

Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP)

José Roberto Xavier Alves^{a*}, João Murta Alves^b

^{a*}j.robertoalves@r7.com, ITA, Brasil

^bmurta@ita.br, ITA, Brasil

Resumo

Esse artigo apresenta uma análise de fatores relevantes para auxiliar a tomada de decisão na escolha de uma localidade geográfica ideal para a instalação de uma unidade fabril de uma empresa do segmento automotivo. O modelo estudado teve como motivação para o seu desenvolvimento a necessidade de a empresa expandir suas linhas de produção para uma outra localidade, em virtude da impossibilidade de expansão de suas instalações por limitações físicas de espaço, aliada a busca de vantagens competitivas como decorrência da mudança de local. Nesse contexto, a sistemática baseada na aplicação da metodologia de análise multicritério (AHP) foi aplicada, resultando na indicação da melhor alternativa de localidade para a instalação da nova fábrica, em função dos critérios previamente estabelecidos.

Palavras-chave

AHP. Análise multicritério. Análise decisória. Localização industrial.

1. Introdução

O crescimento da demanda no ambiente globalizado tem proporcionado às empresas que possuem vantagens competitivas nos indicadores de satisfação dos clientes, como, por exemplo, indicadores de qualidade dos produtos, entregas pontuais, e, sobretudo custos, a oportunidade de participar desse mercado global com a conquista de novos negócios, gerando com isso um aumento na atividade produtiva e em muitos casos a necessidade de expansão das instalações industriais ou a criação de uma nova unidade fabril.

Para cada tipo específico de empresa, a escolha certa da nova localidade, entre outros fatores, leva em consideração sua estratégia de longo prazo e análise de alternativas de custo/benefício, conjuntamente com as vantagens e desvantagens locais em relação aos aspectos de macro e microlocalização (Kon, 1999).

A decisão sobre a localização deve considerar, sempre que aplicável, as múltiplas instalações da empresa, múltiplos produtos, as múltiplas fontes de insumos, os múltiplos clientes, além de aspectos

econômicos, sociais e políticos, estabelecendo uma equação de alta complexidade e importância. A localização ideal é aquela que gera maiores benefícios à empresa, como a redução dos custos envolvidos na operação e negócio e a maximização do nível de serviços oferecidos a seus clientes.

Segundo Sfredo et al. (2006), o acerto na determinação do local ideal para a instalação de uma empresa é um fator de significativa relevância para o êxito organizacional, gerando a maior quantidade possível de benefícios com o mínimo uso de recursos. Para que isso ocorra, é necessário que se faça uma análise criteriosa nos principais fatores de influência em seus processos empresariais, como, por exemplo, a localização dos clientes e fornecedores e a disponibilidade de mão de obra. Todavia, a importância desses fatores varia em função do segmento de atuação da empresa.

Para Laugeni & Martins (2005), um requisito para fins de comparação entre alternativas somente deve ser considerado como fator importante no processo de decisão para a localização de um empreendimento, se:

- 1) Dependendo da localização, ou seja, o fator somente deve ser considerado se for relevante para a empresa e não existir nas demais alternativas comparadas;
- 2) Ser importante para os objetivos da empresa, como os fatores de pessoal, e entre eles a disponibilidade de mão de obra compatível com as necessidades da empresa. De mesma importância são a localização dos mercados consumidores e fornecedores de insumos, qualidade da rede de transportes e as facilidades oferecidas, como isenção de impostos e a oferta de serviços específicos existente no local, como água tratada, energia elétrica, estação coletiva para tratamento de esgotos industriais, linhas digitais de telecomunicação, escolas técnicas especializadas, hospitais e o comportamento sindical. Outros fatores que devem ser considerados são: a qualidade de vida, aspectos culturais da região, clima, proximidade de empresas da mesma indústria, custo do terreno e da construção, os regulamentos ambientais e o comportamento da comunidade.

Kengpol & O'Brien (2001) relatam que comumente executivos tomadores de decisão em uma organização sentem dificuldades para aprovar investimentos por falta de uma justificativa técnica convincente. Para esses autores, as técnicas usadas para auxiliar a tomada de decisão devem identificar as alternativas, avaliar as opções e serem capazes de apontar a melhor entre elas. Complementarmente, Lachtermacher (2009) afirma que frequentemente líderes tomadores de decisão se deparam com situações nas quais uma decisão deve ser tomada entre uma série de alternativas conflitantes e concorrentes. Esse autor sugere duas opções básicas:

- 1) Usar a intuição gerencial; e
- 2) Realizar um processo de modelagem da situação, simulando os mais diversos cenários, de maneira a estudar mais profundamente o problema.

A segunda opção trata o processo de tomada de decisão de forma racional, ao analisar detalhadamente todas as alternativas e suas consequências, assim elimina ou reduz o grau de subjetividade do processo, ampliando a probabilidade de acerto na escolha da alternativa.

Nesse contexto, este trabalho tem o objetivo de avaliar fatores quantitativos e qualitativos relevantes que influenciam na tomada de decisão na escolha de uma localidade geográfica para a instalação de uma unidade de produção de uma empresa do setor automotivo, através da aplicação de um modelo estruturado de análise múltiplos critérios.

A metodologia aplicada baseia-se no modelo estruturado denominado método de análise hierárquica (do original em inglês *AHP – Analytic Hierarchy Process*), o qual, segundo Iañez & Cunha (2006) e De Carli et al. (2010), vem sendo amplamente aplicado na solução de problemas que envolvem a tomada

de decisão com múltiplos critérios ou de múltiplos objetivos, sendo ambas as nomenclaturas usadas para a mesma finalidade. Para Tortorella & Fogliatto (2008), o AHP é uma das ferramentas de apoio ao processo decisório de múltiplos critérios com maior número de aplicações práticas reportadas na literatura e cujo âmbito de aplicação abrange as áreas de engenharia, da educação, da indústria, médica, agrícola, do setor governamental etc.

A escolha do AHP para utilização neste trabalho deve-se, essencialmente, ao fato de ser um método para tomada de decisão com múltiplos critérios. O problema de decisão na escolha de uma localidade geográfica para a instalação de uma unidade fabril considera a avaliação de seis potenciais localidades e cinco atributos em cada uma, portanto trata-se de um caso de decisão por análise multicritério. Embora outros métodos científicos sejam também eficientes e passíveis de aplicação, não fazem parte do escopo deste trabalho.

O tipo de pesquisa adotada neste trabalho é de natureza aplicada, pois gera conhecimento para aplicação prática, e dirigido à solução de problemas específicos. Quanto à abordagem, é uma pesquisa qualitativa, onde os dados são analisados intuitivamente, sendo o processo e seu significado o foco principal da abordagem. Quanto aos seus objetivos, é uma pesquisa exploratória, pois visa proporcionar maior conhecimento do problema através de pesquisas bibliográficas. Quanto aos procedimentos técnicos adotados, é uma pesquisa bibliográfica, pois é elaborada a partir de material já publicado em livros, artigos e periódicos e finalizada com um estudo de caso para a validação do método aplicado.

Este trabalho está estruturado em quatro seções, a seção 2 descreve as considerações da localização industrial e a base teórica do método de análise hierárquica, com seu histórico, objetivos, benefícios e os princípios do pensamento analítico. A seção 3 apresenta a aplicação do método em uma empresa da indústria automotiva e a análise dos resultados obtidos. Finalmente, na seção 4 são apresentadas as conclusões sobre o caso estudado.

2. Revisão bibliográfica

Esta seção apresenta um referencial teórico, mostrando os fatores que exercem influência na escolha de um local para a instalação de uma empresa industrial e o método AHP, usado como apoio à tomada de decisão na avaliação de múltiplas alternativas e na indicação da melhor entre elas em ordem de prioridade.

2.1. *Localização industrial*

A necessidade de definição de uma localidade ou nova localidade para instalação de um empreendimento pode ser decorrente de vários motivos, como, por exemplo: (i) criação de uma nova empresa, tratando-se de um novo negócio, por um empreendedor; (ii) ampliação da área de atuação de uma empresa já existente com uma nova instalação, quando não é possível expandir as instalações atuais; (iii) mudança do local de instalação atual, com o fechamento da instalação existente e reabertura em um outro local, por razões diversas, entre elas o esgotamento de recursos básicos, busca de uma proximidade maior com seus clientes e fornecedores, incentivos fiscais oferecidos em outra praça, redução de custos operacionais etc. (Slack et al., 2009).

Determinar o local para uma instalação significa encontrar um local ideal para instalar uma base operacional para fabricar produtos ou prestar serviços, de modo a obter uma boa administração com vantagens competitivas sobre os concorrentes (Peinado & Graeml, 2007).

Segundo Corrêa & Corrêa (2006), a localização de uma operação afeta a competitividade de uma empresa em relação aos aspectos internos e externos. Para as empresas de manufatura, a localização impacta, entre outros, seus custos diretos (matéria-prima, mão de obra, energia, etc.), custos logísticos para obter insumos e de entrega de produtos a seus clientes. Portanto, a localização da operação exerce forte impacto na organização, sendo um fator crítico de sucesso importante em sua estratégia competitiva.

Muitos são os fatores que exercem influência sobre a escolha de um local para a instalação de uma empresa industrial. Peinado & Graeml (2007), Corrêa & Corrêa (2006) e Moreira (2008) destacam que os mais significativos são: disponibilidade de matéria-prima, energia elétrica, água, mão de obra, facilidades e incentivos fiscais, qualidade de vida, serviços essenciais e a proximidade dos mercados consumidores e de seus fornecedores. No entanto, para uma empresa comercial, os autores destacam a proximidade com o mercado consumidor e a localização dos concorrentes como os fatores mais relevantes. Esses fatores citados serão descritos a seguir:

a) Disponibilidade de matéria-prima

Vantagem de custos pode ser conseguida com a instalação de operações industriais próximas a sua base de fornecedores, é o caso para empresas que usam matérias-primas volumosas, perecíveis, caras ou mais difíceis de transportar que o produto final. Enquadram-se nesse caso fábricas de papel, enlatados de pesca e envasadoras de leite (Corrêa & Corrêa, 2006). Para Vanteddu et al. (2011),

além da vantagem de custos pela proximidade, possuir uma cadeia de fornecedores com rápida capacidade de resposta a variações na demanda é crucial para o sucesso da operação.

b) Energia elétrica

A garantia de disponibilidade de energia elétrica a preços competitivos é um fator de elevada importância para as empresas que demandam uma grande quantidade de energia elétrica em seus processos produtivos, como é o caso, por exemplo, da extração eletrolítica de alumínio (Peinado & Graeml, 2007).

c) Água

A disponibilidade desse recurso deve ser levada em consideração quando a empresa necessita de uma grande quantidade de água, tanto como matéria-prima, como para o funcionamento de seus processos produtivos. Refinarias de açúcar e álcool, indústrias de alimentos, bebidas, perfumaria e refrigerantes, são alguns exemplos de empresas que necessitam estar próximas de uma fonte segura de água (Peinado & Graeml, 2007).

d) Mão de obra

Em geral nas indústrias os gastos com mão de obra têm um peso significativo nos custos, logo, estabelecer suas operações em uma região com um grande contingente populacional é altamente favorável, pois quanto maior a oferta de mão de obra, menores são os salários pagos. Associado à quantidade, deve-se levar em consideração a qualificação da força de trabalho, sua disponibilidade medida pelo índice de desemprego e a estrutura educacional da região para a formação e aperfeiçoamento profissional, através da existência de escolas técnicas, universidades e centros de pesquisas (Moreira, 2008).

e) Facilidades e incentivos fiscais

A disputa dos estados e municípios em várias regiões do país para atrair para si novas instalações de empresas potencialmente geradoras de receitas e empregos tem feito com que prefeituras e estados doem terrenos, realizem obras de infraestrutura e benfeitorias nos arredores do local sede da futura empresa, quando existe o interesse local. Incentivos fiscais, como isenção por um determinado período dos tributos municipais (ISS, IPTU) e créditos do ICMS estadual, são benefícios importantes para serem considerados na escolha do local de instalação do empreendimento (Peinado & Graeml, 2007).

f) Qualidade de vida e serviços essenciais

Uma consideração importante para o local candidato às novas instalações é a infraestrutura oferecida aos habitantes da região. É um diferencial positivo para a manutenção do capital humano a existência de uma boa rede de ensino, segurança

pública, moradia, transporte, hospitais, áreas de lazer, estilo de vida, entre outros. Essas são condições básicas para o estabelecimento de um ambiente seguro e propenso ao desenvolvimento organizacional sem onerar os custos da empresa (Corrêa & Corrêa, 2006).

g) Proximidade dos mercados consumidores e fornecedores

A importância da proximidade da operação em relação aos mercados aos quais serve e suas fontes de suprimento está diretamente ligada aos custos de transporte e aumenta para produtos de alto valor agregado ou para grandes quantidades de negócio. Na indústria, essas situações ocorrem quando o transporte do produto é difícil e volumoso e, conseqüentemente, caro em relação ao transporte dos insumos. Nos serviços, as atividades se localizam próximas aos mercados a que servem, tanto quanto possível, onde existam facilidades de acesso, buscando, ao mesmo tempo, atingir uma grande parcela da população visada (Moreira, 2008).

h) Localização dos concorrentes

Para prestadores de serviços a proximidade em relação aos concorrentes pode proporcionar aos clientes uma maior facilidade na escolha dos serviços, preço, qualidade e atendimento entre as opções oferecidas pelo mercado. A proximidade também possibilita que a empresa fique atenta às inovações de seus concorrentes, para equiparar-se ou tornar-se superior e eles (Moreira, 2008).

A escolha da localização não é um processo padronizado, cada empresa precisa ponderar os critérios que considera relevante. Os fatores descritos (de a-h) possuem maior ou menor relevância em função do segmento de mercado de atuação.

Uma etapa chave no processo decisório para a seleção de uma localidade é a avaliação das alternativas potenciais disponíveis para a instalação fabril, combinadas com os fatores mais significativos e seus atributos qualitativos e/ou quantitativos.

Entre as metodologias de possível aplicação na seleção de localidades, pelas características do problema em estudo as mais indicadas são aquelas que possibilitam a avaliação multiobjetivos, pois permitem considerar simultaneamente múltiplos critérios com diferentes atributos. Nesse contexto, a sistemática baseada na aplicação da metodologia de análise multicritério (AHP) foi a escolhida como auxílio à resolução do problema.

2.2. Método de análise hierárquica (AHP)

Para Costa (2006), a análise multicritério busca a modelagem e solução de problemas com múltiplas opções, critérios e importância relativa distintas,

destacando-se por suas características inovadoras, sendo um instrumento poderoso e de uso crescente no âmbito da tomada de decisão por hierarquias.

O AHP é um método de apoio à tomada de decisão que avalia múltiplas alternativas e indica a melhor entre elas em ordem de prioridade, segundo os critérios predefinidos pelo tomador de decisão. Essa metodologia possibilita a formulação de problemas incorporando conhecimento e julgamentos de forma que as questões envolvidas sejam claramente articuladas, avaliadas, discutidas e priorizadas. Uma de suas vantagens é a possibilidade de modelar um problema com dados quantitativos e qualitativos, envolvendo também graus de certeza e incerteza (Saaty & Vargas, 2001).

Segundo Costa (2006) e Costa & Moll (1999), o AHP está baseado em três princípios do pensamento analítico, que sintetizam as etapas para a construção do modelo multicritério:

1º Princípio - Estruturação do problema em hierarquias

O problema deve ser estruturado em níveis hierárquicos, de modo que possibilite uma melhor avaliação e compreensão. Uma hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total que também facilita o processo de raciocínio humano.

Os elementos principais de uma hierarquia são demonstrados pela Figura 1, onde no topo da árvore hierárquica encontra-se o objetivo geral em estudo, seguido dos atributos e subatributos (ou critérios e subcritérios), conforme a complexidade do problema. Na base estão as alternativas em análise, sujeitas ao processo decisório.

Esse arranjo possibilita uma visualização gráfica do problema e orienta os especialistas sobre as comparações par a par, ou paritárias, que devem ser feitas para que se obtenham as prioridades de um subatributo em relação a outro. Saaty & Vargas (2001) explicam que atribuir preferência a um elemento envolve explicitar julgamentos referentes a questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade.

2º Princípio - Definição de prioridades e julgamentos

As prioridades de um critério sobre outro ou de uma alternativa sobre outra são estabelecidas através de comparações par a par fundamentadas na observação de um especialista, que determina a importância relativa entre eles.

Bandeira et al. (2010) demonstram a obtenção de prioridades de forma interativa através do consenso obtido em reuniões com uma equipe multidisciplinar

nas quais julgaram-se os critérios e subcritérios considerados significativos.

Saaty & Vargas (2001) comentam que através das comparações por pares as prioridades avaliadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade de domínio de uma alternativa sobre outra.

As comparações par a par são convertidas em valores numéricos em uma série de matrizes quadradas, usando uma escala fundamental de valores que representam a intensidade dos julgamentos comparativos, demonstrada na Tabela 1.

3º Princípio - Consistência lógica

Taylor (2010) explica que o AHP é baseado em comparações paritárias por tomadores de decisão que julgam preferências entre alternativas usando critérios diferentes. Ainda que os profissionais julgadores possuam conhecimento e experiência, podem ocorrer inconsistências principalmente quando existir um grande número de comparações a serem feitas no modelo. Portanto, é importante que haja uma forma de validar os julgamentos e assegurar que eles são consistentes, de modo que um conjunto de comparações paritárias seja consistente com um outro conjunto de comparações.

Segundo Saaty & Vargas (2001), a inconsistência é um fator inerente ao ser humano e por isso deve haver uma tolerância dentro de certos parâmetros para a sua aceitação e propõem o seguinte critério para o cálculo do Índice de Consistência (IC):

$$IC = |(\lambda_{\text{máx}} - n)| / (n-1) \quad (1)$$

onde (n) representa a ordem da matriz e $\lambda_{\text{máx}}$ o estimador de autovalor máximo de julgamentos paritários.

Uma fórmula para o cálculo do estimador de autovalor máximo é dada por:

$$\lambda_{\text{máx}} = T.w \quad (2)$$

onde (T) é o somatório das colunas das matrizes e (w) é o autovetor normalizado para $\sum v_i = 1$.

Segundo Saaty e Vargas (2001), a gravidade da ocorrência de inconsistência é reduzida com o aumento da ordem da matriz de julgamentos. Com objetivo de permitir a avaliação da inconsistência em função da ordem máxima da matriz de julgamento, Saaty & Vargas (2001) fazem uso da Razão de Consistência (RC). Onde o RC é obtido através da fórmula:

$$RC = IC/IR \quad (3)$$

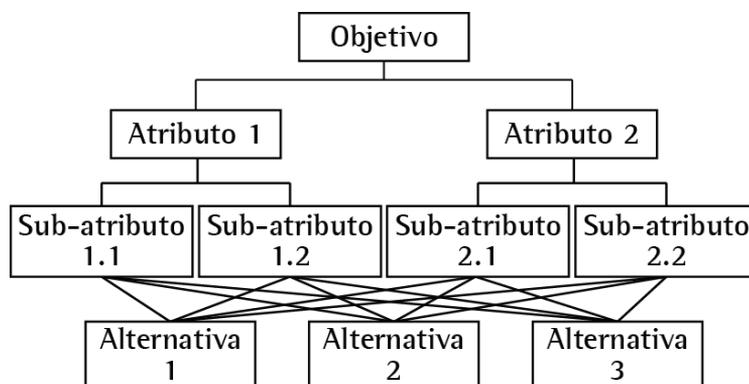


Figura 1. Estrutura hierárquica. Fonte: adaptado de Saaty & Vargas (2001).

Tabela 1. Escala fundamental para julgamentos comparativos.

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

onde IR é um índice randômico de consistência obtido para uma matriz recíproca, com elementos não negativos gerados de forma randômica. A Tabela 2 ilustra os resultados para IR em função da ordem da matriz randômica utilizada.

Os julgamentos da matriz de decisão são considerados consistentes se: $RC = 0$ para $n = 2$, $RC < 0,05$ para $n = 3$, $RC < 0,09$ para $n = 4$ e $RC \leq 0,10$ para $n > 4$. Caso contrário, existe alguma inconsistência nos julgamentos e o especialista deve ser solicitado a rever a sua opinião.

3. Aplicação do método decisório para auxiliar na seleção de uma localidade para instalação de uma fábrica

A metodologia aplicada para auxiliar a tomada de decisão de escolha de uma localidade para instalar uma fábrica de componentes automotivos é baseada nos conceitos do método de análise hierárquica (AHP), que é um método de auxílio na tomada de decisão entre múltiplas alternativas. Baseia-se em comparações múltiplas binárias de atributos quantitativos e qualitativos, podendo também envolver parâmetros comparativos de naturezas diferentes. Seu procedimento permite comparar múltiplas alternativas e mostrar em ordem de prioridade a mais indicada.

3.1. Desenvolvimento do estudo de caso

Um estudo de caso foi desenvolvido com a aplicação da metodologia em uma empresa do segmento automotivo que fornece componentes de alta tecnologia para montadoras de veículos e de motores a combustão interna. Essa empresa possui clientes nas regiões sul, sudeste do Brasil e no Mercosul e sua base de fornecedores está localizada 65% nas regiões sul e

sudeste e 35% na Ásia e leste da Europa. A empresa constituiu uma equipe multidisciplinar formada por especialistas nas áreas de operações, logística, relações trabalhistas, recursos humanos, jurídica e financeira para tratar do problema, a qual identificou seis potenciais localidades para implantar uma nova unidade fabril, tratadas aqui hipoteticamente como Cidade A, Cidade B, ..., Cidade F. Um rol de atributos e subatributos relevantes para serem considerados no processo decisório foi elaborado pela equipe de especialistas, tomando como referência a literatura citada na seção 2 deste artigo. Esses atributos e subatributos estão relacionados na Tabela 3.

Para proporcionar uma visão gráfica do caso, criou-se uma árvore hierárquica representada pela Figura 2, colocando-se no topo o objetivo da empresa, que é determinar a melhor localização geográfica para a instalação de sua nova fábrica, seguida pelos cinco critérios primários, mostrados no segundo nível da hierarquia, que contribuirão para a escolha da melhor alternativa, os quais são: custo logístico, custo da mão de obra, maturidade da localização, índice da força de trabalho e incentivos fiscais. Os critérios secundários, ou subatributos, não estão representados para efeitos de simplificação da figura. No último nível hierárquico, estão representadas as possíveis alternativas avaliadas, a saber: cidades de Cidade A a Cidade F.

O processo matemático e lógico do AHP estabeleceu preferências para os níveis hierárquicos, onde primeiramente foram determinadas as preferências de cada localidade para os atributos ou critério predefinidos, ou seja, foi aplicado um modelo matemático para determinar qual entre as seis cidades melhor atende o critério "custo logístico", e assim, sucessivamente, o processo se repetiu para os demais critérios. O passo seguinte foi a determinação das preferências para cada um dos cinco critérios

Tabela 2. Índices de consistência randômicos (IR).

Ordem da matriz (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

Tabela 3. Atributos e subatributos para o processo de localização de uma unidade fabril.

ATRIBUTOS	SUBATRIBUTOS
Custo do sistema logístico	Distância dos clientes Distância dos fornecedores
Custo da mão de obra	Custo da MO direta (valor hora, adicional noturno e adicional pago em horas extras)
Maturidade da localização	Nível educacional Tendência industrial em um horizonte de cinco anos (saturação, entrada de concorrentes, crescimento da região, disponibilidade de MO, escolas de formação profissional, infraestrutura)
Índice da força de trabalho	Índice de desemprego Índice da força de trabalho empregada na indústria
Incentivos fiscais	Desconto/ postergação de ICMS/ ISS, IPTU, taxas Cessão da terra

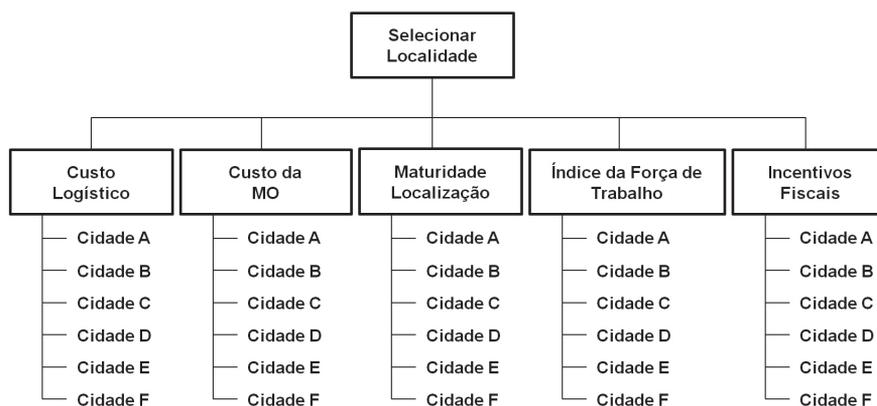


Figura 2. Representação hierárquica do problema em estudo.

considerados, ou seja, qual deles é o mais importante, o segundo mais importante, e assim por diante. E finalmente foram combinados esses dois conjuntos de preferências a fim de gerar matematicamente uma pontuação para cada localidade, sendo a maior pontuação a melhor.

A seguir, cada um dos passos citados será descrito em maiores detalhes.

3.1.1. Determinação da preferência para o custo logístico

A preferência foi determinada através de comparações paritárias, analisando-se par a par as alternativas e indicando-se a que melhor atende o critério. Nesse caso, como as distâncias são valores quantitativos, as Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 foram usadas como auxílio para determinar a ordem de preferência. A Tabela 4.1 mostra as distâncias relativas entre as cidades de A a F até os clientes de K a O e a Tabela 4.3 mostra as distâncias até os fornecedores de R a V.

As Tabelas 4.2 e 4.4 mostram as distâncias normalizadas entre a localização das cidades em relação aos clientes e fornecedores, valores obtidos pelo quociente entre os valores individuais das Tabelas 4.1 e 4.3 e a soma das respectivas colunas e a média das linhas representando a média das distâncias.

A Tabela 5 representa a média entre a distância média das cidades aos clientes e a distância média das cidades aos fornecedores (média das médias). Por serem esses valores uma representação matemática dos valores iniciais medidos em quilômetros, esses resultados representam proporcionalmente as grandezas iniciais de entrada, sendo então o valor maior (0,469) a localidade mais longe dos clientes e fornecedores e o menor valor (0,075) a localidade mais próxima.

A Tabela 6 mostra a relação de prioridades entre as localidades por julgamento par a par tomando

Tabela 4.1. Distância relativa dos clientes.

	DISTÂNCIA EM KM	CLIENTES				
		K	L	M	N	O
CIDADE	A	1.680	2.780	2.070	1.390	3.870
	B	170	1.350	670	160	2.460
	C	125	1.115	430	410	2.210
	D	400	695	25	710	1.800
	E	560	580	180	870	1.735
	F	40	1.110	430	280	2.225
SOMA		2.975	7.630	3.805	3.820	14.300

Tabela 4.2. Distância normalizada dos clientes.

	DISTÂNCIA NORMALIZADA	CLIENTES					Média
		K	L	M	N	O	
CIDADE	A	0,56	0,36	0,54	0,36	0,271	0,422
	B	0,06	0,18	0,18	0,04	0,172	0,125
	C	0,04	0,15	0,11	0,11	0,155	0,113
	D	0,13	0,09	0,01	0,19	0,126	0,109
	E	0,19	0,08	0,05	0,23	0,121	0,132
	F	0,01	0,15	0,11	0,07	0,156	0,100
SOMA		1	1	1	1	1	1

Tabela 4.3. Distância relativa dos fornecedores.

	DISTÂNCIA EM Km	FORNECEDORES				
		R	S	T	U	V
CIDADE	A	1.650	1.670	2.070	1.610	1.725
	B	250	255	660	205	310
	C	115	95	430	140	70
	D	410	530	25	490	540
	E	575	690	180	650	695
	F	60	150	430	70	170
SOMA		3.060	3.390	3.795	3.165	3.510

como referência as distâncias médias da Tabela 5 e em conformidade com a escala de preferências da Tabela 1 da seção 2. Interpretamos, por exemplo, que a Cidade E têm um nível de preferência fraca em relação à Cidade A e que a Cidade F têm um nível de preferência de igual para fraca em relação à Cidade E.

Tabela 4.4. Distância normalizada dos fornecedores.

	DISTÂNCIA NORMALIZADA	FORNECEDORES					Média
		R	S	T	U	V	
CIDADE	A	0,539	0,493	0,545	0,509	0,491	0,515
	B	0,082	0,075	0,174	0,065	0,088	0,097
	C	0,038	0,028	0,113	0,044	0,020	0,049
	D	0,134	0,156	0,007	0,155	0,154	0,121
	E	0,188	0,204	0,047	0,205	0,198	0,168
	F	0,020	0,044	0,113	0,022	0,048	0,050
SOMA		1	1	1	1	1	1

Tabela 5. Média das médias das distancias normalizadas.

	DISTÂNCIA NORMALIZADA	Médias das médias
CIDADE	A	0,469
	B	0,111
	C	0,081
	D	0,115
	E	0,150
	F	0,075
SOMA		1

Tabela 6. Comparação paritária do custo logístico.

CIDADE	CUSTO LOGÍSTICO					
	A	B	C	D	E	F
A	1,00	0,25	0,17	0,25	0,33	0,17
B	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	6,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00
D	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50
E	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50
F	6,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00
SOMA	24	5	6	6	6	4

Tabela 7. Comparação normalizada do custo logístico.

CIDADE	CUSTO LOGÍSTICO - NORMALIZADO						Média
	A	B	C	D	E	F	
A	0,04	0,05	0,03	0,04	0,06	0,04	0,0422
B	0,17	0,19	0,16	0,16	0,17	0,24	0,1818
C	0,25	0,19	0,16	0,16	0,09	0,24	0,1814
D	0,17	0,19	0,16	0,16	0,17	0,12	0,1618
E	0,13	0,19	0,32	0,16	0,17	0,12	0,1819
F	0,25	0,19	0,16	0,32	0,34	0,24	0,2509
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000

Então, para mantermos uma escala coerente, o nível de importância da Cidade F é forte para muito forte em relação à Cidade A, e assim analogamente para a interpretação das demais comparações. Adicionalmente, a comparação da localidade com ela mesma é sempre 1, que representa “mesma importância”. A Tabela 7 mostra a matriz de comparações normalizada e a média das linhas, onde quanto maior a média, melhor o nível de preferência. Portanto, para o atributo custo logístico a primeira preferência é a Cidade F e a última, a Cidade A.

3.1.2. Custo da mão de obra

O custo da mão de obra em cada uma das cidades foi conseguido através de pesquisas junto a empresas de recursos humanos na região de cada uma das cidades, levando em consideração a comparação de uma mesma função, valores apresentados na Tabela 8, em unidades monetárias por hora (reais por hora). Nesse caso, a preferência pode ser determinada por comparação direta, sendo que quanto menor o valor, melhor.

Para que seja possível no AHP fazer a comparação de vários critérios diferentes, as grandezas vetoriais precisam ser de mesma natureza, portanto, tomando-se como referência os custos de cada localidade em comparações par a par e aplicando-se a escala de preferências da Tabela 1 da seção 2 chegou-se à matriz de comparação paritária, cujos valores estão apresentados na Tabela 9. Em seguida, essa matriz foi normalizada, gerando a matriz apresentada na Tabela 10.

A Tabela 9 mostra a relação de prioridade de custo entre as localidades. Nela interpretamos, conforme a escala de preferências da Tabela 1 da seção 2, por exemplo, que a Cidade B tem um nível de preferência de igual para fraco em relação à Cidade A, e que a Cidade A tem um nível de preferência fraco em relação à Cidade E. Então, para mantermos uma escala coerente, o nível de importância da Cidade B é forte em relação à Cidade F, e assim sucessivamente, para a interpretação das demais comparações.

A Tabela 10 mostra a matriz de comparações normalizada e a média das linhas, nela, quanto maior a média, melhor o nível de preferência. Portanto, para o atributo custo da mão de obra, a primeira preferência é a Cidade B e a última, a Cidade F.

3.1.3. Maturidade da localização

O grau de desenvolvimento de uma cidade leva em consideração vários subatributos ou fatores e, em particular no caso estudado, a equipe de especialistas definiu que o nível educacional da população e a tendência de industrialização da cidade para os próximos cinco anos como os fatores mais importantes para serem considerados no critério, que foi denominado maturidade da localização.

A preferência foi determinada através de comparações paritárias, analisando-se par a par as alternativas e indicando-se a que melhor atende o critério.

Para a priorização das cidades em função do nível educacional, levou-se em consideração a quantidade relativa da população matriculada em escolas de nível fundamental, médio, técnico e superior, conforme

dados obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). As Tabelas 11 e 12 mostram para cada cidade a porcentagem da população matriculada conforme o nível de ensino.

A análise da tendência de industrialização das cidades teve por objetivo avaliar se a localidade ainda seguirá sendo atrativa nos próximos cinco anos e para tanto, a equipe de especialistas avaliou a saturação da região em relação ao crescimento e entrada de novos competidores, a taxa de crescimento da mão

de obra em relação à disponibilidade de escolas técnicas e a infraestrutura governamental (transporte público, saúde, segurança, redes de esgotos sanitários, energia elétrica, água potável, comunicação/ telefonia, moradia). Após estudar cada cidade, considerando as informações disponíveis nos sites do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011) e do Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2011), e particularmente cada município, os especialistas atribuíram valores de um a cinco para cada um dos quesitos, sendo o valor 1 o menos favorável e 5 o mais favorável. As Tabelas 13.1 e 13.2 apresentam os valores atribuídos e a normalização dos mesmos, respectivamente.

A Tabela 14 apresenta a média normalizada entre a média do nível de escolaridade de cada cidade e a média da tendência industrial para os próximos cinco anos (média das médias), sendo a melhor preferência indicada pelo maior valor.

A Tabela 15 mostra a relação de prioridades entre as localidades através de comparações par a par e da aplicação da escala de preferências da Tabela 1 da seção 2. A Tabela 16 mostra a matriz de comparações normalizada e a média das linhas, nela, quanto maior a média, melhor o nível de preferência. Portanto, para o atributo maturidade da localização, a primeira preferência são a Cidade A e a Cidade B e a última, a Cidade C.

3.1.4. Índice da força de trabalho

Nesse critério foram considerados dois fatores como sendo os mais relevantes na opinião dos especialistas. O índice de desemprego na região, que indica a disponibilidade de mão de obra e o índice da força de trabalho empregada na indústria, que indica quanto da força de trabalho tem perfil industrial.

Os dados analisados foram obtidos através de acesso aos sites do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011) e do Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2011). As Tabelas 17 e 18 mostram, para as cidades, os índices de desemprego e de mão

Tabela 8. Custo da mão de obra direta.

CUSTO TOTAL MO		
CIDADE	A	14,7
	B	12,4
	C	12,5
	D	18,1
	E	17,2
	F	22,9

Tabela 9. Comparação paritária do custo da MO.

CIDADE	CUSTO MO					
	A	B	C	D	E	F
A	1,00	0,50	0,50	2,00	2,00	4,00
B	2,00	1,00	1,00	3,00	3,00	5,00
C	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	5,00
D	0,50	0,33	0,50	1,00	0,50	2,00
E	0,50	0,33	0,50	2,00	1,00	2,00
F	0,25	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00
SOMA	6	3	4	11	9	19

Tabela 10. Comparação normalizada do custo da MO.

CUSTO MO - NORMALIZADA							
CIDADE	A	B	C	D	E	F	Média
A	0,16	0,15	0,14	0,19	0,22	0,21	0,1779
B	0,32	0,30	0,27	0,29	0,33	0,26	0,2950
C	0,32	0,30	0,27	0,19	0,22	0,26	0,2606
D	0,08	0,10	0,14	0,10	0,06	0,11	0,0949
E	0,08	0,10	0,14	0,19	0,11	0,11	0,1200
F	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,0516
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000

Tabela 11. Nível de escolaridade.

CIDADE	EDUCAÇÃO	NÍVEL DE ESCOLARIDADE			
		FUNDAMENTAL (%)	MÉDIO (%)	TÉCNICO (%)	SUPERIOR (%)
CIDADE	A	14,9	4,0	0,5	5,2
	B	11,9	3,3	0,8	6,0
	C	14,3	4,3	0,6	0,0
	D	13,1	4,1	0,4	11,3
	E	13,4	4,1	0,8	3,4
	F	17,0	4,5	0,2	2,7
	SOMA	85	24	3	29

Tabela 12. Nível de escolaridade normalizada.

	EDUCAÇÃO		NÍVEL DE ESCOLARIDADE			Média
	NORMALIZADA	FUNDAMENTAL	MÉDIO	TÉCNICO	SUPERIOR	
CIDADE	A	0,177	0,166	0,149	0,182	0,168
	B	0,140	0,135	0,240	0,209	0,181
	C	0,169	0,177	0,191	0,000	0,134
	D	0,155	0,169	0,126	0,395	0,211
	E	0,159	0,169	0,235	0,118	0,170
	F	0,200	0,186	0,059	0,095	0,135
	SOMA	1	1	1	1	1

Tabela 13.1. Tendência industrial.

	TENDÊNCIA	TENDÊNCIA INDUSTRIAL EM 5 ANOS		
		SATURAÇÃO	DISP. MO	INFRAESTRUTURA
CIDADE	A	5	4	4
	B	4	4	4
	C	1	2	4
	D	2	2	3
	E	3	2	3
	F	3	4	4
	SOMA	18	18	22

Tabela 13.2. Tendência industrial normalizada.

	TENDÊNCIA	TENDÊNCIA INDUSTRIAL EM 5 ANOS			Média
		NORMALIZADA	SATURAÇÃO	DISP. MO	
CIDADE	A	0,278	0,222	0,182	0,227
	B	0,222	0,222	0,182	0,209
	C	0,056	0,111	0,182	0,116
	D	0,111	0,111	0,136	0,120
	E	0,167	0,111	0,136	0,138
	F	0,167	0,222	0,182	0,190
	SOMA	1	1	1	1

Tabela 14. Média das médias do nível de escolaridade e tendência industrial.

	MATURIDADE	Médias das médias
	LOCALIZAÇÃO	
CIDADE	A	0,198
	B	0,195
	C	0,125
	D	0,165
	E	0,154
	F	0,163
	SOMA	1

Tabela 15. Comparação paritária da maturidade.

CIDADE	MATURIDADE DA LOCALIZAÇÃO					
	A	B	C	D	E	F
A	1,00	1,00	4,00	2,00	2,00	2,00
B	1,00	1,00	4,00	2,00	2,00	2,00
C	0,25	0,25	1,00	0,50	0,50	0,50
D	0,50	0,50	2,00	1,00	1,00	1,00
E	0,50	0,50	2,00	1,00	1,00	1,00
F	0,50	0,50	2,00	1,00	1,00	1,00
SOMA	4	4	15	8	8	8

de obra empregada na indústria da região em que se localiza cada cidade.

Conforme feito nos critérios anteriores, as preferências foram determinadas através de comparações par a par (uma em relação a outra, A em relação a B e B em relação a A) das alternativas e indicando a que melhor atende o critério.

A Tabela 19 mostra a relação de prioridades entre as localidades para o critério força de trabalho, através de comparação par a par.

A Tabela 20 mostra a matriz de comparações normalizada e a média das linhas, em que quanto maior a média, melhor o nível de preferência. Portanto, para o atributo índice da força de trabalho, a primeira preferência é a Cidade E e última, a Cidade D.

3.1.5. Incentivos fiscais

Com o intuito de atrair empreendimentos para um território, os governos estaduais do Brasil têm

Tabela 16. Comparação normalizada da maturidade.

CIDADE	MATURIDADE NORMALIZADA						Média
	A	B	C	D	E	F	
A	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,2667
B	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,2667
C	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,0667
D	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,1333
E	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,1333
F	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,1333
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000

Tabela 17. Índices da força de trabalho.

CIDADE	TRABALHO	FORÇA DE TRABALHO	
		ÍNDICE DESEMPREGO	MO NA INDÚSTRIA
	A	22,4%	5,3%
	B	15,4%	32,6%
	C	12,0%	22,5%
	D	14,1%	14,4%
	E	9,7%	72,0%
	F	22,2%	28,1%
	SOMA	96%	175%

usado a prática de concessão de incentivos fiscais a empresas que desejam instalar unidades de negócio em determinadas cidades. São diversos tipos de incentivos, em geral de natureza financeiro-fiscal, que resultam na redução ou devolução parcial do imposto a recolher. Para avaliar esses benefícios, a empresa focou encaminhou carta formal às respectivas agências de desenvolvimento dos estados, informando o plano de negócios com visão de três anos, constando o volume de vendas, geração de empregos, investimentos etc., e em contrapartida solicitou os tipos de incentivos fiscais oferecidos. Após diversos contatos e de receber as respostas, a equipe multidisciplinar avaliou e compilou as informações, atribuindo valores de 1 a 5 para cada uma das propostas, sendo o valor 1 o menos favorável e 5 o mais favorável. A Tabela 21 apresenta os valores que foram consensualmente atribuídos às propostas.

Nesse caso, a preferência pode ser determinada por comparação direta, sendo que quanto maior o valor, melhor. Contudo, para que seja possível no AHP fazer a comparação com os demais atributos estudados, os valores que representam os incentivos fiscais precisam ser de mesma natureza, portanto, tomando como referência o peso dos incentivos fiscais da Tabela 21, em comparações par a par, chegou-se à matriz de comparação paritária, valores apresentados na Tabela 22. Em seguida, essa matriz foi normalizada, gerando a matriz mostrada na Tabela 23.

A Tabela 23 mostra a matriz de comparações normalizada e a média das linhas, em que quanto maior a média, melhor o nível de preferência. Portanto,

Tabela 18. Índices normalizados da força de trabalho.

CIDADE	TRABALHO NORMALIZADO	FORÇA DE TRABALHO		Média
		ÍNDICE DESEMPREGO	MO NA INDÚSTRIA	
	A	0,234	0,030	0,132
	B	0,161	0,187	0,174
	C	0,125	0,128	0,127
	D	0,147	0,082	0,115
	E	0,101	0,412	0,256
	F	0,232	0,161	0,196
	SOMA	1	1	1

Tabela 19. Comparação paritária da força de trabalho.

CIDADE	FORÇA DE TRABALHO					
	A	B	C	D	E	F
A	1,00	0,33	1,00	2,00	0,25	0,33
B	3,00	1,00	3,00	3,00	0,33	0,50
C	1,00	0,33	1,00	2,00	0,25	0,33
D	0,50	0,33	0,50	1,00	0,20	0,25
E	4,00	3,00	4,00	5,00	1,00	3,00
F	3,00	2,00	3,00	4,00	0,33	1,00
SOMA	13	7	13	17	2	5

Tabela 20. Comparação normalizada da força de trabalho.

CIDADE	FORÇA DE TRABALHO						Média
	A	B	C	D	E	F	
A	0,08	0,05	0,08	0,12	0,11	0,06	0,0820
B	0,24	0,14	0,24	0,18	0,14	0,09	0,1720
C	0,08	0,05	0,08	0,12	0,11	0,06	0,0820
D	0,04	0,05	0,04	0,06	0,08	0,05	0,0528
E	0,32	0,43	0,32	0,29	0,42	0,55	0,3903
F	0,24	0,29	0,24	0,24	0,14	0,18	0,2210
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000

Tabela 21. Magnitude dos incentivos fiscais concedidos.

CIDADE	INCENTIVOS FISCAIS	
	A	3,0
	B	5,0
	C	2,0
	D	3,0
	E	4,0
	F	1,0

para o atributo incentivo fiscal, a primeira preferência é a Cidade B e a última a Cidade F.

3.1.6. Preferência entre os critérios

Nos itens de 3.1.1 a 3.1.5 foram estabelecidas as preferências para as localidades em estudo, segundo os critérios previamente estabelecidos. O passo seguinte foi a determinação das preferências em cada um dos cinco critérios considerados, ou seja, qual o grau de importância de cada um deles em relação aos outros.

A equipe multidisciplinar de especialistas atribuiu valores em uma escala de 1 a 5, sendo o valor 1 o menos importante e 5 o mais importante para cada um deles. A Tabela 24 apresenta os valores que foram atribuídos consensualmente.

A comparação paritária dos critérios com o auxílio da tabela de preferências, gerou a Tabela 25 e, conseqüentemente, a Tabela 26 de valores normalizados, na qual tem-se na coluna de média das linhas a indicação das preferências, sendo que quanto maior a média, melhor.

Por ser a Tabela 26 apenas uma conversão dos valores da Tabela 25, a escala de prioridade entre os critérios segue a mesma, em que o critério maior peso é o custo da mão de obra e os dois de menor peso são a maturidade da localização e o índice da força de trabalho.

Tabela 22. Comparação paritária dos incentivos fiscais.

CIDADE	INCENTIVOS FISCAIS					
	A	B	C	D	E	F
A	1,00	0,33	2,00	1,00	0,50	4,00
B	3,00	1,00	4,00	3,00	2,00	5,00
C	0,50	0,25	1,00	0,50	0,33	3,00
D	1,00	0,33	2,00	1,00	0,50	4,00
E	2,00	0,50	3,00	2,00	1,00	5,00
F	0,25	0,20	0,33	0,25	0,20	1,00
SOMA	8	3	12	8	5	22

Tabela 23. Comparação normalizada dos incentivos fiscais.

CIDADE	INCENTIVOS FISCAIS						Média
	A	B	C	D	E	F	
A	0,13	0,13	0,16	0,13	0,11	0,18	0,1398
B	0,39	0,38	0,32	0,39	0,44	0,23	0,3584
C	0,06	0,10	0,08	0,06	0,07	0,14	0,0859
D	0,13	0,13	0,16	0,13	0,11	0,18	0,1398
E	0,26	0,19	0,24	0,26	0,22	0,23	0,2332
F	0,03	0,08	0,03	0,03	0,04	0,05	0,0429
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000

Tabela 24. Grau de importância dos critérios.

GRAU DE PREFERÊNCIA DOS CRITÉRIOS	
CUSTO LOGÍSTICO	4,0
CUSTO MO	5,0
CRITÉRIO MATURIDADE DA LOCALIZAÇÃO	2,0
FORÇA DE TRABALHO	2,0
INCENTIVOS FISCAIS	3,0

Tabela 25. Comparação paritária dos critérios.

CRITÉRIO	LOGÍSTICO	MO	MATURIDADE	TRABALHO	FISCAL
LOGÍSTICO	1,00	0,50	3,00	3,00	2,00
MO	2,00	1,00	4,00	4,00	3,00
MATURIDADE	0,33	0,25	1,00	1,00	0,50
TRABALHO	0,33	0,25	1,00	1,00	0,50
FISCAL	0,50	0,33	2,00	2,00	1,00
SOMA	4	2	11	11	7

3.1.7. Preferência final

O índice de preferência geral para cada uma das cidades foi computado pela multiplicação dos vetores de preferência de cada um dos critérios, cujo resumo está apresentado na Tabela 27, pelos vetores de preferência dos próprios critérios da Tabela 26, somando-se os produtos, respectivamente, como segue:

- Cidade A = $0,042 \cdot 0,257 + 0,178 \cdot 0,413 + 0,267 \cdot 0,088 + 0,082 \cdot 0,088 + 0,140 \cdot 0,154 = 0,137$
- Cidade B = $0,182 \cdot 0,257 + 0,295 \cdot 0,413 + 0,267 \cdot 0,088 + 0,172 \cdot 0,088 + 0,358 \cdot 0,154 = 0,262$
- Cidade C = $0,181 \cdot 0,257 + 0,261 \cdot 0,413 + 0,067 \cdot 0,088 + 0,082 \cdot 0,088 + 0,086 \cdot 0,154 = 0,181$
- Cidade D = $0,162 \cdot 0,257 + 0,095 \cdot 0,413 + 0,133 \cdot 0,088 + 0,053 \cdot 0,088 + 0,140 \cdot 0,154 = 0,119$
- Cidade E = $0,182 \cdot 0,257 + 0,120 \cdot 0,413 + 0,133 \cdot 0,088 + 0,390 \cdot 0,088 + 0,233 \cdot 0,154 = 0,178$
- Cidade F = $0,251 \cdot 0,257 + 0,052 \cdot 0,413 + 0,133 \cdot 0,088 + 0,221 \cdot 0,088 + 0,043 \cdot 0,154 = 0,124$

Portanto, as seis localidades, em ordem de importância gerada pelo processo matemático do AHP (quanto maior a pontuação, maior o nível de preferência), são: B-C-E-A-F-D.

3.2. Análise dos resultados

A aplicação do AHP indicou a Cidade B como a melhor alternativa para a solução do problema proposto, todavia em face da possibilidade de erros, devido ao número elevado de comparações com base em fatores quantitativos e qualitativos realizadas, foi feita a análise da consistência dos julgamentos paritários, conforme visto na revisão bibliográfica da seção 2 deste trabalho.

A consistência dos julgamentos paritários foi demonstrada pela Razão da Consistência (RC) existente entre o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR), em que:

$$IC/IR < 0,10 \quad (\text{para } n > 4) \quad (4)$$

Para a análise da consistência do item “preferência entre os critérios”, o índice (IC) foi obtido da seguinte forma: Primeiro foi calculada a soma dos produtos dos vetores da Tabela 25 pelo peso dos critérios (Tabela 26 – coluna das médias), resultando nos seguintes valores:

- (LOGÍSTICO) = $1,00 \cdot 0,257 + 0,50 \cdot 0,413 + 3,00 \cdot 0,088 + 3,00 \cdot 0,088 + 2,00 \cdot 0,154 = 1,299$
- (MO) = $2,00 \cdot 0,257 + 1,00 \cdot 0,413 + 4,00 \cdot 0,088 + 4,00 \cdot 0,088 + 3,00 \cdot 0,154 = 2,092$
- (MATURIDADE) = $0,33 \cdot 0,257 + 0,25 \cdot 0,413 + 1,00 \cdot 0,088 + 1,00 \cdot 0,088 + 0,50 \cdot 0,154 = 0,441$
- (TRABALHO) = $0,33 \cdot 0,257 + 0,25 \cdot 0,413 + 1,00 \cdot 0,088 + 1,00 \cdot 0,088 + 0,50 \cdot 0,154 = 0,441$
- (FISCAL) = $0,50 \cdot 0,257 + 0,33 \cdot 0,413 + 2,00 \cdot 0,088 + 2,00 \cdot 0,088 + 1,00 \cdot 0,154 = 0,771$

Tabela 26. Comparação paritária normalizada dos critérios.

CRITÉRIO NORMALIZADO	LOGÍSTICO	MO	MATURIDADE	TRABALHO	FISCAL	Média
LOGÍSTICO	0,24	0,21	0,27	0,27	0,29	0,257
MO	0,48	0,43	0,36	0,36	0,43	0,413
MATURIDADE	0,08	0,11	0,09	0,09	0,07	0,088
TRABALHO	0,08	0,11	0,09	0,09	0,07	0,088
FISCAL	0,12	0,14	0,18	0,18	0,14	0,154
SOMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000

Tabela 27. Resumo das preferências das localidades para cada critério.

CIDADE	Custo logístico	Custo MO	Maturidade da localização	Índice da força de trabalho	Incentivos fiscais
A	0,042	0,178	0,267	0,082	0,140
B	0,182	0,295	0,267	0,172	0,358
C	0,181	0,261	0,067	0,082	0,086
D	0,162	0,095	0,133	0,053	0,140
E	0,182	0,120	0,133	0,390	0,233
F	0,251	0,052	0,133	0,221	0,043

Em seguida, cada um dos valores resultantes foi dividido pelos correspondentes pesos, que são os vetores de preferência da Tabela 26 (coluna das médias):

- (LOGÍSTICO) = $1,299 / 0,257 = 5,505$
- (MO) = $2,092 / 0,413 = 5,506$
- (MATURIDADE) = $0,441 / 0,088 = 5,012$
- (TRABALHO) = $0,441 / 0,088 = 5,012$
- (FISCAL) = $0,771 / 0,154 = 5,014$

Se os julgamentos paritários tomados tivessem sido perfeitamente consistentes, cada um dos resultados do passo anterior deveria ser exatamente cinco, que é o número de itens que estão sendo comparados. Então, o próximo passo foi calcular a média dos resultados anteriores, somando-se todos e dividindo-se por cinco:

- (MÉDIA) = $(5,505 + 5,506 + 5,012 + 5,012 + 5,014) / 5 = 5,031$

O Índice de Consistência (IC) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$IC = (5,031 - n) / n - 1 \quad (5)$$

onde

- n = número de itens que estão sendo comparados;
- 5,031 = média calculada no passo anterior;
- resultando IC = 0,0077.

Finalmente, tomando da Tabela 2 o valor de IR = 1,12, para n = 5, o valor resultante para IC/IR foi de 0,007.

Analogamente, o mesmo cálculo foi feito para cada um dos critérios isoladamente, resultando nos valores demonstrados na Tabela 28.

Portanto, o grau de consistência para o caso estudado demonstrou-se satisfatório, pois IC/IR < 0,10

foi evidenciado em todos os critérios julgados e também na preferência entre os critérios.

4. Conclusão

A aplicação do método de análise hierárquica como ferramenta auxiliar na tomada de decisão resultou na indicação em ordem prioritária de localidades para a instalação de uma fábrica de componentes automotivos, a qual permitiu uma análise detalhada dos atributos e subatributos definidos por uma equipe multidisciplinar de especialistas, em conformidade com a estratégia da empresa. O resultado obtido levou em consideração seis potenciais localidades previamente selecionadas, cinco atributos principais com pelo menos dois subatributos cada e também considerou para cada atributo um nível de preferência diferenciado, baseado na escala fundamental de Saaty para julgamentos comparativos, que funcionou como peso para distinguir a importância de cada um. A quantidade de comparações paritárias feita foi elevada, gerando risco de erros no julgamento e na consistência pelos tomadores de decisão, todavia o método possibilita a execução de um teste para a validação da consistência dos valores atribuídos nas comparações, o qual foi realizado, resultando em um grau de consistência satisfatório e em conformidade com as exigências do modelo, validando assim a alternativa indicada.

Referências

- Bandeira, D. L., Becker, J. L., & Rocha, A. K. (2010). Sistemática multicritério para priorização de embarques marítimos. *Revista de Administração Mackenzie*, 11(6). <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-69712010000600007>

Tabela 28. Resumo do cálculo de consistência dos julgamentos.

ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	IC ($\lambda_{\max}-n$)/(n-1)	IR	RAZÃO CONSISTÊNCIA (RC=IC/IR)	REFERÊNCIA (IC/IR)	SITUAÇÃO
PREFERÊNCIA ENTRE CRITÉRIOS	0,008	1,12	0,007	< 0,10	Consistente
CUSTO LOGÍSTICO	0,040	1,24	0,032	< 0,10	Consistente
CUSTO MO	0,022	1,24	0,018	< 0,10	Consistente
MATURIDADE DA LOCALIZAÇÃO	0,000	1,24	0,000	< 0,10	Consistente
FORÇA TRABALHO	0,038	1,24	0,031	< 0,10	Consistente
INCENTIVOS FISCAIS	0,026	1,24	0,021	< 0,10	Consistente

- Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego (2011). Retrieved from <http://portal.mte.gov.br/portal-mte>.
- Corrêa, C. A., & Corrêa, H. L. (2006). *Administração de produção e operações: manufatura e serviços- uma abordagem estratégica* (2. ed.). São Paulo: Atlas.
- Costa, H. G. (2006). *Auxílio multicritério à decisão: método AHP*. Rio de Janeiro: Abepro.
- Costa, H. G., & Moll, R. N. (1999). Emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar. *Gestão & Produção*, 6(3). <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X1999000300009>
- De Carli, P. C., Delamaro, M. C., & Salomon, V. A. P. (2010). Identificação e priorização dos fatores críticos de sucesso na implantação de fábrica digital. *Produção*, 20(4). <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132010005000037>
- lañez, M. M., & Cunha, C. B. (2006). Uma metodologia para a seleção de um provedor de serviços logísticos. *Produção*, 16(3), 394-412. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132006000300004>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2011). *Cidades@*. Retrieved from <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?>
- Kengpol, A., & O'Brien, C. (2001). The development of a decision support tool for the selection of advanced technology to achieve rapid product development. *International Journal of Production Economics*, 69, 177-191. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00016-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00016-5)
- Kon, A. (1999). *Economia Industrial*. São Paulo: Nobel.
- Lachtermacher, G. (2009). *Pesquisa operacional na tomada de decisões* (4. ed.). São Paulo: Prentice Hall.
- Laugeni, F. P., & Martins, P. G. (2005). *Administração da produção* (2. ed.). São Paulo: Saraiva.
- Moreira, D. A. (2008). *Administração da produção e operações* (2. ed.). São Paulo, Cengage Learning.
- Peinado, J., & Graeml, A. R. (2007). *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: UnicenP.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). *Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process*. Norwell: Kluwer Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>
- Sfredo, J. M., Pereira, L. N., Moraes, P. R. P., & Dalmou, M. (2006). Análise de fatores relevantes quanto à localização de empresas: comparativo entre uma indústria e uma prestadora de serviços com base nos pressupostos teóricos. In *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2009). *Administração da produção* (3. ed.). São Paulo: Atlas.
- Taylor, B. W. (2010). *Introduction to management science* (10th ed.). New Jersey: Pearson/Prentice Hall.
- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2008). Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. *Produção*, 18(3), 609-624. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132008000300015>
- Vanteddu, G., Chinnam, R. B., & Gushikin, O. (2011). Supply chain focus dependent supplier selection problem. *International Journal of Production Economics*, 129, 204-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.10.003>

Selection of best location for industrial installation using analytic hierarchy process (AHP)

Abstract

This paper presents an analysis of the relevant factors that can assist in the choice of an ideal geographic location for a site installation of an automotive

manufacturing company. The developed model was motivated by the company's needs to expand its production lines at another location due to physical space limitations at the current site, coupled with the pursuit of competitive advantages as a result of a changing location. In this context, the systematic application based on the multi-criteria analysis methodology Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied and identified the best location from among the alternatives for the new facility installation, according to previously established criteria.

Keywords

AHP. Multi-criteria analysis. Decision analysis. Industrial localization.