



GESTÃO DE OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS EM DECISÕES DE LOCALIZAÇÃO

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS IN LOCATION DECISIONS

Marcelo Alvaro da Silva Macedo

Doutor em Engenharia de Produção com Pós-Doutorado em
Controladoria e Contabilidade da FACC/UFRJ

Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências
Contábeis da FACC/UFRJ - Coordenador do Laboratório de
Estudos sobre Desempenho Organizacional (LEDO/FACC/UFRJ)

Kátia de Almeida

Doutoranda em Engenharia de Produção

Professora do DCAC/ICHS/UFRuralRJ

**Ana Carolina Thomaz de Almeida Monteiro
Barbosa**

Graduada em Administração

Egressa da UFRuralRJ

Data de submissão: 20 dez. 2008 . **Data de aprovação:**

11 nov. 2011 . **Sistema de avaliação:** Double blind review.

. Universidade FUMEC / FACE . Prof. Dr. Henrique Cordeiro

Martins . Prof. Dr. Cid Gonçalves Filho.

RESUMO

Este trabalho exploratório procura, por meio de um ensaio teórico e da utilização de um exemplo ilustrativo, apresentar e discutir uma modelagem alternativa para o problema de decisão de localização – a DEA. A partir de vários vetores de decisão, busca-se consolidar múltiplas perspectivas de solução do problema de localização, numa única dimensão de decisão, que possua características de todos os vetores considerados, sem a necessidade de arbitrariedades na escolha dos pesos das diversas variáveis. O objetivo deste artigo é, então, mostrar a aplicação dessa modelagem em problemas que envolvam a análise de desempenho de localidades, no atendimento das necessidades das organizações.

PALAVRAS-CHAVE

Localização. Decisão eficiente. DEA. Análise de desempenho. Abordagem multicriterial.

ABSTRACT

This exploratory work looking for, through a theoretical essay and use an illustrative example, to present and discuss an alternative model for the location decision problem – the DEA. From several decision vectors, it seeks to consolidate multiple perspectives for resolving the location problem in a single dimension of decision that has characteristics of all considered vectors, without the need for arbitrariness in the choice of weights of different variables. The goal of this paper is, then, show the application of this modeling in problems involving the performance analysis of localities in the care of the organizations needs.

KEYWORDS

Location. Efficient decision. DEA. Performance analysis. Multicriterial approach.

INTRODUÇÃO

Os estudos de localização buscam, de uma maneira geral, determinar as melhores alternativas, dentro de um conjunto geográfico possível, para a escolha do local de instalação de uma unidade. Dessa forma, diversos fatores locais são analisados, comparados e combinados, o que orienta o decisor empresarial nas decisões de localização.

De acordo com Porter (2000), as decisões relativas à seleção de alternativas de localização de um negócio podem ter um impacto substancial na habilidade de a empresa estabelecer e manter vantagem competitiva. Para Hunt e Koulamas (1989), num mundo globalizado e

altamente competitivo, é necessário que a empresa tenha vantagem competitiva, principalmente no que diz respeito ao acesso às fontes de matéria-prima e aos mercados potenciais. Sendo assim, uma decisão importante para o sucesso organizacional é a referente à localização de suas unidades.

Nesse contexto, este estudo exploratório procura discutir a questão da decisão de localização, modelando o problema com auxílio da Análise Envoltória de Dados (DEA). O objetivo é mostrar a aplicação dessa ferramenta em situações que envolvam a análise de desempenho de localidades, no atendimento das necessidades das organizações. Para tanto, utiliza-se um exemplo ilustrativo

dessa decisão no setor industrial, onde a metodologia proposta é aplicada e seus resultados analisados.

DECISÕES DE LOCALIZAÇÃO

Slack, Chamber, Harland *et al.* (2002) dizem que a decisão de localização reside em solucionar o problema de posicionamento geográfico de uma operação, relativamente aos recursos, a outras operações e aos clientes com os quais interage. A determinação da localização é certamente uma das escolhas que tem maior impacto nos resultados. Com a globalização, essa decisão ficou ainda mais difícil, frente ao enorme número de mercados fornecedores e consumidores com os quais as empresas interagem (SATO, 2002).

Em um dos primeiros trabalhos sobre localização, Applebaum (1966) diz que os estudos sobre localização devem ser capazes de prover uma análise sobre a viabilidade dos locais potenciais, que inclua a probabilidade de sucesso do negócio por longo tempo. Esses devem envolver a definição dos objetivos da empresa em relação à decisão de localização, a análise dos benefícios econômicos de cada localidade potencial e o estudo das características populacionais, acerca das condições ambientais e de concorrência, das atitudes dos consumidores, da capacidade de cobertura e penetração e das necessidades de investimento.

A localização e os investimentos em instalações e equipamentos, ressaltam Harkness e ReVelle (2003), estão entre os principais problemas estratégicos enfrentados pelos gestores. Mesmo para uma empresa com um único produto, essa decisão de investimento envolve a escolha

por investir nas atuais instalações ou abrir uma nova instalação. E cada potencial localização, possível para o investimento, apresenta vantagens e desvantagens, que devem ser incorporadas de alguma forma aos modelos de análise.

De acordo com Current, Ratick e ReVelle (1997), devido aos gastos de capital envolvidos, decisões de localização são frequentemente de longo prazo. Em decisões de localização de instalações como barragens, escolas, hospitais, fábricas, centros de distribuição e pontos do varejo, há considerável incerteza quanto aos parâmetros relevantes. Demanda (quantidade e localização), custos (instalação e transporte) e capacidades necessárias (disponibilidade) são exemplos de tais parâmetros.

Segundo Randhawa e West (1995), uma correta decisão sobre localização é, normalmente, resultante de projeções de longo prazo. Somente desse modo tem-se resultados voltados para significativas melhorias da produtividade, numa melhor distribuição e em novos negócios e mercados resultantes da sua localização. Por outro lado, uma decisão equivocada pode ser a causa de problemas resultantes da ineficiência na produtividade dos sistemas de transporte, a insuficiência de mão de obra qualificada e do aumento das despesas de capital para a construção e operação.

De acordo com Moreira (1998), o problema de localização é específico de cada negócio, onde fatores negativos e positivos, que sejam relevantes, não devem ser negligenciados. Esses fatores serão, provavelmente, ponderados de forma diferente em cada empresa, em função das peculiaridades de sua atividade.

No entanto, ressaltam Randhawa e West (1995), ReVelle e Eiselt (2005) e Guha (1999), os objetivos gerais da decisão de localização de unidades produtivas, centros de distribuição ou armazéns e pontos de venda permanecem os mesmos: a determinação do número de instalações a serem localizadas, o tamanho e a localização de cada estabelecimento, as responsabilidades de mercado atribuídas a cada instalação e o fluxo de material e de informação por meio do sistema, tudo ao menor custo possível de atendimento da demanda, ou seja, próximo aos clientes, fornecedores, insumos.

Jungthirapanich e Benjamin (1995) conduziram uma extensa revisão da literatura sobre localização de unidades industriais nos EUA. Os oito principais fatores de localização, observados pelos autores, foram os seguintes:

- Proximidade dos mercados consumidores e poder de compra dos consumidores locais;
- Modais de transporte disponíveis;
- Disponibilidade e sindicalização da mão de obra;
- Custo da área e da construção da planta;
- Disponibilidade de materiais e de serviços
- Capacidade e custo de geração de energia e disponibilidade de combustível e água;
- Nível de tributação e de subsídios governamentais;
- Considerações sobre questões sociais tais como: saúde, educação, custo de vida, moradia, segurança.

Fiuza, Natal, Dametto *et al.* (2003) enfatizam que os estudos de localização podem trazer, além da definição dos locais onde as instalações estarão situadas, uma série de contribuições para a definição de produtos, estratégias de produção e distribuição e políticas de atendimento a clientes. Isso porque esses podem apontar os limites da estrutura física, ou seja, o que pode ser realmente exequível, em termos de custo x benefício, no que diz respeito a, por exemplo, suprimento e distribuição.

Segundo Mazzarol e Choo (2003), o sucesso da decisão de localização de uma empresa comercial, de serviço ou industrial, depende do quão responsável foi o processo de análise, em considerar o impacto de cada localidade, em particular, no cumprimento dos objetivos organizacionais. Uma localização adequada evita uma série de efeitos adversos e pode criar benefícios para a competitividade da empresa, tais como:

- Aumento da capacidade produtiva;
- Lucros adicionais;
- Expansão do negócio;
- Melhores níveis de serviço ao cliente;
- Aumento da geração de riqueza para os acionistas;
- Redução dos custos.

Por fim, cabe ressaltar que, para lidar com essas variáveis, na tentativa de obter uma decisão ótima de localização e alcançar os benefícios listados, tem-se que considerar a utilização de modelos de apoio à decisão. Isto porque, além de complexa, essa problemática se apresenta, por conta de todas as

considerações anteriores, como relevante para a estratégia empresarial.

MODELOS DE APOIO A DECISÕES DE LOCALIZAÇÃO

Segundo Owen e Daskin (1998), existe uma vasta literatura no sentido de tentar criar modelos matemáticos eficientes para as decisões de localização. Infelizmente, a utilização de muitas variáveis e muitas funções gera modelos extremamente complexos, de difícil resolução. A maioria dos problemas exige a formulação de programação matemática.

De acordo com os autores, o problema mais básico é aquele em que não existem restrições de capacidade (*Uncapacitated Facility Location*). Neste, o objetivo é saber quais facilidades abrir, de forma a atender todos os clientes, minimizando os custos totais (de abertura da facilidade e de transporte). Porém, com algumas mudanças, em sua formulação, esse modelo básico pode incorporar restrições de capacidade em cada localização (*Capacitated Facility Location*), que são introduzidas como limite para o número de demandas que cada estabelecimento pode servir. Ao adicionar um conjunto de restrições à formulação do problema, é necessário que a soma das exigências atribuídas a cada instalação (demanda) não exceda a capacidade de entrada (oferta).

O foco inicial dos modelos de programação matemática, segundo Klimberg e Ratick (2008), para posicionamento de facilidades, foi baseado na disponibilidade espacial para cumprir a demanda. O problema clássico de transporte satisfaz a demanda de localização a um custo mínimo do transporte. O modelo *Uncapacitated*

Facility Location Problem (UPLP) escolhe, entre certo número de potenciais locais para a oferta de produtos e serviços, aqueles que minimizam os custos (de transporte e de abertura de instalações), considerando que cada localização tem capacidade ilimitada. Já o modelo *Capacitated Facility Location Problem* (CPLP) opera sob determinadas limitações de oferta, o que faz com que uma localização não preferível possa ser escolhida, em função de a melhor escolha não ser capaz de atender, sozinha, a demanda.

Em relação aos modelos utilizados, segundo Owen e Daskin (1998), a maioria das pesquisas considera decisões estáticas e problemas determinísticos, onde todos os inputs (como distâncias e tempos de viagem) são tomados como quantidades conhecidas e os outputs não são necessariamente conhecidos, mas projetados de maneira determinística. Essa é a formulação mais básica dos problemas de localização. Esses problemas fazem exame de quantidades constantes e conhecidas de inputs e derivam uma única solução pontual a ser executada naquele instante de tempo. A solução será escolhida de acordo com um de muitos critérios possíveis (ou de objetivos). As principais abordagens estáticas e determinísticas para os problemas de localização são:

- Problemas de Mediana: de acordo com Owen e Daskin (1998), a ideia é calcular o total ponderado entre o número de viagens e a distância entre o cliente e as instalações e a demanda associada ao serviço, de modo a minimizar o total ponderado entre o número de viagens e a distância entre

clientes e instalações. ReVelle (1986) apresenta uma versão modificada dessa modelagem, para incorporar a presença de empresas concorrentes. Nesta, o objetivo é maximizar o número de novos clientes captados ou maximizar a fatia de mercado do varejista. Essa modificação ilustra como o problema de mediana pode ser aplicado num contexto estratégico decisório.

- Problemas de Cobertura: para Owen e Daskim (1998), em alguns tipos de facilidades, selecionar localizações que minimizem a demanda x distância pode não ser o mais apropriado. Nesse caso, a localização dessas facilidades está baseada em um problema de cobertura, no qual a demanda dos clientes deve ser coberta (atendida) dentro de um de tempo específico. Nessa modelagem, o objetivo é minimizar o custo de instalação local, de tal forma que um determinado nível de cobertura seja obtido, buscando-se, então, uma solução que proporcione níveis de cobertura aceitáveis e seja, financeiramente, mais acessível.
- Problemas de Centro: segundo Owen e Daskim (1998), os problemas de localização de centros objetivam minimizar a maior distância a ser percorrida, ou seja, minimizam a distância até o ponto mais crítico a ser atendido pela facilidade e, assim, são denominados problemas de localização *minimax* (minimizar a distância máxima a ser percorrida).

Embora esses modelos possam fornecer, aos tomadores de decisão, uma visão geral sobre a seleção de localização, não são capazes de capturar, adequadamente, as incertezas inerentes à tomada de decisões estratégicas sobre o problema.

Conforme mencionado por Owen e Daskim (1998), a investigação na área da análise da sensibilidade foca o problema da incerteza dos inputs. Especificamente, a investigação tenta quantificar o efeito de uma mudança nos parâmetros dos inputs sobre a otimização dos valores dos outputs. Embora tais resultados ajudem a avaliar a consistência de uma decisão, depois que um modelo é resolvido, eles não fazem nada para incorporar incerteza em modelos dinâmicos. Esses modelos dinâmicos, de acordo com os autores, possuem um caráter estratégico, pois consideram as incertezas do futuro, por meio da consideração de uma decisão com maior horizonte temporal, aplicando-se programação dinâmica, programação multiobjetivo, programação *fuzzy*, dentre outras.

Uma alternativa, ainda segundo Owen e Daskim (1998), é a modelagem por meio da programação estocástica. A pesquisa sobre modelos estocásticos de problemas de localização pode ser dividida em duas principais abordagens: probabilística e análise de cenários. Os modelos probabilísticos são usados quando o recurso localizado não está disponível, sempre que necessário. Por exemplo, a ambulância localizada pode estar atendendo outro chamado quando está sendo necessária em mais de um local, ao mesmo tempo. Nesse caso, considera-se a possibilidade de uma

ocorrência desse tipo de evento, incluindo no modelo medidas de probabilidades. Já a análise de cenários é um método em que os decisores capturam incertezas, especificando uma série de possíveis futuros cenários. O objetivo é encontrar soluções que apresentam um bom desempenho, sob todos os cenários.

Numa análise do que foi dito até aqui, pode-se verificar que, comparando com os modelos básicos determinísticos e estáticos, os modelos estocásticos apresentam soluções, que expressam a complexidade e a incerteza, inerentes às soluções de localização, e as formulações dinâmicas transformam modelos instantâneos em decisões de maior horizonte temporal, na tentativa de capturar a complexidade dos problemas reais.

Além dos modelos genéricos abordados acima, pode-se verificar a existência de modelagens alternativas. Dentre estas, Sahin e Sural (2007) destacam os modelos hierárquicos, que podem ter como objetivo: (i) minimizar a distância total ponderada percorrida até as facilidades (modelos minissoma); ou (ii) maximizar a população coberta a menos de uma distância de serviço crítica, porém considerando produtos ou serviços que se relacionam hierarquicamente, como, por exemplo, num sistema de saúde onde existe a necessidade de coordenação dos serviços prestados em diferentes níveis (clínicas e hospitais), exigindo integração na organização espacial das instalações.

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Segundo Macedo (2004a), a metodologia DEA, que teve origem no trabalho de Farrel (1957), caracteriza-se como uma técnica não paramétrica, que

permite lidar com várias saídas (outputs) e entradas (inputs), com o objetivo de analisar, comparativamente, unidades independentes no que se refere ao seu desempenho, ou seja, à eficiência de cada unidade.

Klimberg e Ratick (2008) afirmam ser a DEA uma abordagem não paramétrica para medir o desempenho, e que produz uma única medida agregada de eficiência relativa entre unidades comparáveis (DMU's), por meio de uma função, que relaciona inputs e outputs de processos que operam em cada DMU em análise. Uma vantagem da DEA é que esses inputs e outputs podem permanecer em suas unidades físicas naturais, sem a necessidade de transformá-las em alguma medida em comum. A DEA define eficiência relativa como a razão entre a soma ponderada das saídas sobre a soma ponderada das entradas.

De acordo com Macedo (2006), um dos maiores benefícios do uso da DEA é o conjunto de unidades de referência que pode ser usado como *benchmarking*, na melhoria do desempenho das unidades menos eficientes. Esses *benchmarks* indicam o que precisa ser modificado nos inputs e outputs e como melhorá-los para transformar unidades ineficientes em eficientes. Ainda segundo o autor, a modelagem pode ser utilizada para análise de índices que tenham comportamentos distintos: uns do tipo quanto maior melhor (esses são tratados no modelo como outputs) e outros do tipo quanto menor melhor (esses são considerados inputs).

São várias as formulações dos modelos de DEA encontradas na literatura, conforme dizem Charnes, Cooper, Lewin *et al.* (1994). Entretanto, dois modelos

básicos DEA são, geralmente, usados nas aplicações. O primeiro modelo, chamado de CCR (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), também conhecido como *Constant Returns to Scale* (CRS), avalia a eficiência total, identifica as DMU's eficientes e ineficientes e determina a que distância da fronteira de eficiência estão as unidades ineficientes. O segundo, chamado de modelo BCC (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984), também conhecido como *Variable Returns to Scale* (VRS), utiliza uma formulação que permite a projeção de cada DMU ineficiente sobre a superfície de fronteira (envoltória), determinada pelas DMU's eficientes de tamanho compatível.

No caso das formulações, além das da escolha entre CRS e VRS, existe a necessidade de fixação da ótica de análise (orientação input ou orientação output). Lins e Meza (2000) dizem que a abordagem DEA baseada nas entradas (inputs) busca maximizar as quantidades de produtos, isto é, maximizar uma combinação linear das quantidades dos vários produtos da empresa. Já para uma abordagem baseada nas saídas (outputs), busca-se minimizar as quantidades de insumos, isto é, minimizar uma combinação linear das quantidades dos vários insumos da empresa.

Segundo Souza, Ferreira e Macedo (2004), os modelos utilizados,

desenvolvidos a partir da DEA, são capazes de conjugar, em um único índice, vários indicadores de natureza diferentes, para a análise do desempenho organizacional. Pode-se perceber, então, que a modelagem possui as características de trabalhar diversas variáveis, sem a necessidade de convertê-las para um padrão comum de unidade, e de apoiar o processo decisório com uma técnica de natureza multicritério e, portanto, mais capaz de modelar a complexidade do mundo real.

De acordo com Coelli, Cooper e Rhodes (1998), Charnes, Cooper e Rhodes (1978) propuseram um modelo que tinha uma orientação input e assumia retornos constantes de escala (CRS). Artigos subsequentes têm considerado várias alternativas, dentre elas as de Banker, Charnes e Cooper (1984), em que o modelo de retorno variável de escala (VRS) foi proposto.

Assim, ainda segundo Coelli, Cooper e Rhodes (1998), um caminho intuitivo para introduzir DEA é por meio de forma de razão. Para cada DMU, busca-se obter uma medida de razão de todos os outputs sobre todos os inputs ou, ainda, de todos os inputs sobre todos os outputs. Ou seja, a modelagem procura encontrar os pesos ótimos u_j e v_i para a resolução de um dos seguintes problemas de programação matemática:

$$Max E_c = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jc}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ic}} \quad \boxed{\text{Orientação input}}$$

$$S.a.: \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1, k = 1, 2, \dots, c, \dots, n$$

$$u_j \geq 0, \forall j,$$

$$v_i \geq 0, \forall i$$

$$Min Ec = \frac{\sum v_i x_{ic}}{\sum u_j y_{jc}} \quad \boxed{\text{Orientação output}}$$

$$S.a.: \frac{\sum v_i x_{ik}}{\sum u_j y_{jk}} \geq 1, k = 1, 2, \dots, c, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y$$

No modelo com orientação input, c é a unidade (DMU) que está sendo avaliada. O problema acima envolve a procura de valores para u e v , que são os pesos, de modo que se maximize a soma ponderada dos outputs (y_j), dividida pela soma ponderada dos inputs (x_i) da DMU em estudo, sujeita à restrição de que esse quociente seja menor ou igual a um, para todas as DMU's. Essa função está sujeita à restrição de que, quando o mesmo conjunto de coeficientes de entrada e saída (os vários v_i e u_j) for aplicado a todas as outras unidades, que estão sendo comparadas, nenhuma unidade excederá 100 % de eficiência ou uma razão de 1,00.

Já no modelo com orientação output, a eficiência é calculada pelo inverso da função objetivo, ou seja, eficiência = $1/E$.

Esse problema define a relação dos inputs sobre os outputs, em que c é o índice da unidade que está sendo avaliada. Temos, nesse problema, as mesmas variáveis de decisão u_j e v_i , porém, queremos minimizar a soma ponderada dos inputs (x_i) dividida pela soma ponderada dos outputs (y_j) da DMU em estudo, sujeita à restrição de que esse quociente seja maior ou igual a 1, para todas as DMU's.

De acordo com Macedo (2004b), esse é um problema fracionário (não linear) de programação matemática, de difícil solução, que pode ser facilmente resolvido, transformando a relação em uma função linear, simplesmente considerando o denominador da função objetivo igual a um. Os modelos DEA-CRS-I e DEA-CRS-O podem então ser apresentados da seguinte maneira:

$$Max E_c = \sum_{j=1}^s u_j y_{jc} \quad \boxed{\text{Orientação input}}$$

$$S.a.: \sum_{i=1}^m v_i x_{ic} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, k = 1, 2, \dots, c, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y.$$

$$Min Ec = \sum_{i=1}^m v_i x_{ic} \quad \boxed{\text{Orientação output}}$$

$$S.a.: \sum_{j=1}^s u_j y_{jc} = 1$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^n u_j y_{jk} \geq 0, k = 1, \dots, c, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0, \forall x, y$$

Esses modelos (DEA-CRS-I e DEA-CRS-O) são utilizados para a análise dos dados, para que haja, ao mesmo tempo, duas óticas: melhorias dos inputs e melhorias dos outputs. Tem-se, então, uma modelagem que procura obter maiores benefícios e menores sacrifícios considerados na análise.

Porém, para incrementar o poder de discriminação da modelagem DEA, quando da existência de muitas variáveis e poucas unidades sob análise, ou seja, muitas dimensões relevantes para o problema de localização, e poucas localidades alternativas, optou-se por utilizar um artifício: a fronteira invertida.

Ao contrário dos modelos DEA clássicos, que fornecem muitos empates nos índices 100% eficientes, o enfoque apresentado nesta pesquisa fornece uma visão de eficiência, em que as DMU's são colocadas frente a duas questões: ter bom desempenho naquilo em que é melhor; não ter desempenho ruim no critério em que for pior.

Para isso, é necessário introduzir o conceito de fronteira invertida que, segundo Novaes (2002), consiste em considerar os outputs como inputs e os inputs como outputs. Uma fronteira invertida pode ser utilizada para distinguir entre as diversas DMU's, em que, quanto maior o grau de pertinência à fronteira invertida, menor a eficiência da DMU.

O índice proposto para medir a eficiência permite resolver um dos principais problemas em DEA, qual seja, o de as DMU's poderem ser eficientes, atribuindo peso nulo a vários multiplicadores (LINS; MEZA, 2000). Com efeito, para uma DMU possuir alta eficiência, deve ter um elevado grau de pertinência em relação à fronteira otimista, e baixo grau em relação

à fronteira pessimista. Dessa forma, todas as variáveis são levadas em conta no índice final, sem a atribuição de nenhum peso subjetivo, a qualquer critério. Como consequência negativa dessa abordagem, não é possível propor melhorias para as unidades, individualmente, somente considerando o resultado da fronteira padrão.

Para obter um índice único de eficiência, devem-se englobar os dois graus de pertinência e obrigar que a variação do índice se dê entre 0 e 1. Esse índice é dado pela média entre o índice da fronteira padrão e o complemento do índice da fronteira invertida (em relação a um), já que esse último representa a ineficiência. Depois disso, esse índice é padronizado, dividindo-se cada resultado pelo maior valor encontrado.

ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO COM USO DE DEA

O trabalho de Thomas, Chan, Lehmkuhl *et al.* (2002) apresenta um modelo que incorpora DEA dentro de um mecanismo de um modelo de localização, em várias etapas, para instalações indesejáveis. Esse modelo é apresentado como apoio à decisão, por meio de um estudo de caso, em que existem quatro opções para localização de uma instalação de eliminação dos resíduos sólidos.

Embora existam muitas métricas alternativas, a distância é uma das mais úteis e simples para decidir onde localizar uma instalação indesejável. Ela é utilizada sob a ótica da metodologia máx.-mín., ou seja, buscando não só maximizar a distância entre a instalação indesejável e população, mas também minimizar o desconforto dos mais afetados.

Segundo os autores, DEA é um modelo prescritivo para definir uma fronteira eficiente, onde as entradas do fator sejam combinadas nas proporções corretas para conseguir as melhores saídas. A DEA é um procedimento operacional para calibrar os méritos de propostas alternativas, que tem vantagens sobre outros modelos conceituais encontrados na literatura. Quando as entradas e as saídas são interpretadas como custos e benefícios, podem ser usadas, encontrando-se a localização do mais eficiente.

O que falta aos modelos DEA, usados em problemas de localização, é uma dimensão espacial. A razão é que todos os atributos espaciais estão determinados como custos e benefícios do modelo. Nenhuma representação da rede está presente. Similarmente, os modelos clássicos de localização têm somente atributos espaciais e falta a figura do mérito, típica de uma situação de decisão com modelos DEA. No exame de um modelo de localização de instalações indesejáveis, é altamente desejável ter o objetivo máximo-mínimo como um dos diversos benefícios do modelo DEA. Neste artigo, então, é feita a análise custo-benefício de DEA, incluindo a dimensão espacial de um modelo de localização. Isso feito, a função de distância resultante dessa integração é, agora, verdadeiramente, um composto de medidas físicas da distância e do benefício.

É importante anotar que os modelos combinados de localização/DEA melhoraram o poder de análise dos tradicionais modelos DEA, somente para aquelas facilidades que dominaram as outras na localização. Ou seja, a aplicação do modelo de localização incorpora uma

programação inteira binária, para gerar a avaliação das localidades no modelo DEA.

O modelo utilizado na análise do problema resultou de uma combinação de modelagens de localização e DEA, buscando uma fronteira eficiente, que considerasse, de forma explícita, dois critérios que se pretende maximizar: para selecionar a localização com a máxima eficiência e, simultaneamente, para escolher a melhor localização.

Para essa integração, utilizou-se a seguinte estrutura de modelagem: primeiramente, executa-se o modelo de localização, para encontrar posição ótima da facilidade. É importante perceber que o resultado baseou-se somente no objetivo do modelo de localização. Em seguida, o resultado do modelo de localização é alimentado no modelo DEA, ajustando um gatilho binário 0-1 igual a 1, para a localização preferida, e zero para as outras. Se o escore de eficiência retornado for 1, a pontuação é maximizada. O resultado pretendido foi alcançado, ou seja, a opção de localização não é inferior em distância nem em outras métricas, pelo DEA.

Se, no entanto, a pontuação da eficiência não é igual a 1, deve-se retornar ao modelo de localização e executá-lo novamente. Dessa vez, exclui-se a localização ótima encontrada antes. Ele dará a segunda melhor localização da instalação, para o objetivo do modelo de localização. Esse resultado é, então, incorporado ao modelo DEA, da mesma forma. O processo de eliminação continua até que uma pontuação de 1, no modelo DEA, seja alcançada.

O trabalho de Klimberg e Ratick (2008) desenvolve e testa um modelo

de problemas de localização, que utiliza eficiências medidas pela DEA, para encontrar soluções ótimas e eficientes para localização de instalações. A ideia é mensurar o desempenho de uma mesma unidade, quando a mesma for instalada em localidades diferentes, levando em consideração questões tais como mercados locais de trabalho, infraestrutura disponível e outros recursos necessários, bem como a receptividade e a percepção das populações locais, entre outros.

Ao combinar problemas de DEA com problemas de localização, os dois tipos de "eficiência" são otimizados: eficiência espacial, como medida para encontrar o menor custo de localização, bem como a facilidade de eficácia em demanda atendida exigida, como medida pela eficiência resultantes da DEA.

Neste artigo, são usados os modelos *Uncapacitated Facility Location Problem* (UPLP) e *Capacitated Facility Location Problem* (CPLP), como base da modelagem localização. O modelo UPLP assume que cada estabelecimento tem capacidade ilimitada, e, como resultado, apenas uma facilidade é necessária para atender uma determinada demanda. O modelo CPLP opera sob determinadas limitações de atendimento à demanda.

A ideia central, neste artigo, assim como no de Thomas, Chan, Lehmkuhl *et al.*(2002), foi integrar os modelos de localização e DEA utilizados, com uma abordagem própria, que envolve programação multiobjetivo. Os autores procuraram uma solução que representasse uma interação entre a decisão de melhor localização (menor custo) e a eficiência obtida na DEA, para a empresa, em cada

uma das sete localizações analisadas (maior desempenho).

Dessa maneira, a modelagem utilizada foi capaz de fornecer, aos decisores, uma forma de avaliar as interações, entre os diferentes padrões de localização e os efeitos, que os atributos da localização escolhida podem gerar em termos de desempenho da empresa.

Por fim, o artigo de Tofallis (1996) trata do problema de discriminação da DEA, quando da análise de um problema com poucas alternativas e muitas variáveis, como é frequentemente observado no caso de decisões de localização. O problema analisado era escolher uma localização para uma usina de produção de energia elétrica, com seis possibilidades de localização, e considerando seis fatores (variáveis) de decisão, dentre as quais: potência gerada, custos anuais de manutenção, custos de construção, nível de segurança, dentre outras. Para a escolha, são desejáveis, por exemplo, altos valores de potência gerada e segurança, e baixos valores de custos.

Numa aplicação de um modelo básico de DEA, encontraram-se, como eficientes, todas as localidades sob análise, não servindo assim a modelagem para nenhum progresso no processo decisório. Isso porque a força da DEA está quando há alternativas dominadas (fora da fronteira de eficiência), ou seja, quando existem alternativas que podem ser imediatamente removidas de uma consideração mais adicional no processo de seleção.

Uma alternativa a esse procedimento básico seria uma aplicação *cross-section*, em que, por meio de uma avaliação

cruzada, os pesos dados às variáveis, por uma localidade, seriam usados para avaliar todas as unidades. Isso, feito simultaneamente, levaria a um conjunto de indicadores de eficiência para cada localidade. Porém, segundo o autor, isso não só não resolve realmente o problema, como cria outros de natureza distintas.

No modelo utilizado, com fins a aumentar a discriminação da modelagem DEA, o autor, em primeiro lugar, avalia em conjunto apenas as variáveis (inputs e outputs), que são vinculadas, e, em segundo lugar, avalia separadamente a eficiência relativa com que cada entrada está sendo aproveitada. Ao fazer isso, proporciona maior discriminação e também destaca os pontos fracos e fortes de cada alternativa.

É nesse contexto que se aplica a metodologia DEA neste artigo. Busca-se decidir sobre uma melhor localização para uma unidade operacional, utilizando uma série de vetores de desempenho monocriteriais em relação a um conjunto de alternativas possíveis. O presente estudo está na direção de todos os trabalhos acima, mas está mais relacionado com o estudo de Tofallis (1996), pois se utiliza de um reforço metodológico na modelagem DEA clássica, para melhorar a robustez na discriminação entre as localidades sob análise. Porém, a alternativa metodológica a ser empregada é o uso de uma fronteira invertida, que consegue, ao mesmo tempo, alcançar o objetivo de melhorar o poder discriminante, ferindo minimamente a lógica da modelagem DEA.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO EXEMPLO NUMÉRICO

Neste ponto do trabalho, será apresentada e discutida uma modelagem

para o problema de decisão de localização. Em outras palavras, serão considerados, em conjunto, aspectos dos problemas de localização e da Análise Envolvória de Dados, focados para a resolução dessa problemática.

O modelo proposto, que possui ao mesmo tempo orientações input e output, bem como retornos constantes de escala (CRS), procura mensurar a eficiência da decisão de localização, considerando, de maneira explícita, o mix de benefícios e sacrifícios necessários. As variáveis consideradas neste ensaio estão fundamentadas no que se observou, na revisão de literatura, como fatores indispensáveis para análise da problemática proposta.

A ideia é construir uma modelagem que mostre qual é o desempenho de cada localidade em relação aos aspectos considerados na análise. Deverá ser escolhida a localização que obtiver melhor performance. A seguir, apresentar-se-á um exemplo ilustrativo, que tem apenas a intenção de melhorar e dar praticidade à discussão ora desdobrada.

Cabe ressaltar que, para mostrar a aplicação da ferramenta proposta, utiliza-se um exemplo industrial, pois nesse setor tem-se a possibilidade de melhor explorar o problema, já que, normalmente, as variáveis são mais concretas. Além disso, nesse setor, por vezes, a decisão é mais complexa e mais multicriterial. Essa escolha não representa uma limitação da modelagem, pois a mesma pode ser aplicada à decisão de localização em qualquer setor econômico (serviço, varejo, agricultura, etc.).

Uma empresa precisa tomar uma decisão a respeito da localização de uma nova unidade operacional. Uma nova

fábrica precisa ser localizada, levando em consideração uma série de aspectos, julgados pela empresa como relevantes, nessa problemática:

- Custo de Transporte no Suprimento: considerada como sendo o input 01, essa variável mede o custo, expresso em R\$/tonelada/Km, do transporte da principal matéria-prima da empresa, fornecida por um fornecedor-parceiro, de um dado ponto de origem até cada localização. Nessa dimensão, a escolha deve ser feita de forma que o menor custo seja privilegiado.
- Custo de Transporte na Distribuição: considerada como sendo o input 02, essa variável mede o custo, expresso em R\$/tonelada/Km, do transporte do produto de cada localidade até o centro de distribuição (CD) da empresa. Nessa dimensão, a escolha deve ser feita de forma que o menor custo seja privilegiado.
- Nível Médio de Escolaridade dos Potenciais Colaboradores: considerada como sendo o output 01, essa variável mede o tempo médio de permanência, na escola, da população economicamente ativa de cada localidade, mensurada em anos de escolaridade. Quanto maior for essa escolaridade, melhor a mão de obra disponível para a empresa.
- Valor Presente dos Benefícios Governamentais: considerada como

sendo o output 02, essa variável mede (em milhares de reais) o impacto na geração de riqueza, para a empresa, dos benefícios concedidos pelos governos municipal, estadual e federal, para que a unidade seja instalada em cada uma das localidades alternativas. Esta é mensurada por meio do valor desses benefícios na data focal zero (data atual). Quanto maior esse benefício, maior será a inclinação da empresa pela localidade.

- Índice de Infraestrutura: considerada como sendo o output 03, essa variável representa uma nota, dada por especialistas, em relação à energia e água disponíveis e acessibilidade aos modais de transporte em cada localidade. Quanto maior for essa nota, melhor será o atendimento da localidade em relação a esses fatores.

A partir dessas variáveis, a empresa pretende analisar as 10 localidades previamente selecionadas, e escolher em qual delas a unidade deve ser implantada. Como essa ferramenta representa um parâmetro de decisão, a empresa espera conseguir, com sua aplicação, melhorar sua capacidade de discriminar as alternativas apresentadas, no que tange ao desempenho das mesmas em relação às variáveis de decisão. A TAB. 1 apresenta os dados iniciais a respeito dos valores de cada variável, em cada localidade.

TABELA 1 – Dados das Localidades Alternativas

DMUs	Input 01 (R\$/tonelada/Km)	Input 02 (R\$/tonelada/Km)	Output 01 (anos)	Output 02 (milhares de R\$)	Output 03 (pontos)
DMU_1	580	1480	5,5	5000	6,5
DMU_2	550	1370	4,5	5500	4,0
DMU_3	470	1380	6,5	7000	7,5
DMU_4	560	1400	5,0	6200	4,0
DMU_5	810	1445	4,5	6000	7,5
DMU_6	540	1450	4,0	7500	4,0
DMU_7	650	1360	6,0	6800	5,0
DMU_8	490	1260	3,0	7300	5,0
DMU_9	700	1510	2,5	7200	3,0
DMU_10	680	1250	4,0	5400	3,0

Pode-se perceber que, em cada variável, uma localidade (DMU) diferente tem um melhor desempenho. Por exemplo, em relação ao input 01 (custo de transporte no abastecimento), a localidade DMU_3 tem melhor desempenho (menor custo). Já em relação ao input 02 (custo de transporte na distribuição), a localidade DMU_10 tem o melhor desempenho (menor custo). No output 01 (escolaridade), a localidade DMU_3 tem a maior nota, enquanto no output 02 (incentivos governamentais), a localidade DMU_6 tem maior desempenho (maior valor). Por último, o output 03 apresenta as localidades DMU_3 e DMU_5 empatadas como as melhores.

Ao levar em conta cada um desses fatores, isoladamente, tem-se um conjunto de 5 decisões diferentes. Para

consolidá-las, em um único parâmetro de decisão, podem ser utilizados métodos menos robustos, que criem uma nota final, considerando, por exemplo, a posição de cada localidade em relação a cada variável. Porém, pode-se utilizar uma metodologia como DEA, em que um único indicador de performance, que considera explicitamente todos os vetores de desempenho apresentados, é calculado e cada localidade pode ser classificada em função dele. A TAB. 2 mostra a eficiência de cada localidade, quando consideradas todas as variáveis de análise, calculadas com o apoio do software de DEA denominado SIAD (Sistema Integrado de Apoio a Decisão), apresentado por Meza, Biondi, Soares de Mello *et al.* (2003):

TABELA 2 – Indicador de Desempenho de cada Localidade

Eficiência							
DMU's	Padrão	Invertida	Total	DMU's	Padrão	Invertida	Total
DMU_1	80,81%	100,00%	63,02%	DMU_6	93,23%	86,03%	83,60%
DMU_2	77,04%	100,00%	60,08%	DMU_7	97,48%	80,76%	91,02%
DMU_3	100,00%	71,77%	100,00%	DMU_8	100,00%	79,53%	93,95%
DMU_4	84,74%	93,82%	70,90%	DMU_9	82,30%	100,00%	64,18%
DMU_5	95,50%	100,00%	74,48%	DMU_10	81,32%	100,00%	63,41%

Pode-se perceber que apenas a localidade DMU_3 tem desempenho de 100 %, ou seja, é considerada eficiente no modelo integrado (fronteiras padrão e invertida), em relação aos fatores analisados. Essa deveria ser a localidade preferida pela empresa. Cabe ressaltar que a modelagem utilizada, com a implementação da fronteira invertida, aumentou o poder de discriminação da DEA. Isso fez com que as localidades DMU_3 e DMU_8 não ficassem empatadas, como no caso da fronteira padrão. Percebe-se que a DMU_3 ficou um pouco mais longe da fronteira invertida, o que fez com que o índice ponderado da DMU_8 fosse um pouco menor.

Além disso, uma análise complementar pode ser feita e ajudar a empresa a

analisar a ineficiência de cada localidade. Ou seja, se a empresa possui alguma preferência declarada, mas não conseguiu transformar isso em uma variável a ser considerada na análise, a ferramenta mostra como cada localidade precisa melhorar para ser eficiente. Ou ainda: se, por alguma questão subjetiva, a escolha não for pela decisão ótima, a modelagem apresenta o quanto a localidade preferível se distancia da decisão eficiente. Em síntese, os valores apresentados na TAB. 3 mostram os inputs e outputs ideais de cada localidade, que são calculados utilizando o modelo com orientação input, para encontrar os valores ideais dos inputs, e o modelo com orientação output, para os valores ideais dos outputs, ambos considerando a fronteira padrão DEA-CRS:

TABELA 3 – Valores Ideais de cada Variável em cada Localidade

	DMU 01	DMU 02	DMU 03	DMU 04	DMU 05
Input 01	407	369	470	416	470
Input 02	1196	1056	1380	1186	1380
Output 01	7,0	5,9	6,5	5,9	6,8
Output 02	7508	7139	7000	7317	7329
Output 03	8,1	7,1	7,5	7,2	7,9
	DMU 06	DMU 07	DMU 08	DMU 09	DMU 10
Input 01	503	457	490	483	363
Input 02	1338	1326	1260	1243	1016
Output 01	4,3	6,2	3,0	3,6	5,0
Output 02	8045	6976	7300	8749	6641
Output 03	6,3	7,3	5,0	6,0	6,2

Pode-se perceber que cada localidade, que possui desempenho menor que 100 % na fronteira padrão, tem a necessidade de melhorar sua performance em relação a cada variável. Os valores apresentados no quadro anterior mostram os ideais em cada localidade. Esta análise pode servir de referência numa negociação, em relação a variáveis que possam ser melhoradas a curto/médio prazo. Por exemplo, a empresa poderia conseguir apoio do governo local, para melhorar a escolaridade ou para subsidiar o transporte de abastecimento ou distribuição, dentre outros. Pode-se perceber, também, que as localidades que possuem maiores indicadores de eficiência precisam de menores mudanças, ou seja, quanto menor a ineficiência, menor a necessidade de melhorias. Na TAB. 3 percebe-se, ainda, que as localidades com maiores índices de eficiência (03, 05, 06, 07 e 08) são aqueles que necessitam, em média, de menores níveis de mudança em seus inputs e outputs. Já aquelas com menor desempenho (01, 02, 04, 09 e 10)

precisam de grandes transformações em seus indicadores.

Procedeu-se, ainda, a mais duas análises sobre os resultados de cada localidade, em relação às variáveis de output e input. A primeira diz respeito a uma análise da necessidade média de melhoria nas variáveis. Para isso, observou-se o quanto cada variável output e input precisaria melhorar, em cada DMU não eficiente, de modo a torná-la eficiente. A segunda é relativa aos pesos atribuídos aos vetores de desempenho, para saber, com base em pesos iguais a zero, as variáveis que estavam sendo “desprezadas” na análise de desempenho. Em linhas gerais, quando uma variável tem peso (u ou v) igual a zero, isto representa que essas variáveis são, naturalmente, problemáticas na obtenção dos índices de eficiência. Como a modelagem procura os melhores índices de desempenho, dadas as características de inputs e outputs, para cada DMU, esta atribui zero a toda variável que possa atrapalhar o objetivo de maximizar a eficiência.

Dessas duas análises, foi possível identificar quais eram as variáveis problemáticas, ou seja, as que mais apareciam com peso zero e as que mais necessitavam de melhorias para chegar ao valor de referência. Ambas as análises apontaram para a mesma variável: infraestrutura. Já o custo de transporte na distribuição se apresenta como a melhor variável nas localidades analisadas.

Em síntese, a infraestrutura é o fator que deve ser atacado pelas localidades, de maneira geral, para que essas possam melhorar sua capacidade de atrair investimentos. Já em relação ao custo de transporte na distribuição, observa-se que essa variável é pouco relevante para melhorias na competitividade futura das localidades. Esta análise persegue a lógica de que, ao imaginar-se um mercado onde cada localidade disputa as instalações que estão sendo decididas, poder-se-ia utilizar esses indicativos para focar esforços em fatores relevantes na melhoria da competitividade da localidade.

Um ponto a ser ressaltado é que a análise da variável custo de transporte na distribuição pode estar mostrando, na verdade, que a empresa pré-selecionou localidades que já estivessem o mais próximo possível de seus mercados consumidores potenciais, o que explicaria a baixa necessidade de melhoria nesse fator. Isso implica numa pré-disposição da empresa em considerar a proximidade dos centros de consumo mais importantes que as demais variáveis, mesmo que isso não seja explícito.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, procurou-se apresentar e discutir uma modelagem para o problema de decisão em localização de instalações.

Nesse sentido, desenvolveu-se uma ferramenta com capacidade de comparar a eficiência de múltiplas localidades, mediante a consideração explícita de fatores de custo (inputs) na busca por benefícios (outputs).

Essa modelagem foi construída com apoio na técnica denominada de Análise Envoltória de Dados (DEA), e pode ser utilizada para comparar um grupo de localidades, a fim de saber quais, dentre essas, possuem a melhor relação custo x benefício, em termos relativos.

A resposta mais importante dessa metodologia é a caracterização de uma medida de eficiência multicritério, que faz com que a decisão fique orientada por um único indicador, construído a partir de várias abordagens de desempenho diferentes (vetores de desempenho). Vale ressaltar que isso facilita em muito o processo decisório, pois, ao invés de considerar várias variáveis para concluir a respeito do que fazer, o decisor se utiliza apenas da medida de eficiência da DEA, que é capaz de sintetizar todas as características das localidades sob análise.

Com base no exposto, pode-se perceber que o modelo apresentado tem o poder de discriminar as localidades alternativas. Com isso, essa pode ser uma poderosa ferramenta para os decisores avaliarem problemas de localização, na medida em que representa uma proposta sistematizada de análise da relação custo x benefício de cada possibilidade apresentada. Esta análise ainda tem a vantagem de respeitar aspectos relativos, ou seja, cada alternativa é avaliada em função das outras apresentadas.

Além disso, percebe-se que os resultados desse estudo propõem

uma nova percepção sobre a decisão estratégica de localização, que não se encontra disponível aos gestores, por meio dos métodos tradicionais de análise. Ou seja, a partir de informações que não estariam disponíveis pelas técnicas convencionais, os resultados da Análise Envoltória de Dados podem proporcionar melhores condições de competitividade às empresas, principalmente quando interpretados e usados com os conhecimentos e julgamentos próprios da alta administração sobre suas necessidades de localização. Além disso, essa modelagem tem o efeito colateral de subsidiar as localidades com informações relevantes para a melhoria de seu *status*, com a finalidade de incrementar sua competitividade perante as oportunidades de geração de emprego e renda para a comunidade local.

Por fim, vale ressaltar que este trabalho tem o propósito de iniciar a discussão da

utilização de modelos DEA na análise de alternativas de localização, combinando múltiplos aspectos na busca de uma escolha consistentemente eficiente. A busca por discussões nesse tema não para por aqui. Em outras oportunidades, novas alternativas de análise serão propostas para auxiliar os decisores nesse tipo de processo de escolha.

Vale salientar que esta análise possui limitações importantes no que tange às variáveis utilizadas, além de representar apenas uma ilustração da aplicabilidade da modelagem apresentada e discutida. As conclusões são pertinentes e válidas apenas levando-se em consideração as dimensões sob análise. É importante que, numa próxima análise mais aprofundada, se considerem outras variáveis relevantes para as decisões de localização e se faça aplicação a um caso real. ➤

REFERÊNCIAS

APPLEBAUM, W. Guidelines for a Store-Location Strategy Study. **Journal of Marketing**, [S. l.], v. 30, p. 42-45, 1966.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, [S. l.], v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. **Data Envelopment Analysis**. 2. ed. Boston: KAP, 1994.

COELLI, T.; RAO, D. S. P.; BALTESE, G. E. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. Boston: KAP, 1998.

CURRENT, J.; RATICK, S.; REVELLE, C. Dynamic facility location when the total number of facilities is uncertain: A decision analysis approach. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 110, p. 597-609, 1997.

DOHSE, E. D.; MORRISON, K. R. Using transportation solutions for a facility location problem. **Computers and Industrial Engineering**, [S. l.], v. 31, n. 1-2, p. 63-66, 1996.

FIUZA, C.; NATAL, A.; DAMETTO, A.; CAMEIRA, R. F. Configuração de Redes Logísticas de Empresas em fase de Start Up: estudo de caso em empresa do ramo eletro-eletrônico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ABEPRO, 2003. 1 CD-ROM.

- GUHA, S. Greedy strikes back: improved facility location algorithms. **Journal of Algorithms**, [S. l.], v. 31, p. 228-248, 1999.
- HARKNESS, J.; REVELLE, C. Facility location with increasing production costs. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 145, p. 1-13, 2003.
- HUNT, J. R.; KOULAMAS, C. P. A Model for Evaluating Potential Facility Locations on a Global Basis. **Advanced Management Journal**, [S. l.], v. 54, n. 3, p. 19-23, 1989.
- JUNGTHIRAPANICH, C.; BENJAMIN, C. O. A Knowledge-Based Decision Support System for Locating a Manufacturing Facility. **IIE Transactions**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. 789-799, 1995.
- KLIMBERG, R. K.; RATICK, S. J. Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions. **Computers & Operations Research**, [S. l.], v. 35, p. 457-474, 2008.
- LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. **Análise Envoltória de Dados: Perspectivas de Integração no Ambiente do Apoio à Decisão**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.
- MACEDO, M. A. S. A Utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) na Consolidação de Medidas de Desempenho Organizacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 11., 2004, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: ABC, 2004a. 1 CD-ROM.
- MACEDO, M. A. S. Indicadores de desempenho: uma contribuição para o monitoramento estratégico por meio do uso de análise envoltória de dados (DEA). In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 7., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FGVSP, 2004b. 1 CD-ROM.
- MACEDO, M. A. S. Seleção de PSL's com Base no Desempenho Organizacional. **Revista Alcance**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 267-286, 2006.
- MAZZAROL, T.; CHOO, S. A Study of the Factors Influencing the Operating Location Decisions of Small Firms. **Property Management**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 190-208, 2003.
- MEZA, L. A.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; COELHO, P. H. G. SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão: uma implementação computacional de modelos de análise de envoltória de dados. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL DA MARINHA, 6., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CASNAV, 2003. 1 CD-ROM.
- MOREIRA, D. A. **Introdução à Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pioneira, 1998.
- OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 111, p. 423-447, 1998.
- PORTER, M. E. Location, Competition and Economic Development: local clusters in a global economy. **Economic Development Quarterly**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 15-34, 2000.
- RANDHAWA, S. U.; WEST, T. M. An integrated approach to facility location problems. **Computers and Industrial Engineering**, [S. l.], v. 29, n. 1-4, p. 261-265, 1995.
- REVELLE, C. The maximum capture or 'sphere of influence' location problem: Hotelling revisited on a network. **Journal of Regional Science**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 343-358, 1986.
- REVELLE, C.; EISELT, H. A. Location analysis: A synthesis and survey. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 165, p. 1-19, 2005.
- SAHIN, G.; SURAL, H. A review of hierarchical facility location models. **Computers & Operations Research**, [S. l.], v. 34, p. 2310-2331, 2007.
- SATO, F. R. L. Problemas e Métodos Decisórios de Localização de Empresas. **RAE-eletrônica**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2002. Disponível em: <<http://www.rae.com.br/electronica>>. Acesso em: 13 nov. 2006.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SOUZA, M. A. F.; FERREIRA, M. S.; MACEDO, M. A. S. Estratégias de Crescimento no Varejo Supermercado Brasileiro: uma análise do desempenho das seis maiores redes. In: ANGELO, C. F. de; SILVEIRA, J. A. G. da. **Varejo Competitivo**. São Paulo: Saint Paul, 2004. v. 1, Cap. 08, p. 199-224.
- THOMAS, P.; CHAN, Y.; LEHMKUHL, L.; NIXON, W. Obnoxious-facility location and data-envelopment analysis: A combined distance-based formulation. **European Journal of Operational Research**, [S. l.], v. 141, p. 495-514, 2002.
- TOFALLIS, C. Improving Discernment in DEA Using Profiling. **Omega**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 361-364, 1996.