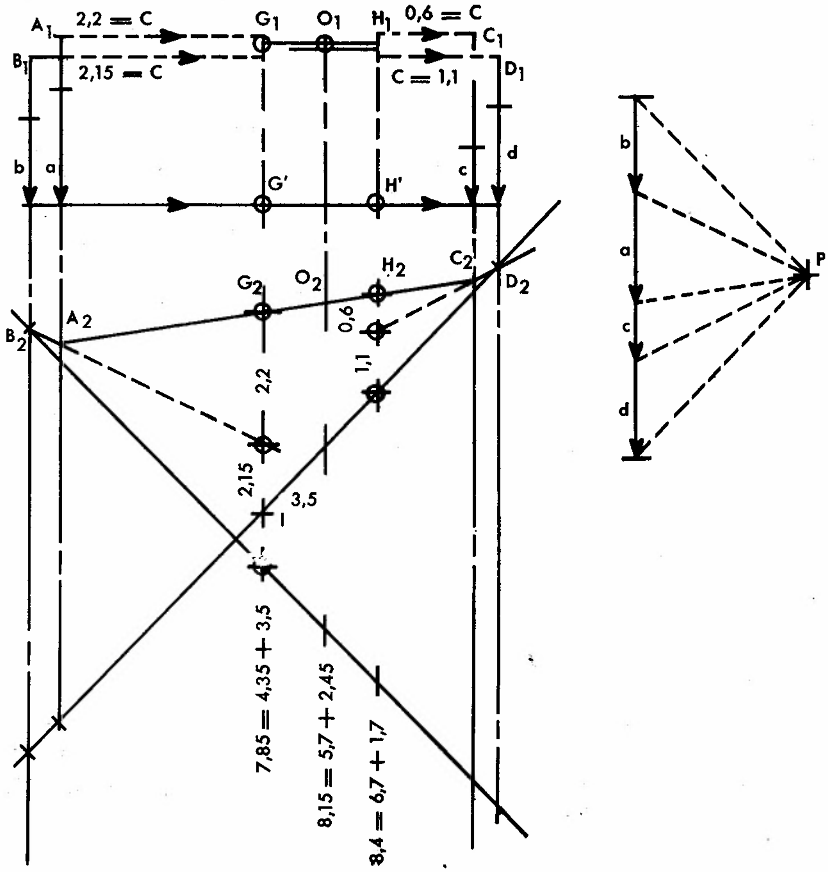
De fato, a carretagem para localização em (G) resulta:

transporte (A-G)	2,2 cm	. Cr$ 30.000 =	Cr$ 66.000
transporte (B-G)	2,15 cm	. Cr$ 30.000 =	Cr$ 64.500
transporte (G-C) e (G-D)	3,5 cm	. Cr$ 30.000 =	Cr$ 105.000
Carretagem de DUAS unidades de produto, até os mercados (C) e (D)			Cr$ 235.500

Os novos percursos são maiores que os considerados na Figura 7, e por causa disso, a carretagem média fica maior, isto é, Cr$ 117.750.



A
C
3,4
1,5
O
H
G
2,1
D
4,0
B



A1
2,2 = C
G1
O1
H1
0,6 = C
C1
B1
2,15 = C
C = 1,1
D1
b
a
G'
H'
c
d
G2
O2
H2
C2
D2
B2
A2
0,6
1,1
2,2
2,15
3,5
I
7,85 = 4,35 + 3,5
8,15 = 5,7 + 2,45
8,4 = 6,7 + 1,7
b
a
c
d
P

FIGURA 8

Nesses cálculos gráficos NÃO foram consideradas as portagens (L = a.). Para calcular êsses valores e formar um gráfico geral dos CUSTOS TOTAIS de transporte, devemos proceder como explicado para a Figura 5. Com isso, encontraremos a verdadeira e mais conveniente localização, em função da minimização dos custos de transporte. Devemos, porém, repetir nossos cálculos, para cada percurso possível e, confrontar os resultados.