

APLICAÇÃO DO MÉTODO DO CENTRO DE GRAVIDADE PARA DECISÃO DE LOCALIZAÇÃO DE UMA TRANSPORTADORA RODOVIÁRIA DE CARGAS

Francisco Jerley Solon de Souza (UFC)

jerleys@hotmail.com

Nathalia de Sousa Pereira (UFC)

nathaliaeng.producao@gmail.com

Heraclito Lopes Jaguaribe Pontes (UFC)

hjaguaribe@ufc.br



Antigamente, a maioria das empresas alocavam suas instalações físicas sem fazer um estudo prévio de viabilidade, em consequência, hoje, nota-se que algumas empresas estão com sua localização inviável em relação aos custos e acesso aos clientes. A busca por novas estratégias para assegurar a qualidade dos serviços oferecidos aos clientes pode ser vital para a sobrevivência das empresas. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo identificar o melhor ponto de instalação, em termos financeiros, de uma empresa localizada no estado do Ceará que atua no mercado de transporte rodoviário de cargas e compará-lo com a posição atual. A metodologia do trabalho foi elaborada através da aplicação do método do Centro de Gravidade para encontrar a posição mais viável economicamente. Os dados quantitativos coletados para a pesquisa são referentes aos meses de março e abril de 2014. O cálculo foi baseado nos oito principais clientes da empresa, onde os pontos de entrega das cargas estão localizados em 114 cidades. Os resultados obtidos evidenciaram uma redução dos custos de transporte quando comparados com a localização atual, o que torna eficaz a aplicação do método.

Palavras-chave: do Centro de Gravidade; Decisão de Localização; Custo de Transporte.

1. Introdução

Atualmente, com o aumento das transações comerciais, há uma tendência das empresas em atingir mercados em diferentes localidades. Porém, percebe-se que em determinadas situações, a instalação física da empresa torna-se inviável em relação aos custos e acesso aos clientes. Um dos fatores críticos para o sucesso é a busca pelo melhor local geográfico onde a instalação deve ser implantada. Sua importância decorre dos altos investimentos envolvidos para a sua decisão.

A decisão de localização requer estudos de viabilidade que possibilite maior retorno para o investimento de uma empresa (SIQUEIRA e CALEGARIO, 2012). Segundo Slack *et al.* (2002), as decisões de localização das organizações devem ser baseadas no equilíbrio entre o lucro e os custos inerentes a localização da instalação junto com o serviço prestado.

Diante disso, uma localização estratégica adequada é fundamental para a eficiência no nível de serviço de toda empresa. Para as empresas transportadoras este critério é ainda mais crucial, pois exercem um papel fundamental no sistema de integração entre pontos da cadeia de suprimentos, onde há escoamento dos produtos e fluxo de insumos no mercado. Uma falha nesse processo logístico pode comprometer o desempenho das empresas de toda a cadeia.

O cenário brasileiro de transporte rodoviário de carga caracteriza-se por uma elevada quantidade de empresas que oferecem o serviço, pouca exigência para operação e baixa fiscalização, fatos que levaram à redução da qualidade dos serviços prestados e deprimiram os preços do frete por caminhão (HIJJAR, 2012).

Neste contexto, a redução dos custos logísticos na coleta e entrega das mercadorias e a melhoria do nível de serviço, proporcionados por uma localização geográfica ideal, são preponderantes para a sobrevivência das empresas nesse segmento. Segundo Borchardt *et al.* (2008), as dimensões estratégicas de velocidade de entrega, serviços associados e flexibilidade na operação sofrem influência da localização de empresas prestadoras de serviços.

O objetivo deste trabalho é identificar o melhor ponto de instalação, em termos financeiros, de

uma empresa localizada no estado do Ceará que atua no mercado de transporte rodoviário de cargas e compará-lo com a posição atual. O estudo foi elaborado através da aplicação do método do centro de gravidade, por meio de dados quantitativos, para encontrar as localizações mais viáveis.

A principal razão para o estudo é devido ao plano de transferir o local atual da empresa para outra localidade, devido ao crescente aumento da frota de veículos próprios. Dessa maneira, uma boa localização proporcionará maior nível de serviço e um melhor posicionamento competitivo.

2. Referencial teórico

2.1. Transporte Rodoviário de Cargas

Segundo Milan *et al.* (2013), para o mercado que está em constantes mudanças, a velocidade de resposta é um fator importante para a construção de possíveis vantagens competitivas. A logística está diretamente ligada a esta resposta rápida quando o contexto de ambiente acirrado entra em questão (BARAD e SAPIR, 2003). Nesse cenário, o modal rodoviário possui um papel importante no escoamento de produtos transportados devido a sua flexibilidade de entrega.

No entanto, é um setor em que “o valor médio pago pelos fretes rodoviários é muito baixo em comparação com os custos incorridos. Este é um problema que compromete a saúde do setor, impede o crescimento de outros modais e gera externalidades negativas para a sociedade” (CNT, 2011). A mesma pesquisa complementa que uma das causas para os baixos preços de fretes é a falta de estímulos ou exigências para a renovação de veículos rodoviários de carga, reduzindo a segurança nas estradas e a produtividade do transporte.

Conforme CNT (2011), para superar esses problemas, o transportador rodoviário de cargas atua com a redução da manutenção do veículo, jornada excessiva de trabalho, carregamento acima do peso máximo, inadimplência fiscal, entre outros. Percebe-se que a localização da empresa é um fator importante para a redução dos custos.

Além disso, Reymão (2002) cita que o congestionamento, a segurança operacional e a base legal são algumas das principais dificuldades das transportadoras em relação às suas

atividades. O congestionamento está relacionado à frequência de paradas, velocidade de operação, tempo de viagem, densidade de tráfego e os custos operacionais do veículo. A segurança operacional às operações de carga e descarga nas ruas e calçadas, limitações do uso da área de recebimento e a falta de equipamento especializado para manipulação da carga. Por fim, a base legal relaciona-se às restrições para operação de carga e descarga em áreas urbanas, além das legislações específicas sobre estacionamentos, autorizações especiais de trânsito e fiscalização de pesos e dimensões dos veículos.

Como forma de se proteger das ineficiências do transporte, consequência de atrasos, acidentes e roubos de carga, as empresas brasileiras mantêm elevado custo com excesso de estoques. Um setor de transportes mais confiável e eficiente conseguiria liberar recursos da ordem de bilhões de reais que poderiam ser reinvestidos em atividades produtivas (CNT, 2011).

2.2. Decisão de Localização de Instalação

Os primeiros estudos sobre problemas de localização surgiram no século XX. O primeiro modelo de localização industrial foi proposto por Alfred Weber. Seu estudo considerou planos cartesianos na modelagem do problema e dominou por muitos anos a literatura (SELLITO *et al.*, 2015; PINEDO e ABREU, 2011).

Saber onde melhor localizar uma instalação envolve uma questão estratégica de longo prazo. O seu investimento econômico pode influenciar em todas as demais decisões da cadeia de suprimentos de uma empresa, ou seja, a decisão não se torna apenas uma questão econômica, mas também de sobrevivência da empresa (PAMPLONA *et al.*, 2014).

A escolha por uma localização para as instalações pode envolver variados fatores, como custos de transporte; impostos e incentivos; potencial de mercado; qualidade de vida; acesso à infraestrutura de transporte; infraestrutura local de serviços; custo de espaço e disponibilidade para expansão (FERREIRA *et al.*, 2013; CORRÊA e CORRÊA, 2005).

Apesar de a seleção do local ser influenciada por fatores qualitativos e oportunos, um estudo baseado em métodos quantitativos, tais como custos e distância, pode dar uma direção mais assertiva e útil para que diminua a probabilidade de erros (FITZSIMMONS e

FITZSIMMONS, 2004 *apud* SELLITTO *et al.*, 2015).

Ballou (2006) salienta que as dificuldades na busca por localizações estratégicas das instalações, a partir de um conjunto de locais possíveis, deixaram de ser envolvidas apenas através de métodos Heurísticos e passaram a ter importância quantitativa. Desse modo, a finalidade é obter uma solução que melhore o relacionamento com os clientes através da qualidade e minimize os custos de instalação e transporte.

2.3. Método do Centro de Gravidade

Segundo Bowersox e Closs (2001), uma alternativa para buscar a melhor localização geográfica é através do método Centro de Gravidade, também conhecido como método Centroide. Este centro pode ser relacionado a vários tipos de taxas, como peso, volume e distância para selecionar a alternativa de menor custo.

Hoover (1957 *apud* Ballou, 2006), mostrou que as taxas de transporte decrescem com o aumento das distâncias. Ao buscar a minimização das taxas de transporte, uma instalação localizada entre uma fonte de matérias-primas e um ponto de mercado obterá um custo mínimo de transporte em um destes dois pontos. A fórmula proposta para a minimização do custo total de transporte (MinTC) é a soma dos produtos entre o volume de carga transportada V_i , o custo unitário de transporte R_i e a distância percorrida d_i de acordo com a equação 1.

$$MinTC = \sum_i V_i R_i d_i \quad (\text{eq.1})$$

$$d_i = K \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (\text{eq.2})$$

O d_i da distância é estimado através da equação 2 e K representa o fator de escala para converter a unidade de um índice coordenado a uma medida mais comum de distância.

Segundo Ballou (2006), o processo para encontrar a localização ideal envolve sete etapas. A primeira etapa é determinar as coordenadas X_i , Y_i para cada ponto de fonte e de demanda, os volumes e os custos unitários de transporte para todo ponto do mercado local. Para a segunda etapa deve-se calcular a localização do baricentro local (\bar{X}, \bar{Y}) através das equações 3 e 4.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i}{\sum_i V_i R_i} \quad (\text{eq. 3})$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i}{\sum_i V_i R_i} \quad (\text{eq.4})$$

Para a terceira etapa, deve-se calcular o d_i conforme a equação 2 a partir do \bar{X} e \bar{Y} encontrados nas equações 3 e 4. A quarta etapa se inicia ao substituir d_i nas equações de \bar{X} e \bar{Y} , e reescrever as mesmas para as coordenadas \bar{X} e \bar{Y} revisadas. Para a quinta etapa, deve-se recalculer d_i baseado nas coordenadas \bar{X} e \bar{Y} revisadas. A sexta etapa consiste em repetir as etapas descritas no passo 4 e 5 até que as coordenadas \bar{X} e \bar{Y} não mudem por sucessivas interações. O método é finalizado ao calcular o custo total para a melhor localização (BALLOU, 2006).

3. Metodologia

Com base em Silva e Menezes (2005), este estudo é uma pesquisa aplicada, uma vez que trata da aplicação prática do método do Centro de Gravidade, onde os resultados são empregados na solução de um problema de localização. Quanto à abordagem é quantitativa, pois dados numéricos são utilizados para a aplicação do modelo.

O estudo de caso foi aplicado a uma empresa de transporte rodoviário de carga e fundamentado por pesquisa bibliográfica realizada aos livros dos autores Ballou (2006) e Bowersox e Closs (2001), além de periódicos que abordam sobre o assunto de localização geográfica por métodos quantitativos.

Os dados coletados para a pesquisa são referentes aos meses de março e abril de 2014. A partir do fornecimento de uma planilha geral com os dados das coletas e entregas da transportadora, identificaram-se os clientes e as cidades destinos das cargas, bem como a demanda média bimestral para cada uma das mesmas, relevantes para executar o método. Esses dados foram computados em planilhas eletrônicas, onde o estudo se desenvolveu.

Desse modo, a pesquisa corresponde à análise de oito clientes identificados, onde os pontos de entregas estão localizados em 114 cidades espalhadas pelo interior do Ceará e de outros

nove estados. Para identificar as coordenadas geográficas, utilizou-se o *software Google Maps*.

Após a decisão de parada do método, com a consequente localização ideal, comparou-se o resultado obtido com a localização atual da empresa. Analisou-se também o comportamento das taxas de transporte em relação à distância percorrida.

4. Estudo de Caso

4.1. Caracterização da Empresa

O ramo de atuação da empresa onde o estudo foi realizado é o transporte rodoviário de carga seca. Está localizada na Região Metropolitana de Fortaleza-CE, possui 16 anos de atividade e, hoje, atua em 114 cidades brasileiras, distribuídas em 10 estados, sendo seu maior mercado concentrado no estado do Ceará.

A empresa trabalha com várias modalidades de frete (frete peso, frete distância, frete valor e outros.) variando de acordo com o cliente e as características da carga, fechada ou fracionada. Entre seus principais clientes, encontram-se empresas do setor de cosméticos, alimentos e metalurgia.

O fluxo de processo operacional baseia-se resumidamente em buscar a mercadoria no cliente e distribuir nas localidades destinadas (pessoa física ou jurídica). Sua frota própria é composta por 45 veículos de diversos tipos e capacidades, como vans, caminhões $\frac{3}{4}$; Tocos; Truck's e Carretas.

4.2. Aplicação do Método

Inicialmente houve a identificação dos oito clientes e dos 114 destinatários e, em seguida, as suas localizações foram plotadas no mapa, a fim de obter as coordenadas geográficas. Conforme Gomes e Ribeiro (2004) afirmam que “todos os mercados devem ser marcados no plano cartesiano. Assim, cada mercado e cada possível localização do centro de distribuição podem ter sua localização estabelecida pelas coordenadas x e y”.

Considerou-se, a título de simplificação, o agrupamento no centro da cidade, dos diversos pontos de entrega inseridos num mesmo município. A figura 1 mostra os pontos plotados no

mapa do Brasil e do Ceará.

Figura 1 - Representação sistêmica da área de atuação



Fonte: Google Maps

Para determinar o volume (em kg) dos pontos, foram depurados os dados referentes ao peso transportado para a localidade, em cada um dos meses. Posteriormente, fez-se uma média bimestral que corresponde ao volume utilizado. Na tabela 1 segue uma exemplificação resumo com três dos oito clientes estudados e três das 114 cidades destino.

Tabela 1- Relação bimestral de volume (kg)

	Volume (kg)		
	Março	Abril	Média
Cliente 1	520.706,55	504.087,52	512.397,04
Cliente 2	933.608,47	766.842,96	850.225,72
Cliente 3	175.796,00	448.996,09	312.396,05
Aquiraz	1.216,26	0,00	608,13
Acarape	692,85	559,92	626,39
Alto santo	727,56	618,07	672,82

Fonte: Autores

Para a determinação da taxa de transporte (R), foram considerados os fretes para as cidades destinos, pois os custos de transporte estão inseridos na formulação do preço de modo proporcional ao mesmo. Desse modo, não houve prejuízo para a veracidade da localização final.

Pelos dados recolhidos, somente um cliente apresenta apenas uma modalidade de frete (frete distância), o qual é responsável pela carga a ser distribuída para o maior número de cidades destino, totalizando 94. Portanto, para estas, a taxa de transporte é real. Para determiná-la, utilizou-se a tabela frete fornecida pela empresa e a média geral do volume (kg) transportado para todas as entregas que se inserem nessas características. Posteriormente, dividiu-se o preço do frete pelo produto da média do volume e da distância real da empresa à cidade. A tabela 2 demonstra um exemplo desse cálculo.

Tabela 2 - Cálculo da taxa com base no frete distância

Destino	Distância da transportadora (km)	Média geral do volume (kg)	Preço do frete por entrega (R\$)	Taxa ($\frac{R\$}{kg \cdot km}$)
Caridade	108,00	8,311231899	12	0,013333333

Fonte: Autores

Para os demais clientes, os quais coexistem as demais modalidades de frete, considerou-se uma média destes para a determinação da taxa. Ela foi encontrada a partir da soma de todo o volume transportado para um determinado local durante os meses analisados, da soma total do valor do frete praticado pela empresa e da distância ao ponto, conforme a tabela 3 demonstra.

Tabela 3 - Cálculo da taxa com base na média dos fretes

Destino	Distância destino – transportadora (km)	Soma do Peso (kg)	Soma do Valor do Frete (R\$)	Taxa ($\frac{R\$}{kg \cdot km}$)
Barreiro (MG)	2.301,00	10.000,00	1.800,00	0,000078226

Fonte: Autores

Existem situações em que para uma mesma cidade pode haver mais de uma modalidade de frete, a depender de características da carga ou da negociação com o cliente. A tabela 4 demonstra os dois modos de calcular a taxa para uma mesma cidade, frete-distância e média dos demais tipos de frete, conforme explicado anteriormente. Nesses casos, manteve-se o volume de carga atribuído de acordo com o seu valor.

Tabela 4 - Relação Volume x Taxa

Cidade destino	Volume (V)	Taxa (R)
Fortaleza	3.026,44	0,125714286
Fortaleza	443.345,055	0,008081375

Fonte: Autores

Após a determinação de todos os dados necessários à solução do estudo, foi possível localizar o 1º ponto: -4,78841217; -38,7753182. A tabela 5 apresenta um resumo exemplificativo dos dados para a determinação desse ponto.

Tabela 5 - Cenário para determinação do primeiro ponto

	V (kg)	X	Y	R	V*R	V*R*X	V*R*Y
Cliente 1	512.397,04	-3,8693	-38,6153	0,00000109	0,561	-2,1715784	-21,67186
Cliente 4	5.828,00	-3,9036	-38,5026	0,00017315	1,009	-3,9394269	-38,85589
Cliente 5	4.083,00	-3,8439	-38,6202	0,00025904	1,058	-4,0657607	-40,84829
Amanari	13,33	-4,0256	-38,8701	0,02160392	0,2879	-1,1592963	-11,19383
Apuiarés	781,985	-3,9816	-39,3403	0,01082706	8,4666	-33,710988	-333,0794
Aquiraz	608,13	-3,8990	-38,3909	0,00918389	5,585	-21,776015	-214,4133

Fonte: Autores

Com esse resultado, utilizou-se o número $k = 111,319$ como fator de escala para converter uma unidade de coordenada a uma unidade de quilômetros e, posteriormente, encontram-se novas coordenadas. Como o método sugere, repetiu-se o procedimento até a conversão a um ponto em que continuar o cálculo não seja proveitoso.

A tabela 6 representa as coordenadas encontradas a partir da formulação do modelo proposto e encontram-se os custos totais referentes à localização da empresa atualmente e aos pontos encontrados nas rodadas. Observa-se que a diferença entre os custos tende a diminuir de

forma a convergir para o ponto 10.

Tabela 6 - Coordenadas das interações

Pontos	X	Y	Custo
1º ponto	-4,788412175	-38,77531820	R\$ 2.739.729,44
2º ponto	-4,333036784	-38,62345980	R\$ 2.358.396,72
3º ponto	-4,089591635	-38,55168490	R\$ 2.170.435,60
4º ponto	-3,970887607	-38,51052856	R\$ 2.083.973,24
5º ponto	-3,919799369	-38,48721037	R\$ 2.050.081,04
6º ponto	-3,90129418	-38,47278858	R\$ 2.038.499,05
7º ponto	-3,895996591	-38,46445991	R\$ 2.034.377,51
8º ponto	-3,894340822	-38,45998567	R\$ 2.032.538,19
9º ponto	-3,893573000	-38,45760185	R\$ 2.031.610,38
10º ponto	-3,893152822	-38,45630766	R\$ 2.031.117,07
Localização atual	-3,833417	-38,506509	R\$ 2.083.125,44

Fonte: Autores

4.3. Resultados Obtidos

Observou-se que o ponto calculado como ideal dista apenas 12,2 km da atual localidade. Esta proximidade é vantajosa, pois uma futura mudança não causaria tanto transtorno para os funcionários e nem uma alta despesa com a transferência da instalação. Vale salientar que o ponto proposto satisfaz uma das perspectivas dos empresários da transportadora, definida como não se afastar do seu principal cliente.

Na figura 2 é possível observar a rota entre dois pontos, onde a coordenada acima corresponde à localização atual da transportadora e a coordenada abaixo corresponde à nova região proposta para a empresa.

Figura 2 – Rota da atual localidade até o ponto calculado



Fonte: *Google Maps*

A comparação entre o ponto ideal e a localização atual resultou em uma redução de R\$ 53.008,37 com custos de transporte. Desta maneira, este valor poderia viabilizar o investimento com a mudança de posição, com retorno em poucos períodos.

Pôde-se confirmar ainda a sugestão de Hoover (1957) ao observar que as taxas de transporte sofrem influência com a distância. A Figura 3 mostra que à medida que aumenta a distância entre as cidades e o local da instalação, a taxa referente ao transporte diminui.

Figura 3 - Relação da distância real *versus* o valor da taxa de transporte.

- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2006.
- BARAD, M.; SAPIR, D. E. Flexibility in logistics systems – modeling and performance evaluation. **International Journal of Production Economics**, v.85, n°2, p.155-170, 2003.
- BORCHARDT, M.; SELLITTO, M.; PEREIRA, G. Serviços de pós-venda para produtos fabricados em base tecnológica. **Produção Online**, v.8, n° 1, p.1-25, 2008.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS D. J. **Logística Empresarial**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL: Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País. COPPEAD-UFRJ**, 2011.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. Edição compacta. São Paulo: Atlas, 2005.
- HOOVER, E. M. **Location Theory and the Shoe and Leather Industries**. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1957.
- FERREIRA, J. B.; RAMOS, N. M; NETO, O. J. O; SILVA, P. A. P. Estudo de localização para as usinas sucroalcooleiras da região do pontal do triângulo mineiro, MG. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de outubro de 2013.
- FITZSIMMONS, J.; FITZSIMMONS, M. **Administração de serviços**. Porto Alegre: Porto Alegre: Bookman, 2004.
- GOMES, C. F. S; RIBEIRO, P. C. C. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- HIJJAR, M. F. **Preços de frete rodoviário no Brasil**. Datatransp, 2012. Disponível em: <http://www.datatransp.com/noticias_mostra.php?idnoticia=181> Acesso em: 18 de abr, 2015.
- MILAN, G. S; CRACO, T.; TONI, D. D. T; COSTA, C. A. **Um estudo de caso sobre a transformação de uma transportadora tradicional em um operador logístico**. **Produção Online**, v.13, n.4, p. 1466-1492. 2013.
- PAMPLONA, D. A.; FORTES, J.L.C.; ALVES, C. J. P. Consolidação de instalações de manutenção aeronáutica pela utilização do Método do Centro de Gravidade. **Revista Scientia Plena**. Vol. 10, num. 09. 2014.
- PINEDO, K.; ABREU, Y. Determinação de pontos ótimos para localização e implantação de usinas de biodiesel no estado do Tocantins. **Produção Online**, v.11, n.4, p.1160-1181, 2011.
- REYMÃO, J. E. N. **Seleção do tipo de veículo para entregas em áreas urbanas: uma aplicação do método de análise hierárquica - AHP**. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Janeiro, RJ, Brasil, 2012.
- SELLITTO, M. A.; OLIVEIRA, L.; PEREIRA, G. M.; BORCHARDT, M. Localizações de bases de assistência técnica de um prestador de serviços de manutenção de bombas de combustível. **Produção Online**. vol .15, n.1, p. 2-20. 2015.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M.. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª ed. Rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.
- SIQUEIRA, P. H. L.; CALEGARIO, C. L. L. Determinantes da localização das plantas do setor sucroalcooleiro no estado de Goiás. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.



SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2ed. São Paulo: Atlas, 2002.