



COPPE/UFRJ

UMA CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL:
DETERMINANDO O POTENCIAL DE TRANSPORTE AÉREO DE UMA REGIÃO
COM BASE NO MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA COPPE-COSENZA

Guilherme Weber Martins

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro

Março de 2010

UMA CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL:
DETERMINANDO O POTENCIAL DE TRANSPORTE AÉREO DE UMA REGIÃO
COM BASE NO MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA COPPE-COSENZA.

Guilherme Weber Martins

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D. Sc.

Prof. Elton Fernandes, Ph. D.

Prof. Amaranto Lopes Pereira, Dr. Ing.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2010

Martins, Guilherme Weber

Uma Contribuição aos Estudos de Localização Industrial: Determinando o Potencial de Transporte Aéreo de uma Região com base no Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza / Guilherme Weber Martins – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIII, 85 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 79-81.

1. Localização Industrial. 2. Análise de Decisão. 3. Teoria dos Conjuntos Fuzzy. 4. Lógica Fuzzy. 5. Transporte Aéreo. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

A minha irmã, Giselle,
por me apoiar e incentivar nesta jornada.

A meus pais, Monika e Getúlio, por me fazerem compreender que é com
trabalho, coragem, determinação e persistência, que se atinge as metas escolhidas.

AGRADECIMENTOS

Ao Emérito Professor Doutor CARLOS ALBERTO NUNES COSENZA, pela sábia e segura orientação, pela confiança em mim depositada e pelo incentivo à adoção da Lógica *Fuzzy* na abordagem do problema objeto desta dissertação.

Ao Emérito Professor Doutor AMARANTO LOPES PEREIRA, pela consideração, apreço e apoio e por me dar a honra de sua participação na Banca Examinadora desta Dissertação.

Ao Professor Doutor ELTON FERNANDES pelos ensinamentos relativos a suas disciplinas do curso de mestrado e pela participação na Banca Examinadora desta Dissertação.

Ao amigo e Professor Doutor ORLANDO NUNES COSSENZA, pelo apreço, consideração, amizade e discussões acadêmicas e afins havidas ao longo do período de pesquisa desta dissertação.

Ao amigo Engenheiro e Mestre JOÃO CARLOS DE ANDRADE LOPES PEREIRA, pela consideração, pelo incentivo e inestimável apoio, durante o período de pesquisa desta dissertação, em grande parte desenvolvida nas dependências do LESFER / PET / COPPE.

PENSAMENTOS INSPIRADORES

"Meu ideal político é a democracia, para que todo homem seja respeitado como indivíduo e nenhum venerado."

"Não existe nenhum caminho lógico para a descoberta das leis do Universo - o único caminho é o da intuição."
[*Albert Einstein*]

“O mundo real é cheio de imprecisão, incerteza e parcialidade, especialmente parcialidade de verdade, certeza e possibilidade.”

“No mundo real, quase tudo é uma questão de gradação; os absolutos são poucos e distantes uns dos outros.”

[*Lotfi Zadeh*]

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

UMA CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS DE LOCALIZAÇÃO INDUSTRIAL:
DETERMINANDO O POTENCIAL DE TRANSPORTE AÉREO DE UMA REGIÃO
COM BASE NO MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA COPPE-COSENZA.

Guilherme Weber Martins

Março / 2010

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Programa: Engenharia de Produção

Esta dissertação visa dar uma contribuição aos estudos de localização industrial. Examina-se o problema da determinação do potencial de oferta de transporte aéreo de uma região, um problema atualmente crítico nesses estudos, devido à grande importância do transporte aéreo como fator locacional na indústria moderna. Propõe-se uma abordagem desse problema pelo Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza.

Nesta proposta, admite-se que esse potencial é formado apenas por atributos físicos, sociais e de resiliência ambiental da região, capazes de viabilizar a implantação e/ou desenvolvimento de um aeroporto que atenda com segurança e eficiência aos requisitos de pista, espaço aéreo, acesso viário e proteção ambiental das aeronaves do transporte aéreo civil. Esses requisitos são avaliados por especialistas, utilizando, como medida os segmentos da aviação civil comumente usados para indicar níveis de demanda por transporte aéreo de projetos industriais, a saber, a aviação geral, a aviação executiva e a aviação comercial.

A partir de uma matriz de requerimentos mínimos da demanda, formada pelos requisitos operacionais das aeronaves menos críticas desses segmentos, são aplicados os procedimentos de composição de relações fuzzy e a heurística do Modelo COPPE-Cosenza para estimar os potenciais regionais de área, espaço aéreo, acesso viário e resiliência ambiental por segmento, que são agregados num arranjo de componentes fuzzy hierarquizadas, representando o correspondente potencial de oferta de transporte aéreo da região.

Abstract of Dissertation presented to COPPE / UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

A CONTRIBUTION TO THE STUDIES OF INDUSTRIAL LOCATION:
DETERMINING THE AIR TRANSPORT SUPPLY POTENTIAL OF A REGION
BASED ON THE COPPE-COSENZA HIERARCHIC ANALYSIS FUZZY MODEL

Guilherme Weber Martins

March / 2010

Advisor: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Department: Industrial Engineering

This dissertation aims at contributing to the studies of industrial location. We examine the problem of determining the potential supply of air transport in a region, a critical problem in these studies because of the importance of air transport as a locational factor in modern industry. We propose to approach this problem by the COPPE-Cosenza Analytic Hierarchy Model.

In this proposal, we assume this potential is formed only by physical, social and environmental resilience attributes of the region, capable of viabilizing the construction and / or development of an airport, which safely and efficiently meets the requirements for runway, airspace, road access and environmental protection of civil air transport aircraft. These requirements are evaluated by experts who use as metrics the segments of civil aviation commonly used to indicate levels of demand for air transportation of industrial projects: general aviation, business aviation and commercial aviation.

From a matrix of minima requirements of demand, formed by the operational requirements of the less critical aircraft of these segments, we apply the composition procedures of fuzzy relations and the heuristics of the COPPE-Cosenza Model to estimate the regional potentials of area, airspace, access road and environmental resilience, which are aggregated into an array of fuzzy hierarchical components, representing the corresponding potential for the provision of air transport in the region.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT.....	viii
SUMÁRIO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURA.....	xiii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	2
1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA E ABORDAGENS MAIS COMUNS.....	5
1.3 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	8
1.4 OBJETIVO E CONTRIBUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	12
1.5 METODOLOGIA ADOTADA NA PESQUISA	13
1.6 ORGANIZAÇÃO DO CONTEÚDO	16
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	18
2.2 ABORDAGEM NEOCLÁSSICA.....	19
2.3 ABORDAGEM COMPORTAMENTAL.....	22
2.4 ABORDAGEM INSTITUCIONAL.....	25
2.5 ABORDAGEM EVOLUCIONISTA	27
2.6 COMPARAÇÃO E CONCLUSÃO.....	29
CAPÍTULO 3 – MODELO COPPE-COSENZA E O MODELO DE TABELAS DE DECISÃO MULTIDIMENSIONAIS	35
3.1 PRELIMINARES.....	35
3.2 MODELO DE TABELAS DE DECISÃO MULTIDIMENSIONAIS	38
3.3 MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (MAH) COPPE-COSENZA.....	42
3.4 VERSÃO FUZZY DO MODELO COPPE-COSENZA	47

CAPÍTULO 4 – O POTENCIAL REGIONAL DE TRANSPORTE AÉREO EM TERMOS FUZZY	54
4.1 GENERALIDADES	54
4.2 SERVIÇOS AÉREOS DEMANDADOS POR PROJETOS INDUSTRIAIS	55
4.3 ATRIBUTOS REGIONAIS VIABILIZADORES DA OFERTA DE SERVIÇOS AÉREOS.....	59
4.4 ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE OFERTA DE TRANSPORTE AÉREO	63
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	75
5.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS DA PESQUISA	75
5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISA FUTURA	75
REFERÊNCIAS	79
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	81
Anexo	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura Geral de uma Tabela de Decisão.....	39
---	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Abordagens Locacionais e Determinantes.....	32
Tabela 2: Operação Produto $a_{ij} \otimes b_{jk}$	44
Tabela 3: Operação Produto $a_{ij} \otimes b_{jk}$	46
Tabela 4: Relação Binária Fuzzy de A e B.....	48
Tabela 5: Matriz \tilde{A} - Fatores demandados pelos Projetos.....	50
Tabela 6: Matriz \tilde{B}^c - Oferta de fatores pelas Localizações Alternativas.....	50
Tabela 7: Regra para o Produto (\otimes) de A e B.....	51
Tabela 8: Variáveis Linguísticas para b_{jk} e a_{ij}	52
Tabela 9: Matriz Diagonal Inferior \tilde{c}_{ik}	52
Tabela 10: Matriz de Diferença de Pertinências.....	53
Tabela 11: Matriz Relacionamento de Pertinências \tilde{c}_{ik}	53
Tabela 12: Matriz de Demanda das Indústrias por Serviços Aéreos.....	56
Tabela 13: Matriz de Requisitos Mínimos de Infra-estrutura Aeroportuária por Segmento de Aviação.....	59
Tabela 14: Matriz de Atributos Mínimos Regionais por Segmento de Aviação.....	63
Tabela 15: Matriz Φ de Atributos Regionais de Infraestrutura de Transporte Aéreo.....	65
Tabela 16: Matriz B de Potencial de Oferta de Transporte Aéreo por Região.....	63
Tabela 17: Matriz de Níveis de Requerimento de Infraestrutura Aeroportuária P.....	72
Tabela 18: Regra de Atribuição do Produto (\otimes) dos Elementos de P e Φ	73
Tabela 19: Matriz B de Potencial de Oferta de Transporte Aéreo por Região.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURAS

DT: *Decision Tables*

MAH: Modelo de Análise Hierárquica

OACI: Organização de Aviação Civil Internacional

TMA's: Áreas Terminais de Tráfego Aéreo

FDT: *Fuzzy Decision Tables*

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A compreensão da influência da localização espacial no processo produtivo vem ocupando as mentes de empresários, agentes governamentais e teóricos da localização há mais de dois séculos. De fato, a questão de “onde produzir”, ou seja, onde localizar a planta produtiva, bem como o conseqüente estudo das relações entre os fatores intervenientes na localização, são, *a priori*, questões com implicações vitais nas estratégias empresariais e nas políticas de desenvolvimento de uma região ou país.

Da perspectiva da economia regional, revela-se um problema de condicionalidade espacial, i.e., um problema que envolve questões sobre como e com que intensidade o espaço geográfico exerce influências sobre as atividades econômicas, uma vez que estas se encontram, necessariamente, condicionadas pela distribuição espacial dos recursos de produção e pelos aglomerados humanos.

Entretanto, ainda que a busca por uma região com condições econômicas mais vantajosas de produção e de distribuição de produtos industrializados não seja recente¹, as teorias que procuram explicar os determinantes da localização industrial encontram-se longe de um consenso.

Divididas basicamente entre duas correntes principais, a *clássica / neoclássica* e a *comportamental*, as teorias de localização desenvolveram-se baseadas em

¹ De fato, estudiosos tais como Richard Cantillon, Sir James D. Stuart e David Ricardo já haviam abordado esta questão há muito mais tempo. Porém, foi somente em 1826, com o trabalho *Der Isolierte Staat*, de Johann Heinrich Von Thünen, que, formalmente, teria nascido a Teoria da Localização, tese esta categoricamente defendida pelo proeminente cientista regional Walter Isard (1956), que viria a chamar Von Thünen de o “pai dos teóricos da Localização”.

fundamentos consideravelmente distintos e muitas vezes antagônicos. Não por outra razão, teóricos e pesquisadores de ambas as correntes devotaram considerável tempo e esforço para tirar o crédito das propostas e avanços da corrente com a qual rivalizam.

Mais recentemente, no entanto, reconheceu-se a necessidade de um debate aberto entre essas correntes, de modo que, em vez da rivalidade, passou-se a buscar uma maior integração entre as diversas teorias locacionais. Esforços empíricos nesse sentido têm sido feitos a partir de abordagens tanto quantitativas quanto qualitativas. Pesquisadores vêm buscando integrar essas abordagens em modelos unificados de localização industrial, ao invés de debaterem os méritos relativos de se usar uma ou outra abordagem teórica (JOHNSTON, 1986; LAMBOOY, 1986; HEALEY & ILBERY, 1990; WALMSLEY & LEWIS, 1993).

Nessa busca por integração, o equacionamento adequado e a solução consistente dessa questão são reconhecidos como críticos para a eficiência econômica da produção e distribuição de bens ou provisão de serviços por uma empresa, bem como para os objetivos governamentais de desenvolvimento regional, de desenvolvimento urbano e de diminuição dos desequilíbrios regionais. Nesse equacionamento, cabe aos *policy makers* regionais, assim como ao empresariado, a identificação dos setores com vocação para o desenvolvimento ou especialização industrial em um determinado espaço geográfico, ou, da perspectiva da análise espacial, a identificação daqueles fatores regionais que tornam certos locais mais atraentes para determinados setores industriais.

Em termos tecnológicos, é óbvio que indústrias distintas demandam fatores de produção distintos, o que torna o estudo e a classificação dos fatores locacionais tarefas necessárias e importantes, embora, muitas vezes, complexas e dispendiosas, principalmente se levarmos em conta a multiplicidade e os diferentes tipos de indústrias.

Assim, a enumeração dos fatores locacionais que determinam ou contribuem para a atratividade de uma região para fins de implantação e desenvolvimento de atividades industriais só seria possível empiricamente e, mais particularmente, mediante o estudo de casos individuais de indústrias específicas.

Alguns fatores locacionais, no entanto, são considerados gerais para grande parte, senão a totalidade das indústrias. Em artigo publicado por BADRI (2007), baseado em uma revisão das teorias da localização e em extensa pesquisa empírica, realizada com a participação de mais de 2100 empresas em 23 países, 14 fatores locacionais foram reconhecidos como *críticos* para a localização industrial. Dentre esses fatores, estão os *serviços de transporte*, cuja *contribuição* para a atratividade de uma região para fins de implantação e desenvolvimento de atividades industriais é amplamente reconhecida.

De fato, RICHARDSON (1981), ao examinar as regiões nos aspectos inerentes à acessibilidade aos insumos e aos mercados favoráveis, reconheceu implicitamente essa generalidade dos transportes como fator locacional, especialmente quanto ao potencial de desenvolvimento, ao argumentar que

(...) algumas regiões podem apresentar acesso aos insumos e aos mercados favoráveis somente em relação aos mercados internos, ao passo que outras, com pouco acesso a insumos e aos mercados internos, podem mostrar considerável crescimento como resultado de terem uma posição nodal em relação a fontes e mercados externos. Embora as regiões variem muito no que se refere ao potencial de desenvolvimento, o acesso favorável aos mercados externos pode ser um pré-requisito da prosperidade regional. (...).

Acessibilidade e posições nodais favoráveis, obviamente, representam atributos característicos desejados das redes de serviços de transporte.

A importância da disponibilidade dos serviços de transportes para a localização industrial é normalmente avaliada em termos dos seguintes elementos:

- a) custo de transportes para insumos e bens;
- b) custo de transporte para empregados e consumidores (incluindo turistas);
- c) tempo (em particular quando a indústria organiza sua produção com base em processos 'just-in-time', 'outsourcing' etc.);
- d) risco e incerteza;
- e) necessidade de coordenação entre fornecedores de insumos e compradores;
- f) necessidade de acesso direto a informações do mercado por parte dos fornecedores; etc.

Naturalmente, essa importância varia em conformidade com a natureza da indústria, propriedade e conexões associadas a outras partes da organização, e, naturalmente, as características da região (LEITHAM, MCQUAID E NELSON, 2000).

No entanto, um aspecto crítico relacionado à importância relativa dos serviços de transporte, enquanto fator locacional, reside na complexidade estrutural da oferta desses serviços. Serviços de transporte são normalmente ofertados por modalidades específicas de transporte (rodoviário, ferroviário, aquaviário, aeroviário e dutoviário), cada um dos quais com veículos, infra-estrutura viária e sistemas operacionais e de controle de tráfego próprios, cuja complexidade por si só já implica um tratamento específico por modalidade. Além disso, em cada modalidade, para facilidade de planejamento e provisão, os serviços de transporte são normalmente tratados por segmentação, que pode ser classificada quanto a:

- 1) a coisa transportada: transporte de passageiros, transporte de carga, mala postal etc.;
- 2) o interesse social: transporte público e transporte privado;

- 3) quanto à frequência da oferta: regular e não regular;
- 4) quanto à capacidade e tecnologia dos veículos; etc.

Na avaliação e escolha de regiões para implantação de uma determinada indústria, essa complexidade pode constituir um sério complicador, porque a demanda industrial poderá ser não apenas de um, mas de alguns ou, eventualmente, de todos esses segmentos.

O tema de interesse desta dissertação são os *serviços de transporte aéreo*, ou simplesmente o *transporte aéreo*, examinado como *potencialidade regional* no contexto da localização industrial. No processo de avaliação e escolha de uma região, entre diferentes regiões alternativas, visando à implantação de uma indústria ou “cluster” industrial, o *potencial regional de oferta de transporte aéreo* pode vir a constituir o real diferencial de escolha, justificando o interesse e esforço em pesquisar métodos que permitam determiná-lo adequadamente.

1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA E ABORDAGENS MAIS COMUNS

Com a ordem internacional favorecendo a especulação financeira de capitais e o processo de globalização estendendo-se praticamente a todas as economias de mercado do mundo, verificava-se, até há bem pouco tempo, um extraordinário aumento do fluxo de mercadorias e serviços entre os países. Tal ocorreu graças à notável revolução nas telecomunicações, à intensa utilização da tecnologia da informação (TI) e, principalmente, aos avanços tecnológicos dos meios de transporte, especialmente o transporte aéreo. Práticas de “*outsourcing*”, “*just-in-time*” e outras estratégias empresariais similares também contribuíram para esse aumento, mas tal se justificava

precisamente por serem tais práticas extremamente dependentes da eficácia desse meio de transporte.

Isto acabou tendo fortes reflexos nas análises de decisão de localização industrial, ao afetar a importância dos fatores locais quanto aos sítios alternativos, alterando suas relações de prioridade no processo de produção. Por essa razão, metodologias ou técnicas com rotinas mais pragmáticas de análise desses fatores passaram a ser exploradas, com o objetivo de melhor explicitar a intensidade e a extensão dessas mudanças e, dessa forma, permitir a reavaliação dos determinantes da localização, a partir de critérios tais como especificidades modais, atratividade relativa e potencial de substitubilidade dos fatores.

No que tange ao critério de atratividade relativa, a modalidade aérea se destaca, em razão da marcante característica de rapidez, aliada à maior capacidade de carga das modernas aeronaves. Devido a isso, os aeroportos, que são peças de infra-estrutura do transporte aéreo essenciais para a provisão dos serviços de apoio às aeronaves, passam a ser determinantes críticos do potencial de serviços aéreos regionais.

Em alguns casos, os aeroportos podem transformar uma região em uma “real” possibilidade de localização, mantendo ou ampliando o estímulo à decisão de investir em uma determinada atividade produtiva, podendo ainda agregar valor ou utilidade às demais potencialidades.

Um outro aspecto digno de nota é que diferentes papéis atualmente exercidos por aeroportos em cadeias de suprimento permitem compreendê-los como infra-estrutura de apoio logístico para as grandes empresas e como importante elemento de suporte de suas estratégias competitivas. Isto se torna mais claro, diante do dinamismo econômico contemporâneo, caracterizado por um ambiente de concorrência, cujas

marcas são a intensa profusão de inovações tecnológicas, a financeirização da riqueza mundial, o desenvolvimento de grandes competidores internacionais e a maior internacionalização do comércio.

Nesse ambiente competitivo, as grandes empresas utilizam os aeroportos para desenvolverem parte importante de suas estratégias corporativas. Novas formas de organizar os processos de produção, incluindo a logística articulada das operações industriais, utilizam o transporte aéreo como instrumento de comercialização de mercadorias entre nações, blocos econômicos e empresas. O surgimento dos aeroportos-indústria é uma evidente prova dessa tendência.

Nessas funções, os aeroportos contribuem significativamente para o crescimento dos municípios onde estão localizados e para o desenvolvimento das regiões onde estão instaladas indústrias ou empresas, que deles dependem para viabilizar o intercâmbio de mercadorias, insumos e produtos, gerando empregos, renda e tributos.

Assim, ao se avaliarem potencialidades regionais, visando à escolha de localização industrial, os aeroportos (e/ou suas possibilidades de implantação e desenvolvimento) destacam-se como componentes críticos do *potencial de oferta (dos serviços) de transporte aéreo*, exigindo para a determinação deste potencial um tratamento diferenciado, para que sua importância relativa nessa escolha seja evidenciada de forma adequada.

O que se propõe nesta dissertação e que, portanto, acreditamos constituir uma relevante contribuição para os estudos de localização industrial, é uma alternativa de determinação e representação do potencial de oferta (de serviços) de transporte aéreo de uma região que evidencie essa importância e seja utilizada de forma consistente e objetiva no processo de avaliação e escolha da região para fins de localização industrial.

1.3 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.

Entre as potencialidades regionais consideradas *gerais* para a localização industrial, conforme já mencionado anteriormente, incluem-se os *serviços de transporte*. Esta inclusão, historicamente admitida por diversos autores da Teoria da Localização², decorre de fato, extensivamente comprovado, de que *praticamente todas as indústrias dependem, em maior ou menor escala, de serviços de transporte* (RICHARDSON, 1981).

Em todas as modalidades de transporte, com a única exceção da dutoviária³, a provisão de *serviços de transporte* implica *disponibilidade de veículos* e correspondente *disponibilidade de infra-estrutura viária*.

Em geral, ainda que eventualmente em *condições precárias*, existe sempre algum tipo de serviço de transporte sendo prestado em uma região e, conseqüentemente, a respectiva infra-estrutura viária. Assim, mesmo precariamente, é possível realizar uma avaliação das *condições e possibilidades de desenvolvimento* dos serviços existentes e, com base nessa avaliação, determinar seu respectivo *potencial*. Quer dizer, é sempre possível reunir elementos de informação sobre veículos e infra-estrutura viária existente ou potencial em uma região que viabilize uma avaliação de suas condições.

Entretanto, para realizar essa avaliação, tanto as condições existentes dos serviços de transporte prestados, quanto suas possibilidades de implantação e desenvolvimento devem estar expressas em unidades comparáveis entre si e passíveis de agregação, para que seja possível integrá-las em um índice representativo do

² Johan-Heinrich Von Thünen, 1826; Alfred Weber, 1909; Harold Hotelling, 1929; Walter Christaller, 1933; August Lösch, 1940

³ Na modalidade dutoviária, o veículo e infra-estrutura viária se fundem num único componente, o duto, e a viagem da coisa transportada resulta do emprego da gravidade ou da pressão hidrodinâmica ou ambos simultaneamente sobre a coisa transportada.

conjunto. Nesta dissertação, denominamos este índice de *potencial regional de oferta (de serviços) de transportes*.

Obviamente, um índice assim deve embutir dados e informações relativos aos veículos de transporte e infra-estruturas viárias correspondentes. Porém, se os dados e informações relativos aos veículos de transporte forem limitados aos requisitos destes em relação à infra-estrutura viária e os dados e informações relativos à infra-estrutura viária forem explicitados em termos de atributos físicos, operacionais e ambientais da região, o conceito de potencial assim restringido passa a ter um forte apelo computacional para efeito de avaliação. Tal ocorre, porque os elementos de formação desse potencial podem ser totalmente definidos em termos desses atributos, constituindo grandezas de valoração quantitativa ou qualitativa de fácil compreensão.

Nesta proposta, exploramos esse conceito, selecionando aqueles atributos de sua definição capazes de melhor representá-lo em termos potenciais. O objetivo é fazer com que sua representação paramétrica resulte coerente e compatível com a representação dos demais fatores potenciais selecionados para compor a matriz de potencialidades regionais, permitindo sua pronta inclusão nesta matriz e, dessa forma, mais agilidade no processo de avaliação.

Do ponto de vista da tecnologia dos veículos, cada modalidade de transporte apresenta um conjunto específico de requisitos técnicos e operacionais de infra-estrutura viária, que define não apenas os atributos físico-espaciais que uma região deve ter, mas também, os atributos de resiliência ambiental⁴ que deve apresentar, para poder evidenciar o respectivo *potencial regional de oferta de serviços*. Em outras palavras,

⁴ Resiliência é um conceito muito em voga nas ciências ambientais. Está vinculado à capacidade que um ecossistema tem de sofrer perturbações e absorvê-las, sem perder suas propriedades fundamentais nem deixar de cumprir suas funções mais importantes.

pode-se falar dos atributos que a região deve ter para evidenciar tal *potencialidade regional*.

Embora um valor global do *potencial regional de oferta (de serviços) de transporte*, representativo de todos os modais de transportes, possa ser determinado e utilizado no processo de localização, o grau de *inespecificidade* ou de *generalidade* desse valor pode atingir *níveis de incerteza* inaceitáveis, aumentando consideravelmente a *imprecisão* dos resultados. A desagregação por *modalidade* e, em cada modalidade, por *segmento de tráfego*, pode diminuir esses níveis de incerteza a valores mais aceitáveis e, desta forma, reduzir a imprecisão dos resultados, melhorando o processo de tomada de decisão.

Devido às especificidades da provisão dos serviços de transporte aéreo, esse potencial é aqui admitido⁵ como passível de ser determinado pelas *condições físicas, operacionais e de resiliência ambiental* relativas à infra-estrutura aeroportuária existente ou potencial da região e suas *possibilidades de desenvolvimento*.

Na modalidade aérea, tal potencial pode ser entendido, primária e intuitivamente, como a *capacidade da região acomodar operações de transporte aéreo*. Essa capacidade pode ser expressa pela *existência de um aeroporto* na região – definida em termos das condições de seus atributos físicos, operacionais e de proteção ambiental - ou, na inexistência deste, pela *disponibilidade de área, espaço aéreo, acessibilidade viária de superfície e resiliência ambiental*, capaz de permitir a implantação e desenvolvimento de um aeroporto.

⁵ É preciso registrar, contudo, que esta premissa de determinação e representação é plenamente justificável no contexto da *avaliação das potencialidades de uma região para fins de implantação ou desenvolvimento industrial*, porque tem fundamento no raciocínio utilizado no processo de escolha de sítio aeroportuário recomendado pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), cuja eficácia já é amplamente comprovada internacionalmente.

A quantificação e a manipulação computacional desses atributos, destinadas a determinar essa *disponibilidade* (ou *oferta*), não são simples, porque, enquanto alguns atributos são quantificados por *parâmetros numéricos*, outros são quantificados por *termos ou expressões em linguagem natural*, i.e., por *parâmetros lingüísticos*, o que dificulta sua manipulação por processos metodológicos convencionais.

Por essa razão, métodos ou modelos híbridos que têm procedimentos capazes de viabilizar tal manipulação são escolhidos ou desenvolvidos para realizar essa avaliação. O Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza (COSENZA, 1981) é um desses métodos. O Modelo proposto por WITLOX (2000) é outro. Mais adiante nesta dissertação, apresentaremos com mais detalhes a estrutura e a *rationale* de cada um desses dois modelos.

O problema central que se examina, portanto, é o da determinação e representação dessas condições, de modo a permitir sua comparação entre regiões alternativas, no escopo geral da avaliação de outras potencialidades regionais incluídas no processo de escolha locacional.

No processo de avaliação e seleção de sítio aeroportuário, parte-se das previsões de demanda de transporte de passageiros e carga de uma determinada região - entre as quais obviamente se encontram as demandas de projetos industriais ou tecnológicos prospectivos. O raciocínio utilizado nesse processo envolve a avaliação de sítios quanto às *condições físicas, operacionais e ambientais* que permitam a *implantação, operação e desenvolvimento de infra-estrutura aeroportuária* para atendimento dessas demandas. Realizada a avaliação dos sítios potenciais, é escolhido aquele mais capacitado, isto é, aquele que apresenta as melhores condições. Nossa proposta tem por fundamentos exatamente os argumentos subjacentes a esse processo metodológico.

O problema, portanto, pode ser caracterizado como um problema de determinação e representação paramétrica de um fator locacional complexo como potencialidade regional, neste caso o *potencial de oferta de transporte aéreo* de uma região.

Considerados os requisitos e critérios da avaliação, a representação poderá tomar a forma de um *vetor* ou uma *matriz* de componentes hierarquizados “*fuzzy*” (dependendo de se estar avaliando uma ou mais regiões alternativas), se a abordagem de avaliação adotar a Lógica *Fuzzy* como mecanismo de raciocínio e a Teoria dos Conjuntos Fuzzy como base para a modelagem numérica e manipulação computacional dos fatores, particularmente a composição de relações *fuzzy*.

1.4 OBJETIVO E CONTRIBUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O objetivo desta dissertação é desenvolver uma abordagem fuzzy para determinar o potencial regional de oferta de serviços de transporte aéreo e representá-lo como um matriz de componentes fuzzy hierarquizadas, capaz de ser utilizado na matriz de potencialidades regionais para fins de avaliação e escolha de localização industrial.

Para tal, utilizamos os procedimentos heurísticos e a estrutura matemática do Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza, em sua versão fuzzy, bem como os procedimentos de composição de relações fuzzy, concernentes à construção da matriz de oferta de fatores locacionais desse modelo.

A contribuição pretendida pela presente dissertação reside, portanto, na parametrização *fuzzy* das condições atuais ou potenciais dos atributos relevantes de infra-estrutura de transporte aéreo nas regiões alternativas e sua representação na matriz

de oferta regional, como segmentos de serviços aéreos, isto é, nos mesmos parâmetros da matriz de demanda da indústria por tais serviços.

A abordagem, no entanto, uma vez que emprega os próprios princípios e a heurística de hierarquização do modelo COPPE-Cosenza, pode ser utilizada para a determinação e representação do potencial de oferta de qualquer outro fator locacional de complexidade similar a do transporte aéreo.

1.5 METODOLOGIA ADOTADA NA PESQUISA

A hipótese central admitida nesta tese para abordar o problema em questão, isto é, o problema da determinação e representação paramétrica do potencial regional de oferta dos serviços de transporte aéreo como um vetor ou matriz de componentes fuzzy hierarquizadas, no processo de localização industrial, foi a de que esse potencial pode ser estimado apenas a partir das condições atuais ou potenciais dos atributos físicos, operacionais e de resiliência ambiental da infra-estrutura aeroportuária da região, formalizadas em termos fuzzy.

Como hipótese complementar, admitimos que problemas de representação paramétrica dessa natureza, por envolverem aspectos objetivos e subjetivos, são mais passíveis de serem avaliados por métodos híbridos (quantitativo-qualitativos). A justificativa para este pressuposto é que métodos híbridos têm estrutura e procedimentos capazes de tratar e manipular simultaneamente variáveis quantitativas e qualitativas.

De um modo geral, para variáveis quantitativas, existe um razoável conjunto de processos clássicos de tratamento matemático formal e rigor científico comprovados, enquanto, para variáveis qualitativas, os processos são mais empíricos e com tratamentos heurísticos.

Valores de variáveis qualitativas (aqui também denominadas de variáveis lingüísticas) normalmente são expressões em linguagem natural, estimadas com base na percepção de especialistas, o que implica **processos de avaliação** classificados como essencialmente **subjetivos**.

Em razão disso, grande parte de nossa pesquisa concentrou-se em processos de avaliação subjetiva. Para realizar a pesquisa desses processos, foram utilizados métodos de pesquisa exploratória. Gil (2002) descreve a pesquisa exploratória como tendo por objetivo proporcionar mais familiaridade do pesquisador com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a permitir a construção de hipóteses. Segundo esse autor, o planejamento da pesquisa é bastante flexível, possibilitando a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

Consideraram-se também alguns elementos de natureza **descritiva** para a sua elaboração, já que a pesquisa visa a descrever as características de uma “grandeza”, neste caso relacionada a dimensões que concorrem, contribuem, condicionam e influem na quantificação / qualificação do transporte aéreo como uma potencialidade regional, e como estas afetam a estrutura e a dinâmica dos atuais modelos de localização industrial.

Cooper e Schindler (2003) corroboram que os elementos de pesquisa descritiva são:

[...] descrições de fenômenos ou características associadas com a população-alvo (o quem, que, quando, onde e como de um tópico); estimativa de proporções de uma população que tenha essas características, e descoberta de associações entre as diferentes variáveis. (COOPER, SCHINDLER, 2003)

Quanto às técnicas ou meios de pesquisa empregados, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, incluindo um exame da literatura existente sobre o assunto, tanto em

livros acadêmicos, teses e dissertações, quanto em artigos publicados em periódicos, anais de congressos e de conferências realizados no setor.

A pesquisa relativa ao desenvolvimento da abordagem proposta teve como referencial teórico o Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza e os princípios, conceitos e referências bibliográficas introduzidos pelas disciplinas “Economia Urbana e Regional”, “Estratégia Nacional”, “Economia Matemática para Projetos” e “Introdução à Lógica Fuzzy”, do Programa de Engenharia de Produção, da COPPE / UFRJ, esta última, em particular, no que concerne aos procedimentos de composição de relações *fuzzy*.

No que concerne às especificidades do transporte aéreo, no entanto, o referencial teórico abrangeu conceitos, princípios e pressupostos básicos do processo de avaliação e escolha de sítio aeroportuário (OACI, 1987), que modelam a análise das componentes quantitativas e qualitativas caracterizadoras da demanda e da oferta de infra-estrutura aeroportuária em índices capazes de explicitar a informação necessária para o processo de escolha de sítio, fornecendo uma avaliação mais objetiva da infra-estrutura aeroportuária como potencialidade regional.

Em se tratando de uma abordagem teórica, derivada diretamente de um modelo já amplamente conhecido e explorado - o Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza -, não achamos necessário utilizar um estudo de caso ou um exemplo ilustrativo. Em sua totalidade, a abordagem contém elementos pragmáticos suficientemente claros e auto-explicativos, dispensando a exploração de exemplos hipotéticos ou simulações para comprovar ou consolidar a efetividade dos procedimentos adotados.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO CONTEÚDO

O restante desta tese está organizado da seguinte maneira. No capítulo 2, é feita uma revisão da literatura pertinente à localização industrial, com a apresentação de uma revisão das teorias locacionais (neoclássica, comportamental, institucional e evolucionista). Com essa revisão, busca-se oferecer uma visão sobre os processos de tomada de decisão subjacente a essas teorias. Uma comparação das diversas abordagens é apresentada na última seção desse capítulo, concluindo com uma remissão para dois modelos de localização que adotam uma abordagem integrada (COPPE-Cosenza e Witlox).

No capítulo 3, descrevemos os dois modelos de localização que propõem essa abordagem integrada, o Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza e o Modelo de Tabelas de Decisão, proposto por F. Witlox. Na descrição do Modelo COPPE-Cosenza, destacamos a estrutura, os procedimentos heurísticos e o emprego de um oráculo, particularmente nas operações matriciais *fuzzy* de confronto entre a oferta e a demanda de fatores locacionais. Já na descrição do Modelo de Tabelas de Decisão, de F. Witlox, o destaque é para a construção das tabelas de decisões multidimensionais, estabelecendo regras para o confronto, caso a caso, das demandas e ofertas dos fatores locacionais. Para ambos os modelos, ressaltam-se os procedimentos que adotam para utilizar o ferramental *fuzzy* como método de mensuração das variáveis qualitativas. Por esse motivo, um anexo especial é dedicado para uma apresentação sumária dos conceitos e princípios básicos da Lógica Fuzzy e da Teoria dos Conjuntos Fuzzy.

No capítulo 4, descrevemos a abordagem adotada para determinar e representar o potencial regional de transporte aéreo em termos hierárquicos fuzzy. Nessa abordagem, destacamos a premissa de que essa determinação e representação podem ser

obtidas a partir de procedimentos de composição de relações *fuzzy* e da heurística de construção da matriz de oferta de fatores locais, neste caso particular, os serviços de transporte aéreo requeridos pela indústria ou “cluster” industrial e a oferta ou potencial de oferta desses serviços pelas regiões alternativas. O modelo de referência será o COPPE-Cosenza. Uma breve descrição sobre relações fuzzy entre conjuntos ou universos de discurso é incluída como fundamentação dos procedimentos utilizados na construção das matrizes relacionais de demanda e oferta. Veremos que será necessário expressar a oferta em termos (quantitativos ou qualitativos) das condições físicas, operacionais, de proteção ambiental e de desenvolvimento de infra-estrutura aeroportuária existente ou potencial, convenientemente formalizadas por conjuntos *fuzzy*.

Finalmente, no Capítulo 5, apresentamos uma síntese das idéias centrais desenvolvidas na dissertação e concluímos com algumas sugestões para desenvolvimento de pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A teoria de localização industrial, formulada por economistas no início do século XX, focou a firma individual como objeto de estudo, e mais especificamente, as variáveis que influenciam a escolha de novos sítios. Nessas teorias econômico-espaciais, que foram denominadas de neoclássicas, o empreendedor é entendido como *homo economicus*, isto é, um agente possuidor de perfeito conhecimento e habilidades, apto a realizar escolhas racionais que conduzem a um resultado ótimo em termos de custos, receitas e lucros da firma.

O conceito de empreendedor como um tomador de decisões economicamente racional é bem contrastante com as novas abordagens de localização industrial (comportamental, institucional e evolucionária) que caracterizaram o final do século XX e início do XXI. Essas novas abordagens reconhecem como sendo de grande importância o papel desempenhado pelas características pessoais dos empreendedores, da rede de relacionamentos, pessoais e de negócios em torno das firmas, bem como das influências culturais no sistema econômico espacial (BRONS e PELLENBARG, 2003).

As próximas seções apresentam uma revisão das teorias locacionais (neoclássica, comportamental, institucional e evolucionista) o que oferece uma visão sobre os processos de tomada de decisão subjacente a essas teorias. Uma comparação das diversas abordagens é apresentada na última seção, que conclui o capítulo. Com base nesta revisão, o próximo capítulo apresenta o modelo COPPETEC-Cosenza (1981) e o modelo de Tabelas de Decisão, proposto por WITLOX, BORGERS E

TIMMERMANS (2004), que buscam incorporar as contribuições mais significativas das teorias tradicionais, propondo uma nova abordagem ao processo de tomada de decisão para a localização industrial, contemplando tanto as firmas quanto os organismos governamentais competentes.

2.2 A ABORDAGEM NEOCLÁSSICA

A teoria locacional neoclássica foca na apresentação de um modelo genérico normativo preocupado em encontrar a localização ótima para uma ou mais firmas a partir de considerações econômicas. O modelo é baseado no conceito de *homo economicus*, isto é, um empreendedor perfeitamente informado, capaz de explorar as informações otimamente e, dessa forma, maximizar seus lucros. Características humanas e pessoais dos tomadores de decisões não têm lugar nessa abordagem, onde modelos baseados na minimização dos custos dos fatores (i.e. custos de transporte, trabalho e tamanho do mercado) são os principais determinantes da localização de firmas.

Von Thünen, Launhardt, Weber e Palander, podem ser considerados os fundadores dessa abordagem. Alfred Weber, em sua teoria, mostra-se essencialmente preocupado em evidenciar como a localização ótima de firmas pode ser encontrada pela minimização de custos. Através de uma situação hipotética simples, com duas fontes de matérias-primas (insumos): M1 e M2, e um único mercado C, representados pelos três vértices de um triângulo locacional (SMITH, 1981 *apud* MARIOTTI, 2005), Weber afirma que as empresas irão racionalmente se localizar no ponto onde seus custos são os menores possíveis. Desde a sua publicação, no entanto, a teoria de Weber tem sido alvo de diversas revisões. Em particular, a maioria dos teóricos subseqüentes tem absorvido ensinamentos do arcabouço Weberiano ao formularem suas próprias teorias.

Em 1958, Leon Moses deu uma grande contribuição ao entendimento teórico sobre localização ótima, ao reconhecer a possibilidade de substituição dos insumos entre si, isto é, funções de produção não lineares. Até aquele momento, assumia-se que a proporção de insumos para produção era fixa e que um insumo não poderia substituir o outro. No entanto, em alguns casos, isto visivelmente não se verifica. Ao se verificar a possibilidade de diferentes combinações de insumos, dado um nível ótimo de produção, por conseguinte deve-se considerar diferentes possibilidades de ótimos locacionais. De acordo com MCCANN (1993 *apud* MARIOTTI, 2005), o trabalho de Moses é uma análise brilhante e a primeira bem sucedida fusão entre teoria de produção e localização.

SMITH (1981 *apud* MARIOTTI, 2005) acredita que a maior crítica às primeiras teorias de localização tenha sido a abstração da demanda. Em 1954, August Lösch tentou remediar essa fraqueza; rejeitando a perspectiva de minimização de custos e também a alternativa de busca de localização em que as receitas são máximas, Lösch identificou a maximização dos lucros como fator determinante para a localização. No entanto, ao se incluir variações espaciais na demanda, assim como nos custos, o problema de localização ótima para a firma individual mostrou-se insolúvel (SMITH, 1981 *apud* MARIOTTI, 2005). O problema tornou-se demasiado complexo para uma formulação matemática.

Finalmente, Walter Isard publicou, em 1956, *Location and Space Economy*, com o objetivo de desenvolver princípios para uma teoria geral da localização, fundamentado nos trabalhos de outros autores como Von Thünen, Lösch e Weber. A teoria de Isard merece ser incluída na revisão das teorias de localização, pois ela foi o ponto de partida para o desenvolvimento das ciências regionais.

A principal característica da abordagem neoclássica é a utilização de modelos matemáticos para explicar a localização de firmas. Os fatores locacionais de maior relevância são em sua maioria relacionados a custos (i.e. custo da mão-de-obra, de transportes, incentivos fiscais, etc), dada sua tratabilidade do ponto de vista quantitativo, em que se pode definir, inclusive, uma relação direta com o espaço. A decisão de localização fica, portanto, atrelada as margens de lucratividade relacionada à disponibilidade dos fatores de produção associada a uma determinada localidade.

As críticas à abordagem neoclássica incluem objeções à filosofia científica adotada, dúvidas sobre a utilidade de modelos matemáticos para a geografia e certa aversão ao conceito de homem econômico. Segundo SMITH (1971 *apud* MARIOTTI, 2005): “os teóricos clássicos têm-se mostrado mais preocupados com a construção de teorias elegantes de equilíbrio locacional, ou na fusão da teoria locacional e de produção, do que em desenvolver um guia para o questionamento empírico”.

Recentemente, economistas ortodoxos têm mostrado renovado interesse na teoria de localização neoclássica, chamando-a de “nova geografia econômica” (*new economic geography*) (KRUGMAN, 1995; FUJITA *et al.*, 1999). Esses economistas baseiam-se em modelos que utilizam fatores locacionais (i.e. custos de transporte, trabalho e tamanho do mercado) como as principais forças que levam a localização de firmas. Nesses modelos, mobilidade de atividades econômicas é uma variável importante, mas praticamente nenhuma atenção é dada ao comportamento da firma em relação ao espaço que ocupa (MARIOTTI, 2005).

2.3 ABORDAGEM COMPORTAMENTAL

A teoria comportamental interpreta as firmas como agentes detentores de informação e racionalidade limitadas, e que aceitam resultados sub-ótimos, ao invés de sempre maximizarem lucros. A teoria salienta a importância de fatores internos (i.e. habilidades e percepção) e considerações pessoais no lugar dos fatores de custo neoclássicos.

Segundo SIMON (1959 *apud* MARIOTTI, 2005), considerado o precursor dessa teoria, o tomador de decisões é um indivíduo (empreendedor) impossibilitado de coletar toda informação relevante para se tomar uma decisão, na medida em que ele é incapaz de processar toda essa informação. Para Simon, as concepções de decisão ótima, minimização e maximização não passam de abstrações teóricas. Em geral, de acordo com a teoria comportamental, as firmas consideram um número limitado de escolhas; procuram e avaliam soluções de uma maneira muito seqüencial e escolhem a primeira solução satisfatória (HAYTER, 1997).

A chave para a explicação comportamental à localização industrial é a maneira como as firmas percebem, codificam e avaliam informações e fatores influentes no processo cognitivo e de escolha. Por essa visão, as firmas são processadores de informações. PRED (1967 *apud* MARIOTTI, 2005) parte desse pressuposto para desenvolver a “matriz comportamental”, composta por quatro elementos chave:

- (i) o papel da informação limitada;
- (ii) a habilidade em usar informação;
- (iii) percepção e mapas mentais;
- (iv) incerteza.

Na matriz comportamental, as firmas são classificadas em duas dimensões:

- (i) a disponibilidade de informações; e
- (ii) a habilidade em usar as informações.

Pela matriz, entende-se que firmas bem informadas e com alta capacidade de processar informações aproximam-se do conceito de “homo economicus”, de maneira que venham a se localizar próximo ao ponto ótimo. Por outro lado, espera-se que firmas com informação limitada e baixa habilidade de processar informações venham a escolher localizações não muito lucrativas.

Como apresentado na primeira seção deste capítulo, enquanto a teoria de localização preocupa-se em sua maior parte com os fatores de atração locacional, a abordagem de realocização investiga tanto os fatores de atração quanto os de repulsão, consistindo normalmente de duas etapas: primeiro, a decisão de se mudar, e segundo, a decisão de escolha de outro sítio (MARIOTTI, 2005).

Essa descrição simplificada do processo de decisão é rejeitada pela abordagem comportamental, que propõe mais de duas etapas:

- (i) a decisão de mudar ou não;
- (ii) a busca por uma locação alternativa;
- (iii) a avaliação de locações alternativas; e
- (iv) a escolha na nova localização.

Uma quinta etapa pode ser adicionada, que diz respeito a estudos de avaliação da decisão. A decisão de realocização é, portanto, considerada como um processo de

decisão complicado, que pode envolver mais de uma etapa, além do *feedback* de algumas das etapas (KRUMMER, 1969 *apud* MARIOTI, 2005).

Na abordagem comportamental, custos de realocização são considerados bastante significativos, constituindo os custos reais de procura e aquisição de um novo sítio, os custos de desmantelamento, mudança e reconstrução das instalações existentes e a contratação e treinamento de novos empregados (MCCANN, 2001).

O reconhecimento dos custos de realocização aliado à informação imperfeita normalmente implica relutância das firmas em se moverem. No entanto, se elas precisarem se mover, estarão mais inclinadas a escolher localizações próximas, pois é difícil para o tomador de decisão imaginar a localização em sítios distantes.

Na abordagem comportamental, o importante é a percepção da realidade e não a realidade em si. *Mapas mentais e a percepção da configuração geográfica* são o que as pessoas usam ao tomarem decisões de cunho espacial (PELLENBARG, 1985 *apud* MARIOTI, 2005). Portanto, os custos de fatores no sentido neoclássico perdem sua importância na abordagem comportamental.

Na análise comportamental, os modelos teóricos neoclássicos dão lugar a questionários e trabalhos empíricos detalhados. Segundo MARIOTTI (2005), os estudos mais relevantes em realocização, tais como os de TOWNROE (1971), KEEBLE (1976, 1978), PELLENBARG (1985), LOUW (1996) e EBELS (1997), são primariamente baseados nos princípios comportamentais. Esses estudos oferecem descrições detalhadas dos motivos e razões para realocização, tanto em relação aos fatores locais de atração como de repulsão.

Em razão de ser uma abordagem que surgiu como alternativa à teoria clássica, a abordagem comportamental se utilizou muito escassamente de modelos explicativos, sendo uma das principais críticas a essa abordagem o fato de ela ser demasiado descritiva e exploratória.

Por outro lado, existiu uma maior preocupação com determinadas dimensões do ambiente empresarial, como a questão do investimento e crescimento da firma, negligenciada pela teoria clássica, que se mostrou mais preocupada com os fatores locais e principalmente sua ligação com os processos de produção internos da firma.

Outro aspecto salientado é o foco excessivo em fatores sociológicos, psicológicos e outros fatores sociais ou culturais “abstratos”, muitas vezes ignorando os fatores (neoclássicos) concretos (MARIOTTI 2005).

2.4 ABORDAGEM INSTITUCIONAL

As teorias neoclássica e comportamental serviram de base para um novo entendimento da geografia econômica, no entanto, essas abordagens convencionais sofreram consideráveis críticas, principalmente por considerarem as firmas como um tomador de decisões ativo num ambiente estático. Nas duas abordagens o ambiente é uma superfície dotada de fatores locais, ou um conjunto de informações que é processado pela firma (HAYTER, 1997).

Nos anos 80, entra em debate a visão de que as atividades econômicas em sua grande parte refletem as instituições culturais e sistemas de valores sociais. Segundo THRIFT e OLDS (1996 *apud* MARIOTTI, 2005) a atividade econômica situa-se social

e institucionalmente: ela é moldada pelas instituições culturais e sistemas de valores da sociedade e não pelo comportamento das firmas.

Enquanto os economistas ortodoxos, através de sua “nova geografia econômica” (*new economic geography*), identificavam o espaço como o fator chave na teoria econômica de localização (KRUGMAN, 1995; FUJITA *et al.*, 1999), muitos geógrafos econômicos se afastaram dessa visão, e agora são chamados “geógrafos institucionais” (Mariotti, 2005).

Para a teoria institucional, fatores institucionais ou externos (i.e. ajustes espaciais como expansões, fusões, aquisições, mas também confiança, reciprocidade, cooperação e convenções) desempenham um papel importantíssimo na economia, estrutura e funções de uma firma, assim como no funcionamento dos mercados e na forma de intervenção estatal.

O foco da teoria institucional é na interação entre firmas e não no seu comportamento como firmas individuais. O comportamento das firmas, quanto à localização, é resultado de suas estratégias de investimento considerando suas negociações com fornecedores, governo, sindicatos trabalhistas e outras instituições sobre preços, salários, impostos e subsídios, infra-estrutura e outros fatores-chave no processo produtivo da firma. O sucesso econômico tem menos a ver com as virtudes empreendedoras do homem econômico racional, do que com fundamentos coletivos como: interdependência entre agentes econômicos, e a presença de um sistema local de apoio aos negócios; um ambiente de diálogo, confiança e reciprocidade, e em alguns casos localizados, uma cultura de solidariedade cívica e social (TRIGILIA, 1986, PUTMAN, 1993 *apud* MARIOTTI, 2005).

2.5 ABORDAGEM EVOLUCIONISTA

Até recentemente, economistas evolucionistas têm chamado pouca atenção na área da geografia econômica. Segundo MARTIN (2003), talvez a principal razão do pouco impacto da economia evolucionista sobre os geógrafos econômicos, até agora, seja o fato deles considerarem a economia evolucionista e institucional como sendo a mesma coisa. Por isso, poucas têm sido as iniciativas em tentar utilizar os *insights* da economia evolucionista no campo da geografia econômica.

Essa seção faz uma breve revisão dos principais achados da aplicação do pensamento evolucionista na geografia econômica, e tenta conectá-los às teorias de localização e realocização. No entanto, assim como a teoria econômica evolucionista, a abordagem evolucionista para escolhas locacionais ainda está em uma fase muito recente de desenvolvimento.

A abordagem evolucionista de localização e realocização utiliza conceitos da biologia Darwiniana, tais como variação, seleção e determinismo (*path dependency*), no desenvolvimento econômico espacial (NELSON e WINTER, 1982 *apud* MARIOTTI, 2005). Esses conceitos evolucionistas chaves são traduzidos para a geografia econômica como inovação, competição e rotina. Determinismo e rotinas dizem respeito à relutância dos empreendedores em entrarem em novos ramos de atividades (novos produtos, novas técnicas, novos mercados) nos quais lhes falta experiência (BRONS e PELLENBARG, 2003), ou em mudar de localização.

O empreendedor tende a seguir o caminho no qual ele consiga utilizar seu conhecimento e experiência, adquiridos em outros mercados, normalmente ignorando rotas que possam ser igualmente promissoras, mas que apresentam riscos

desconhecidos. Isso pode muito bem gerar oportunidades inexploradas e conduzir a comportamentos sub-ótimos (BRONS e PELLENBARG; 2003).

Para a abordagem evolucionista, o conhecimento, do qual os distritos industriais se valem, depende de um processo de aprendizagem informal (*learning by doing*) e se adapta em função da flexibilidade das especializações (i.e a habilidade de se combinar produtos, força de trabalho e ferramentas de diversas maneiras diferentes), por essa razão, a principal característica conceitual da teoria recai sobre *evolução e determinismo* (AMIN, 1999).

As firmas relutam em se mover de seu contexto local porque elas competem com base em seus conhecimentos, rotinas e competências construídas com o passar do tempo em um ambiente local específico, e que são difíceis de serem copiadas por competidores (BOSCHMA, FRENKEN, 2004). Como consequência, o surgimento de aglomerações espaciais não é analisado como decorrente de decisões racionais de firmas e consumidores, mas da concentração de conhecimento localizado que cresceu ao longo de um período de tempo. Esse conhecimento encontra-se atrelado à rotina das empresas, assim como no seu relacionamento com outras firmas e outros atores. Enquanto a abordagem neoclássica é baseada em escolhas racionais, a abordagem evolucionista é fundada no comportamento de rotina.

Análises quantitativas e, mais especificamente, técnicas demográficas são usadas na abordagem evolucionista para descrever a entrada e saída de firmas do mercado, e como a sua sobrevivência depende de sua idade, localização e ramo de atuação.

Como a abordagem evolucionista para localização e realocação ainda se encontra em estágios recentes de desenvolvimento, os conhecimentos a respeito da realocação de firmas ainda não se encontram formalizados. Apesar disso, a

abordagem já apresenta um bom referencial teórico a respeito dos determinantes da realocização. O que se propõe é que as firmas se mostram menos propensas a realocização em razão do determinismo e da inércia.

2.6 COMPARAÇÃO E CONCLUSÃO

Os trabalhos analíticos anteriores a 1960 estavam preocupados em interpretar a localização de plantas individuais ou indústrias com base no arcabouço conceitual fornecido pela teoria neoclássica. O objetivo dessa teoria era a busca pela localização ótima em um determinado período de tempo, e foi muito apropriada para a análise de localização de indústrias básicas e pesadas como as de ferro e aço “que se encontravam na vanguarda do progresso industrial” (CHAPMAN, WALKER, 1987 *apud* MARIOTTI, 2005). A abordagem neoclássica tornou-se menos adequada para explicar o crescimento subsequente de grandes empreendimentos, que controlavam vários estabelecimentos, muitas vezes atuando em setores industriais distintos, que despontaram nos anos 60.

O rápido crescimento econômico dos anos 60, que resultou em um excepcional volume de investimentos em novos estabelecimentos industriais na Europa ocidental, América do Norte e Japão, provocou um aumento no interesse tanto do meio acadêmico como dos realizadores de políticas industriais pelas práticas de decisão de localização industrial. Durante esse período temos o nascimento da teoria locacional comportamental, focada na geografia, crescimento e comportamento da firma, que reconhecia a firma não mais como uma unidade otimizante, que toma decisões economicamente racionais, mas uma unidade que apresenta objetivos conflitantes, níveis limitados de conhecimento e de controle sobre o seu ambiente, irracionalidade nas percepções e comportamentos (KEEBLE, 1976 *apud* MARIOTTI, 2005).

Grande parte dos estudos de migração de empresas se valeu da abordagem comportamental, principalmente porque nos anos 60 as teorias locacionais (neo-) clássicas passaram a ser alvo de críticas, sendo consideradas irrealistas, não refletindo circunstâncias do “mundo real”.

Entre 1970 e 1980, houve um crescente interesse pelas instituições culturais da sociedade, sistema de valores e inovação. Esses novos padrões foram incorporados à uma nova abordagem, a abordagem institucional, que encara o comportamento das firmas como sendo resultado de suas negociações com uma variedade de agentes locais e nacionais.

A abordagem mais recente, que vem sendo desenvolvida desde o início de 1990, é uma teoria de tomada de decisão, embasada em princípios de economia evolucionista. Essa abordagem “evolucionista” é baseada em comportamentos rotineiros no lugar de escolhas racionais. Ao invés de descrever o comportamento de indivíduos ou firmas, como se eles otimizassem uma função, dada algumas restrições, economistas evolucionistas partem do pressuposto de que a maior parte do comportamento humano segue rotinas (BOSCHMA e FRENKEN, 2004).

Resumidamente, pode ser dito que na abordagem neoclássica a firma é vista como uma caixa preta que responde ao ambiente de maneira completamente racional. Na abordagem comportamental a firma é um sítio de tomada de decisões envolvendo conflitos, incertezas, aprendizado e adaptações. Nas abordagens institucionais e evolucionistas a firma é definida pelas suas interações com o ambiente em que se encontra (MARIOTTI, 2005).

A mudança da abordagem neoclássica para a comportamental, institucional e evolucionista, representou a mudança de foco nos fatores “concretos”, típicos da teoria

locacional clássica, para os fatores “abstratos” das demais abordagens. Essa mudança está relacionada com o que veio a ser chamado, pela geografia econômica, de “mudança cultural” ou “mudança institucional”, uma reorientação que pode ser verificada em todas as ciências sociais (BRONS e PELLENBARG, 2003).

Políticas que têm por objetivo promover um reordenamento centro-periferia pertencem à teoria neoclássica, mais preocupada com redução de custos dos fatores de produção (i.e. custos de transporte, trabalho e mercado). Em contraste, a abordagem comportamental dá ênfase a fatores menos concretos, como considerações próprias de cada firma. Por exemplo, ao se decidir por uma nova localização, as firmas tendem a escolher regiões mais próximas, uma vez que a falta de conhecimento das características de áreas mais distantes (incompletude de informação) as tornam menos suscetíveis de serem escolhidas. Além disso, as teorias institucionais e evolucionistas enfatizam que o comportamento humano é guiado por rotina e instituições, que fornecem a base para a tomada de decisões em um ambiente de incerteza.

Dessa forma, rejeita-se a visão atomista de atores econômicos que ignoram a contextualidade das ações humanas, que, na melhor das hipóteses, mantêm-se constantes. Com isso, não se pretende dizer que a economia evolucionista e institucional pressupõe que os agentes não têm por objetivo maximizar suas utilidades e retornos, mas que, no mundo real, os agentes não conseguem alcançar esses objetivos (MARIOTTI, 2005).

De acordo com a abordagem institucional, fatores não materiais como “confiança” e capital social, desempenham um papel em todos os níveis da economia. A decisão por localização e realocação das firmas é o resultado de interação da firma com fornecedores, governos, sindicatos trabalhistas, e outras instituições. Como

defendido pela economia evolucionista, firmas relutam em mudar sua localização porque elas competem com base em seus conhecimentos, rotinas e competências que são construídas com o tempo (e em um ambiente em particular) e que são difíceis de serem copiadas por possíveis concorrentes (BOSCHMA e FRENKEN, 2004).

Tabela 1: Abordagens Locacionais e Determinantes

Estrutura Teórica	Conceitos-chave / (fatores)	Custos de Relocação
<i>Teoria Neoclássica</i>	Situação de mercado, redução de custo (<i>Fatores Locacionais</i>)	-
<i>Teoria Comportamental</i>	Informação / habilidades / percepção / imagens (<i>Fatores Internos</i>)	√
<i>Teoria Institucional</i>	Redes, confiança, capital social (<i>Fatores Institucionais</i>)	√
<i>Teoria Evolucionária</i>	Dependência de Caminho, rotina (<i>Fatores Externos</i>)	√

Como apresentado na tabela 1, a relocação não acarreta em custos extras, para a teoria neoclássica, segundo a qual a firma decide se mudar quando a localização anterior não mais se encontra dentro das margens espaciais de lucratividade, e a nova locação possa vir a ser lucrativa. No entanto, no caso de relocação centro-periferia, incentivos regionais são necessários para compensar as deseconomias típicas dessa nova localização. Em contraste, de acordo com as outras abordagens, a firma, ao se realocar, enfrenta custos afundados.

A revisão das teorias locacionais nos mostrou que as abordagens institucionais, comportamentais e evolucionistas se sobrepõem e, em certa medida, tendem a complementar umas as outras. Isto deixa evidente a tendência de se combinar diferentes abordagens para explicar determinados fenômenos. MARTIN (1994 *apud* MARIOTTI,

2005) propôs uma geografia econômica multidimensional e multifacetada, na qual todas as diferentes abordagens se integram.

No que diz respeito às abordagens comportamental e institucional, PEN (2003 *apud* MARIOTTI, 2005), em sua tese de doutorado, defende que essas duas abordagens deveriam ser combinadas em uma única teoria. Pen afirma que, as pesquisas em realocização de firmas deveriam buscar uma maior integração das diversas teorias locais e, ao mesmo tempo, permitir um debate aberto entre essas teorias.

Isso nos levará a novas visões e a percepção de que idéias formuladas no passado ainda são valiosas. Além disso, geógrafos econômicos e economistas espaciais deveriam tentar integrar as abordagens qualitativa e quantitativa ao invés de debaterem os méritos relativos de cada uma.

No próximo capítulo o modelo COPPE-Cosenza (COSENZA, 2005) e o modelo de Tabelas de Decisão, proposto por WITLOX, BORGERS e TIMMERMANS (2004), serão apresentados como abordagens alternativas às abordagens de localização apresentadas aqui. Esses modelos partem do pressuposto inicial e definição clara do conceito de *adequabilidade locacional* e propõe resolver o problema da decisão locacional através de um processo hierárquico de casamento de requerimentos espaciais de produção, exigidos por uma atividade econômica, com um conjunto de características locais de um sítio em potencial.

Ambos os modelos têm a vantagem de contemplar tanto os fatores considerados mais concretos, característica da abordagem neoclássica, quanto os fatores mais abstratos, das demais abordagens aqui destacadas, além de metodologias próprias para a quantificação dos fatores abstratos das abordagens comportamentais, como

considerações pessoais dos tomadores de decisão, percepção do ambiente empresarial local, entre outras.

CAPÍTULO 3

MODELO COPPE-COSENZA E MODELO DE TABELAS DE DECISÃO MULTIDIMENSIONAIS

3.1 PRELIMINARES

Quando confrontadas com o problema de encontrar uma localização viável, atividades econômicas devem considerar a relevância de uma grande variedade de fatores locacionais. Em alguns casos, sítios potenciais precisam satisfazer condições específicas, caso contrário, devem ser descartados como uma opção de localização potencial. Em outros casos, projetos terão um valor ótimo em perspectiva, e a adequação da localização irá decrescer na medida em que a avaliação atual do local (sítio) divergir deste ponto ótimo.

De certa maneira, para um tomador de decisão, a escolha de localização tem tudo a ver com a tentativa de casar um número de requerimentos espaciais de produção, exigidos por uma atividade econômica, com um conjunto de características locacionais de um sítio em potencial (WITLOX, 2000).

A teoria de localização industrial não tem uma definição precisa para o termo *adequabilidade locacional*, ou *adequabilidade de sítio*. Adequabilidade locacional é definida de diferentes maneiras e por diferentes terminologias dependendo da abordagem adotada. Algumas vezes baseada em uma abordagem mais matemática, outras vezes, por abordagens puramente comportamental-cognitivas. No entanto, a definição do conceito de adequabilidade locacional está na maioria das vezes em concordância com a definição apresentada no parágrafo anterior, isto é, adequabilidade locacional para um tomador de decisão implica em encontrar uma ‘correlação positiva

entre os requerimentos de uma atividade econômica e as características de oferta das opções de localização (sítios), ou vice-versa’.

De acordo com o paradigma metodológico predominante, diferentes interpretações e definições do conceito de adequabilidade locacional têm sido apresentadas. Segundo a teoria de localização clássica e a teoria neoclássica, adequabilidade locacional não chega de fato a ser definida como um problema, uma vez que é assumida implicitamente. Nas abordagens comportamentais, segue-se uma análise mais indutiva, baseada em similaridades empíricas e associações estatísticas. Particular atenção, na escolha de um sítio, é dada à maneira pela qual os empreendedores avaliam as características locais e regionais das localidades em relação aos seus objetivos.

No entanto, apesar da importância das *percepções e preferências* ao se definir a adequabilidade de um sítio (dados comportamentais da tomada de decisão), deve estar claro que restrições estruturais e físicas também devem ser levadas em conta e avaliadas (dados estruturais). A esse respeito, a abordagem comportamental, de certo modo, mostra-se limitada e incapaz de atingir esse duplo objetivo em particular.

Em contraste, as abordagens clássicas / neoclássicas argumentam que, para se entender as mudanças na localização em uma indústria, é necessário examinar as mudanças nos requerimentos de produção desta indústria, assim como em seu ambiente geográfico. Os elementos estruturais são assumidos como predominantes; os elementos comportamentais são relegados a segundo plano e, por essa razão, as abordagens clássicas / neoclássicas também se mostram limitadas.

As críticas feitas a esses dois modelos de abordagem abriram o campo para o desenvolvimento de abordagens alternativas. Diversos autores defenderam uma teoria que reconhecesse a existência de um equilíbrio entre escolhas e restrições. Essa nova

abordagem deveria integrar perspectivas teóricas distintas, tanto comportamentais como estruturais, além de encarar a noção de adequabilidade locacional como um problema de casamento entre as demandas da empresa e ofertas de fatores pelos sítios em questão (WITLOX, 2000).

Dessa forma, a abordagem daria importância a comportamentos específicos de cada atividade econômica a ser avaliada, assim como a suas limitações estruturais. Estabelecer uma relação entre os meios e as finalidades remete a um problema de casamento ou hierarquização de prioridades. Isso quer dizer que um ambiente potencial para produção, caracterizado por uma diversidade de fatores locais, somente pode ser considerado um sítio adequado se as características de oferta do ambiente casarem com os requerimentos de produção exigidos por uma firma. Inevitavelmente, companhias terão que fazer concessões (*trade-offs*) entre esses dois elementos (fatores ofertados pela locação e os requerimentos demandados pela firma), levando assim a uma escolha adequada (ou quasi-ótima) de sítio.

A seguir, descrevemos brevemente dois modelos de localização que propõem essa abordagem integrada, o Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza e o Modelo de Tabelas de Decisão Multidimensionais, proposto por WITLOX, BORGERS e TIMMERMANS (2004). O Modelo COPPE-Cosenza realiza uma análise hierárquica das diferentes opções locais através de operações matriciais fuzzy, confrontando a oferta e demanda de fatores locais. Nesse confronto, atribui-se a cada um dos fatores locais um peso de acordo com sua importância para cada um dos setores ou projetos industriais a serem analisados. Para tanto, são elaboradas duas matrizes (uma matriz de necessidades e uma de disponibilidades), cuja agregação por produto, utilizando procedimentos heurísticos com auxílio de um oráculo, gera uma nova matriz (a matriz de resultados) que apresenta de forma hierarquizada as localidades mais

adequadas para localização dos setores / projetos que compõem o universo de estudo. Já o modelo de F. Witlox utiliza tabelas de decisões multidimensionais, estabelecendo regras para o confronto, caso a caso, das demandas e ofertas dos fatores locais. Ambos os modelos utilizam o ferramental fuzzy para mensuração e manipulação computacional das variáveis qualitativas.

3.2 MODELO DE TABELAS DE DECISÃO MULTIDIMENSIONAIS

O modelo de localização proposto por WITLOX, BORGERS e TIMMERMANS (2004) utiliza expressões lógicas do tipo IF, THEN... ELSE, em conjunção com tabelas de decisões multidimensionais. A opção pela utilização dessas regras se dá em razão de sua flexibilidade, suficiente para representar uma variedade de regras de decisão. Sua natureza “crisp” (ou exata), no entanto, implica a falta de uma teoria do erro, limitando em alguns casos o realismo desse tipo de sistema, por essa razão, Witlox propõe a utilização da teoria dos conjuntos fuzzy, que procura contornar essa limitação.

Assim como o modelo COPPE-Cosenza o modelo de Tabela de Decisões Multidimensionais se utiliza da opinião de especialistas sobre os fatores relevantes para a localização para se chegar a melhor opção locacional. De maneira diferente, no entanto, o modelo de Witlox propõe, através de processos estatísticos de estimação, a elaboração de parâmetros - ou valores de pertinência, por se tratar de uma abordagem fuzzy - mais adequados para cada um dos fatores (ou condições) de localização baseado na frequência com que cada uma das opções disponíveis é escolhida pelos especialistas.

Uma Tabela de Decisão (DT, sigla da terminologia em inglês *Decision Table*) consiste de um conjunto exaustivo de condições mutuamente excludentes, que levam a uma ação em particular. Cada DT consiste de 4 quadrantes: conjunto de condições [C_i];

conjunto de ações $[A_i]$; espaço das condições [Espaço (C_i)]; e espaço das ações [Espaço (A_i)]. O conjunto das condições consiste de todas as condições relevantes ou atributos (entradas, premissas ou causas) que têm influência no processo de tomada de decisão. O espaço das condições especifica todos os possíveis estados de uma condição. O conjunto de ações contém todas as possíveis ações que um tomador de decisões pode tomar com respeito a uma determinada combinação de estados de condições; é o conjunto de ações para todas as possíveis escolhas. Finalmente o espaço de ações contém a categorização de todos os possíveis estados de uma ação.

Uma coluna da DT, que ligue o espaço das condições ao espaço das ações, produz uma regra de decisão.

Área do Problema	
Conjunto de Condições	Espaço das Condições
Conjunto de Ações	Espaço das Ações

Figura 1: Estrutura Geral de uma Tabela de Decisão

Tradicionalmente, tabelas de decisões (DT's) são *crisp*, indicando que as condições são especificadas de modo preciso. Um problema potencial de tais DT's é que erros nas mensurações não são levados em conta. Tabelas de decisões fuzzy (FDT's) oferecem uma solução para esse problema. Uma FDT é uma versão estendida de uma DT *crisp* que consegue lidar com situações permeadas de vagueza e imprecisão, uma vez que utiliza a teoria dos conjuntos fuzzy para representar os estados das condições e ações na DT.

A formalização da FDT segue um procedimento direto de fuzzificação dos estados das condições e dos estados das ações. Conseqüentemente, através de operações

matemáticas fuzzy, as regras aparecerão na forma de um índice fuzzy. Seguindo a teoria dos conjuntos fuzzy, aos estados das condições, assim como aos estados das ações, são atribuídos níveis de pertinências e valores de suporte, de modo que cada estado de condição fuzzy (FCS) possua um nível de pertinência.

Dessa maneira, o conjunto de regras de decisão fuzzy é definido como se segue:

$$\mu_{RULE_r} = \mu_{1x_{1r}}(C_1) \mu_{2x_{2r}}(C_2) \dots \mu_{ix_{ir}}(C_i); \forall r \in \{1, \dots, R\}. \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_{k=1}^{n_i} \mu_{ik}(C_i) = 1; \forall i \in \{1, \dots, I\}; \quad (2)$$

onde $\mu_{ix_{ir}}(C_i)$ é a pertinência do estado de condição r relativo a condição I e n_i o número de estados da condição i.

A restrição declara que o valor da função de pertinência associada ao estado de condição fuzzy na FDT deve ser igual a 1. Portanto, o modelo defende uma abordagem fuzzy probabilística.

Chamando $\mu_{ix_{ir}}(C_i)$ por $\alpha_{ix_{ir}}$ o modelo a ser estimado toma a seguinte forma:

$$\mu_{RULE_r} = \alpha_{1x_{1r}} \alpha_{2x_{2r}} \dots \alpha_{ix_{ir}}; \forall r \in \{1, \dots, R\} \quad (3)$$

Sujeito a

$$0 \leq \alpha_{ix_{ir}} \leq 1; \forall r \in \{1, \dots, R\}; \forall i \in \{1, \dots, I\} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{n_i} \alpha_{ix_{ir}} = 1; \forall i \in \{1, \dots, I\} \quad (5)$$

Para o Modelo ter consistência, a seguinte relação deve ser satisfeita:

$$\sum_{r=1}^R \mu_{RULE_r} = 1 \quad (6)$$

O modelo propõe portanto que, dado um determinado numero de condições e estados dessas condições, por meio da avaliação de especialistas, seja possível estimar parâmetros para as pertinências dos estados das condições no intervalo [0, 1]. Utiliza-se para isso a estimação por Máxima Verossimilhança e a definição formal do problema pode ser escrito da seguinte forma:

$$L(Q) = \prod_{z=1}^Z (\mu_{RULE_z})^{f_{RULE_z}} \quad (7)$$

onde f_{RULE_z} é a frequência de escolha da regra $z \in \{1, \dots, Z\}$ pelos especialistas.

A função log de máxima verossimilhança pode então ser escrita como:

$$L^*(Q) = \prod_{z=1}^Z f_{RULE_z} \ln(\mu_{RULE_z}) \quad (8)$$

Substituindo μ_{RULE_z} pelo seu respectivo conjunto de estados de condições o resultado é como se segue:

$$L^*(Q) = \prod_{z=1}^Z f_{RULE_z} \ln \left[\sum_{S_z} \alpha_{1x_{1z}} \alpha_{2x_{2z}} \dots \alpha_{ix_{iz}} \right]; \forall z \in \{1, \dots, Z\} \quad (9)$$

a função *log* de máxima verossimilhança é então maximizada em relação ao parâmetros $\alpha_{ix_{iz}}$, sujeita às restrições (4), (5) e (6).

A elaboração de parâmetros para cada um dos fatores, de modo genérico, permite que se confronte as ofertas específicas de cada região com os parâmetros estimados de maneira a verificar o quão próximo elas se encontram desses parâmetros. O modelo evidencia, assim, uma abordagem hierárquica, permitindo que se elabore um ranking das regiões estudadas com base na adequabilidade de seus fatores locais (condições) aos parâmetros estimados.

O modelo desenvolvido por Witlox produz resultados de estimação válidos, deduzidos através de um método direto dos dados colhidos. Além disso, a abordagem é multidimensional e seus resultados se adaptam muito bem às tabelas de decisão. Um dos problemas do modelo, no entanto, é a coleta de dados. Resultados mais precisos só podem ser estimados ao se utilizar a versão expandida das tabelas de decisão. Trabalhar com tabelas de decisão expandidas requer que os dados sejam coletados no nível individual das regras de decisão (avaliadas pelos especialistas), de maneira que, quanto maior o número de condições e de estados das ações em uma DT, maior o número de regras a serem avaliadas pelos especialistas.

3.3 MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (MAH) COPPE-COSENZA

A explicação que se segue do Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza encontra-se no capítulo 8 de livro *Projetos Empresariais e Públicos* (CLEMENTE, 2002).

O Modelo COPPE de Análise Hierárquica é, basicamente, uma operação com matrizes que representam a demanda por fatores de localização por parte de (h) tipos de indústrias expressa através de (n) atributos de desempenho, e a oferta dos (n) atributos de desempenho por (m) zonas elementares de planificação ou sítios locais:

Inicialmente, os fatores estratégicos para cada tipo de indústria são classificados como Cruciais (A), Condicionantes (B), Pouco Condicionantes (C) e Irrelevantes (D). Em seguida, constrói-se uma matriz de demanda (tipo de indústria versus fatores estratégicos) em que a classificação mencionada é substituída por critérios de pesos, de acordo com as seguintes regras:

- i. o número de pontos atribuídos a um fator condicionante deve ser maior do que a soma dos pontos atribuídos aos demais fatores pouco condicionantes e irrelevantes;
- ii. o número de pontos atribuídos a um fator pouco condicionante deve ser maior do que a soma dos pontos atribuídos aos fatores irrelevantes;
- iii. a inexistência de um fator crucial elimina a alternativa de localização.

Como passo seguinte, define-se outra matriz, de oferta (fatores estratégicos versus zonas elementares) que fornece a indicação da existência ou ausência de cada fator estratégico em cada zona elementar. A definição de existência leva em conta os requisitos mínimos dos diferentes ramos da indústria.

O produto da primeira pela segunda matriz resulta em uma nova matriz (tipos de indústria versus zonas elementares), que indica, para cada tipo de atividade industrial, as zonas elementares mais atraentes. Essa matriz também fornece informações, tanto para a orientação da política governamental de investimentos e incentivos, quanto para o empresário:

- i. a média ponderada dos elementos de uma determinada linha fornece um índice para o conjunto da área em estudo frente às demandas do correspondente ramo da indústria;
- ii. a média ponderada dos elementos de uma determinada coluna fornece um índice para o conjunto das atividades industriais em relação à correspondente zona elementar.

A formulação mais simples e menos exigente em relação a informações estatísticas consiste em duas matrizes binárias para representar a demanda e oferta, conforme segue:

$A = (a_{ij})_{m \times n}$, demanda industrial de h atividades industriais relativamente a n fatores de localização;

$B = (b_{jk})_{n \times m}$, oferta de n fatores de localização por m zonas elementares de planificação.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a demanda do fator for Crucial ou Condicionante} \\ 0, & \text{se a demanda do fator for Pouco Condicionante ou Irrelevante} \end{cases}$$

$$b_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{se a oferta do fator for Crucial ou Condicionante} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Seja $C = A \times B = (c_{ik})_{h \times m}$ a matriz produto representativa das possibilidades de localização dos h tipos de indústrias nas m zonas elementares de planificação, tal que $\max_k(c_{ik})$ indica a melhor localização para a atividade industrial i , e $\max_i(c_{ik})$, o melhor tipo de indústria para a zona elementar k .

Para dois elementos genéricos, a_{ij} e b_{jk} , o produto $a_{ij} \otimes b_{jk}$ é definido como sendo uma operação binária, como segue:

Tabela 2: Operação Produto $a_{ij} \otimes b_{jk}$

$a_{ij} \otimes b_{jk}$	0	1
0	$1/n^2$	$1/n$
1	0	1

onde n é o número de fatores considerados na análise e as linhas representam os níveis de demanda.

Seja $E = (e_{il})_{h \times h}$ a matriz diagonal construída da seguinte forma:

$$E_{il} = \begin{cases} 0, & \text{se } i \neq l \\ 1/\sum_j a_{ij}, & \text{se } i = l \end{cases}$$

Defina-se, ainda, $D = (EC) = (d_{ik})_{h \times m}$ como a matriz representativa das possibilidades de localização dos h tipos de indústrias nas m zonas elementares de planificação, agora representados por índices em relação aos fatores de localização demandados. Cada elemento d_{ik} da matriz D representa o índice dos fatores de localização satisfeitos na localização do tipo de indústria i na zona elementar de planificação k .

Se o índice $d_{ik} > 1$ significa que a zona elementar de planificação de ordem i oferece melhores condições de localização de que as demandadas pelo tipo de indústria de ordem k , enquanto que se $d_{ik} < 1$ indica que ao menos um dos fatores demandados não foi atendido.

De posse dessas informações pode-se ainda definir os seguintes índices médios:

$$t_i = 1/m \sum_k d_{ik}; \quad i = 1, 2, \dots, h$$

$$z_k = 1/h \sum_i d_{ik}; \quad k = 1, 2, \dots, m$$

que indicam a disponibilidade média de recursos locacionais do território para cada tipo de indústria i , e o potencial médio de recursos locacionais de cada zona

elementar de planificação k , frente ao conjunto de atividades industriais, respectivamente.

Dependendo da disponibilidade de informações estatísticas, pode-se alterar a matriz A , de dois para quatro níveis. Nesse caso, a classificação da demanda em *Crucial*, *Condicionante*, *Pouco Condicionante* e *Irrelevante* faz-se corresponder uma classificação da oferta, por exemplo, em *Disponível*, *Disponível com Restrições*, *Disponível com Pesadas Restrições* e *Ausente*. Em seguida, deve-se redefinir a operação produto como se segue:

Tabela 3: Operação Produto $a_{ij} \otimes b_{jk}$

$a_{ij} \otimes b_{jk}$	A	B	C	D
A	1	0	0	0
B	$1+1/n$	1	0	0
C	$1+2/n$	$1+1/n$	1	0
D	$1+3/n$	$1+2/n$	$1+1/n$	1

Onde n é o número de fatores considerados e as linhas representam os níveis de demanda.

Esse modelo, como se percebe, fornece informações tanto para o planejamento privado quanto para o público. Do ponto de vista privado, a decisão terá de levar em conta não apenas o nível de atendimento das demandas gerais de certo projeto, mas também a disponibilidade dos fatores específicos requeridos. Do ponto de vista do setor público, é possível identificar oportunidades de investimentos e necessidades de investimentos e, dessa forma, subsidiar a política industrial e de desenvolvimento regional.

Outra possibilidade relevante nesse contexto consiste na realização de simulações por meio do modelo para, dessa forma, obter indicações do retorno de projetos públicos. Projetos públicos que alteram a oferta territorial de fatores estratégicos podem ser simulados e seus efeitos sobre as atividades das diferentes zonas elementares, bem como da área em estudo como um todo, podem ser avaliados.

As possibilidades de simulação, entretanto, são ainda mais amplas. Pode-se por exemplo, incluir na análise apenas um conjunto de segmentos industriais de interesse, especificado segundo o potencial de integração com atividades já instaladas na região ou segundo os objetivos estratégicos de desenvolvimento. Além disso, o conjunto de fatores pode variar em amplitude e em nível de detalhe, procurando-se a maior aproximação possível com os critérios de decisão do investidor.

3.4 VERSÃO “FUZZY” DO MODELO COPPE-COSENZA

De acordo com COSENZA (2009), o conceito de Distância Assimétrica (DA) não satisfaz as restrições da álgebra Euclidiana e não pode capturar a riqueza ulterior que torna possível estabelecer uma hierarquia mais estrita. Por essa razão, a versão fuzzy do Modelo COPPE-Cosenza foi estruturada para avaliar alternativas locacionais usando a aritmética de números fuzzy. Operações aritméticas ou relacionais com números fuzzy podem ser realizadas, utilizando o “princípio de extensão” (ZADEH, 1973).

A intenção do modelo é encontrar uma medida de distância que satisfaça as propriedades de simetria não satisfeitas pela distância assimétrica retilínea. O modelo define, portanto, dois espaços fuzzy: um para o conjunto de demandas e outro para o

conjunto de potencialidades regionais; avaliando as distâncias entre elementos idênticos dos dois conjuntos.

Cada espaço definido por números fuzzy é delimitado por meio de graus de pertinência dos fatores para um determinado elemento do suporte. Os suportes para o requerimento dos fatores são estabelecidos em quatro níveis, a saber: CRÍTICO, CONDICIONANTE, POUCO CONDICIONANTE e IRRELEVANTE, para a função de demanda A e EXCELENTE, BOM, REGULAR e FRACO, para a função de oferta B .

Devido à ambigüidade, vagueza e imprecisão que caracterizam a demanda e a oferta (conjuntos fuzzy A e B), dados e informações devem ser filtrados por *experts* e inferidos por meio de uma corrente cognitiva. O modelo postula, portanto, uma medida de distância mediante um operador de relação de pertinência. Uma relação fuzzy é um conjunto fuzzy num espaço multidimensional dado pelo produto cartesiano. Uma relação binária fuzzy de A e B é expressa por uma matriz do tipo:

Tabela 4: Relação Binária Fuzzy de A e B

	b_1	b_2	L	b_{m-1}	b_m
a_1	$\mu_c(a_1, b_1)$	$\mu_c(a_1, b_2)$	L	$\mu_c(a_1, b_{m-1})$	$\mu_c(a_1, b_m)$
a_2	$\mu_c(a_2, b_1)$	$\mu_c(a_2, b_2)$	L	$\mu_c(a_2, b_{m-1})$	$\mu_c(a_2, b_m)$
\uparrow	\uparrow	\uparrow		\uparrow	\uparrow
a_n	$\mu_c(a_n, b_1)$	$\mu_c(a_n, b_2)$	L	$\mu_c(a_n, b_{m-1})$	$\mu_c(a_n, b_m)$

Onde μ_c é um coeficiente fuzzy resultante de uma regra operacional definida, que explica, neste caso, o grau de adequabilidade ou de atendimento de a_i por b_i . Na

teoria clássica dos conjuntos, $a_i = b_i = x_i$, i.e., x_i pertence aos conjuntos A e B também, definido de acordo com suas características.

Nesta versão fuzzy, a_i é um coeficiente fuzzy da demanda e b_i é um coeficiente fuzzy produzido por um atributo existente. A é um conjunto abstrato fuzzy procurando em B elementos de pertinência idêntica ou próxima à sua própria pertinência. O elemento i de A não é necessariamente igual ao elemento i de B .

A distância entre os elementos i dos conjuntos A e B , fatores de demanda e oferta, excluída a restrição clássica necessária, é definida de forma precisa pela matriz de relações de pertinência como se segue:

- Seja $A = (a_{ij})_{h \times n}$ e $B = (b_{jk})_{n \times m}$ matrizes representando, respectivamente, demandas industriais por h tipos de firmas relativamente a n fatores de localização e a oferta de fatores por m alternativas de localização.

Seja $F = \{f_i \mid i = 1, \dots, n\}$ um conjunto finito de fatores de localização denominado genericamente de f . Então, o conjunto fuzzy \tilde{A} em F é um conjunto de pares ordenado:

$$\tilde{A} = \{(f, \mu_{\tilde{A}}(f) \mid f \in F)\}$$

\tilde{A} é uma representação fuzzy da matriz de demanda A , onde $\mu_{\tilde{A}}(f)$ representa o grau de importância dos fatores:

Crítico – Condicionante – Pouco Condicionante – Irrelevante

Similarmente, seja $\tilde{B} = \{(f, \mu_{\tilde{B}}(f)) \mid f \in F\}$, onde \tilde{B} é uma representação fuzzy da matriz de oferta B. $\mu_{\tilde{B}}(f)$ representa o grau de atendimento dos fatores disponíveis pelas diferentes alternativas de localização:

Superior – Bom – Regular – Fraco

Seja $\tilde{A} = \{a_i \mid i=1, \dots, m\}$ o conjunto de fatores gerais demandados por diferentes tipos de projetos.

Tabela 5: Matriz \tilde{A} - Fatores demandados pelos Projetos

	f_1	f_2	...	f_j	...	f_n
	w_1	w_2	...	w_j	...	w_n
\tilde{A}_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
\tilde{A}_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
:	:	:	...	:	...	:
\tilde{A}_j	a_{j1}	a_{j2}	...	a_{jj}	...	a_{jn}
:	:	:	...	:	...	:
\tilde{A}_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mn}

Onde,

- $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_m$: conjunto demandado pelos projetos;
- f_1, f_2, \dots, f_n : conjunto de fatores;
- w_1, w_2, \dots, w_n : importância associada aos fatores;
- a_{ij} : coeficiente fuzzy do projeto i relacionado ao fator j (grau de importância do fator para o projeto).

Considerando $B = \{b_k \mid k=1, \dots, m\}$ o conjunto de localizações alternativas nas quais está contido $F = \{f_k \mid k=1, \dots, n\}$, conjunto dos fatores comuns aos vários projetos.

Tabela 6: Matriz \tilde{B} - Oferta de fatores pelas Localizações Alternativas

	B_1	B_2	...	B_k	...	B_m	
f_1	w_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1k}	...	b_{1m}

f_2	w_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2k}	...	b_{2m}
:	:	:	:	...	:	...	:
f_j	w_j	b_{j1}	b_{j2}	...	b_{jk}	...	b_{jm}
:	:	:	:	...	:	...	:
f_n	w_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nk}	...	b_{nm}

Onde,

- B_1, B_2, \dots, B_m : conjunto das localizações alternativas;
- f_1, f_2, \dots, f_n : conjunto dos fatores ofertados por B;
- w_1, w_2, \dots, w_n : nível de oferta dos fatores;
- b_{jk} : coeficiente fuzzy da alternativa k em relação ao fator j.

Operações de Matrizes (Modelo Básico)

Seja $C = A \otimes B = (c_{ik})_{h \times m}$ a matriz que representa as possibilidades de localização para a firma i na área de planificação k, de forma $\max_k \{c_{ik}\} = \bar{c}_i$ que determina a melhor localização para o tipo de projeto i e $\max_i \{c_{ik}\} = \bar{c}_k$ indica o melhor tipo de projeto para a alternativa de área k.

Tabela 7: Regra para o Produto (\otimes) de A e B

		Oferta de fatores (\tilde{B})				
		$a_{ij} \otimes b_{jk}$	0	.	.	1
Demanda por fatores (\tilde{A})	0	0 ⁺	.	.	.	0 ⁺⁺
	.	1				
	.		1			
	.			1		
	1	0	.	.	.	1

Onde, c_{ik} é o coeficiente fuzzy da alternativa k com relação ao projeto i e, $0^+ = 1/n!$ $0^{++} = 1/n$ (onde, n – número de fatores considerados).

Entre o intervalo $[0, 1]$ estão incluídos todos os valores de suporte de A e B, inicialmente identificados como variáveis linguísticas, como mostrado a seguir:

Tabela 8: Variáveis Linguísticas para b_{jk} e a_{ij}

FATORES	b_{jk}			a_{ij}
	Graus para as alternativas k_i			Importância para o projeto
	B_1	B_2	B_3	
f_1	Fraco	Fraco	Superior	Condicionante
f_2	Fraco	Superior	Bom	Crítico
f_3	Bom	Superior	Bom	Crítico
f_4	Fraco	Superior	Bom	Pouco Condicionante
f_5	Regular	Fraco	Fraco	Irrelevante
f_6	Superior	Superior	Superior	Condicionante
f_7	Bom	Bom	Bom	Crítico

Onde,

- a_{ij} : coeficiente do grau de importância do fator j em relação ao projeto i;
- b_{jk} : coeficiente resultante do nível dos fatores disponíveis na área k.

Os valores de suporte possuem suas representações de pertinência dadas por um modificador clássico, $\mu_{A^{\alpha}}(x) = [\text{sup}(x)]^{1/2} \alpha$.

A seguir, algumas regras operacionais que podem definir a distância entre os elementos de duas matrizes:

- Matriz Diagonal Inferior \tilde{C}_{ik}

Tabela 9: Matriz Diagonal Inferior \tilde{C}_{ik}

$a_{ij} \otimes b_{jk}$	A	B	C	D
A	1	0	0	0
B	1+1/n	1	0	0
C	1+2/n	1+1/n	1	0
D	1+3/n	1+2/n	1+1/n	1

ii). Matriz de Diferença de Pertinências \tilde{c}_{ik}

Tabela 10: Matriz de Diferença de Pertinências \tilde{c}_{ik}

$a_{ij} \otimes b_{jk}$	0	$\mu_{B_0}(x)$	1
0	0^+	.	0^{++}
.		1	$1 + [\mu_{B_0}(x) - \mu_{\bar{A}}(x)]$
$\mu_{\bar{A}_0}(x)$		1	
.	$1 + [\mu_{B_0}(x) - \mu_{\bar{A}}(x)]$		1
1	0	.	1

iii). Matriz de Relacionamento de Pertinências \tilde{c}_{ik}

Tabela 11: Matriz Relacionamento de Pertinências \tilde{c}_{ik}

	0	$\mu_{B_1}(x)$	$\mu_{B_2}(x)$	$\mu_{B_3}(x)$	$\mu_{B_4}(x)$
0	1/n!	$\frac{1}{(n-3)}$	$\frac{1}{(n-2)}$	$\frac{1}{(n-1)}$	$\frac{1}{n}$
$\mu_{A_1}(x)$	0	1	$1 + \frac{\mu_{B_1}(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu_{B_2}(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu_{B_3}(x)}{n}$
$\mu_{A_2}(x)$	0	$\frac{\mu_{B_1}(x)}{\mu_{A_2}(x)}$	1	$1 + \frac{\mu_{B_1}(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu_{B_2}(x)}{n}$

$\mu_{A_3}(x)$	0	$\frac{\mu_{B_1}(x)}{\mu_{A_3}(x)}$	$\frac{\mu_{B_2}(x)}{\mu_{A_3}(x)}$	1	$1 + \frac{\mu_{B_1}(x)}{n}$
$\mu_{A_4}(x)$	0	$\frac{\mu_{B_1}(x)}{\mu_{A_4}(x)}$	$\frac{\mu_{B_2}(x)}{\mu_{A_4}(x)}$	$\frac{\mu_{B_3}(x)}{\mu_{A_4}(x)}$	1

CAPÍTULO 4

O POTENCIAL REGIONAL DE OFERTA DE TRANSPORTE AÉREO EM TERMOS FUZZY

4.1 GENERALIDADES

Neste capítulo, descrevemos a abordagem adotada para determinar e representar o potencial regional de transporte aéreo em termos *fuzzy*. Esta abordagem, conforme já mencionado, é feita com o auxílio dos procedimentos heurísticos do Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza de localização industrial. Em nossa proposta, esse potencial é admitido como sendo formado apenas pelos atributos físicos, operacionais e ambientais de infra-estrutura aeroportuária existente ou potencial, adequadamente formalizados por conjuntos fuzzy.

A abordagem, portanto, envolve a replicação do Modelo COPPE-Cosenza, explorando os procedimentos metodológicos de sua versão *fuzzy*, para o fator locacional específico *transporte aéreo*. A proposta envolve a parametrização, em termos *fuzzy*, dos *requisitos técnicos* do transporte aéreo relativos à infra-estrutura aeroportuária e os correspondentes *atributos* que uma região deve ter para viabilizar uma oferta de infra-estrutura potencialmente capaz de atender tais *requisitos*.

Para tanto, nossa análise estará centrada na descrição e mensuração dos aspectos físicos, operacionais e de desenvolvimento desses requisitos e atributos, visando a explicitar a usual valoração numérica e/ou lingüística adotada por especialistas para expressar *níveis de requerimento* (demanda) e *potenciais de atendimento* (oferta / disponibilidade), e suas eventuais *gradações / variações*.

Tal como no Modelo COPPE-Cosenza, começamos com a descrição da ‘demanda’ dos projetos industriais / tecnológicos por transporte aéreo, isto é, dos segmentos de aviação passíveis de serem demandados por tais projetos. Caracterizados pelos parâmetros de desempenho das aeronaves empregadas, tais segmentos definem os níveis de demanda por transporte aéreo desses projetos, estabelecendo os requisitos específicos de capacidade da infra-estrutura aeroportuária de apoio.

Em seguida, descrevemos a oferta, em termos de *capacidade* dos atributos de *área e espaço aéreo, acessibilidade viária e resiliência ambiental*, que as regiões devem apresentar para serem consideradas potencialmente capazes de ofertar infra-estrutura em condições de atender a esses níveis de demanda. Essa capacidade deve incluir considerações das *condições físicas, operacionais, ambientais e de desenvolvimento requeridas da infra-estrutura aeroportuária para atender às demandas do tráfego*.

Finalmente, os procedimentos heurísticos do Modelo COPPE-Cosenza, relativos à construção da matriz de oferta dos fatores pelas regiões, são aplicados, gerando como resultado um vetor ou uma matriz de componentes hierarquizados *fuzzy*, que constitui a representação do *potencial regional de oferta de serviços de transporte aéreo*, conforme proposta desta dissertação.

4.2 SERVIÇOS AÉREOS DEMANDADOS POR PROJETOS INDUSTRIAIS / TECNOLÓGICOS

A demanda de projetos industriais e tecnológicos por serviços aéreos inclui, em princípio, todos os possíveis segmentos de aviação ofertados pela indústria do transporte aéreo⁶. Porém, na prática, é comum a referência a apenas três segmentos: (1) *aviação comercial* (transporte de passageiros, carga de porão, *pallets*, contêineres etc., doméstico e internacional, regular e não regular); (2) *aviação geral* (táxi aéreo – transporte de passageiros eventuais e carga expressa); e (3) *aviação executiva* (transporte de executivos e carga expressa). É comum, também, que a demanda por transporte aéreo de uma determinada indústria seja expressa indicando o segmento ou segmentos de aviação que ela requer ou poderá requerer para viabilizar suas atividades de produção.

No âmbito da modelagem COPPE-Cosenza, a matriz de demanda por transporte aéreo da indústria (ou indústrias) seria construída conforme exemplo hipotético mostrado na matriz da Tabela 12 a seguir:

Tabela 12: Matriz de Demanda das Indústrias por Serviços Aéreos

	Segmentos do Transporte Aéreo		
	Aviação Geral	Aviação Executiva	Aviação Comercial
Indústria _A	CRUCIAL	CONDICIONANTE	IRRELEVANTE
Indústria _B	CRUCIAL	IRRELEVANTE	IRRELEVANTE
....
Indústria _I	IRRELEVANTE	CONDICIONANTE	IRRELEVANTE
....
Indústria _N	CRUCIAL	IRRELEVANTE	CONDICIONANTE

⁶ Por indústria do transporte aéreo, são entendidos todos os diferentes tipos de transportadores aéreos: companhias aéreas prestadoras de serviços aéreos públicos regulares, prestadores de serviços aéreos privados (táxi aéreo), transportadores especializados (carga aérea, carga perigosa) etc.

Uma consulta a essa matriz mostra claramente que a demanda da Indústria A por transporte aéreo é de:

(1) *aviação geral* - para transporte de passageiro eventual, em nível de requerimento CRUCIAL;

(2) *aviação executiva* - para transporte de passageiro executivo, em nível de requerimento CONDICIONANTE; e

(3) *aviação comercial* - para transporte de carga, em nível de requerimento CONDICIONANTE.

Para uma determinada indústria, considerados esses níveis de requerimento, uma região que apresentasse potencial de oferta no nível da aviação comercial teria precedência de escolha sobre outra cujo potencial de oferta atendesse apenas a aviação geral ou executiva. Os motivos disto encontram-se estreitamente relacionados aos requisitos de infra-estrutura aeroportuária das aeronaves empregadas nesses segmentos.

A rigor, no processo de avaliação de regiões para fins de localização industrial, os níveis de requerimento da demanda deveriam internalizar informações sobre *volumes e tipos de tráfego* dos segmentos demandados pelas indústrias. Nesta proposta, porém, na qual o objetivo é determinar o potencial regional de oferta de transporte aéreo, os níveis de requerimento adotados relaxam informações sobre volumes de tráfego, incluindo exclusivamente informações pertinentes aos tipos ou segmentos de tráfego. Tais informações restringem-se às características técnico-operacionais das aeronaves empregadas nesses segmentos, particularmente as características de performance que definem os requisitos dessas aeronaves em relação à infra-estrutura aeroportuária e área de entorno.

Como principais requisitos das aeronaves empregadas nesses segmentos, destacam-se os comprimentos de pista e os gabaritos das superfícies de proteção ao voo.

Complementarmente, são incluídos também os requisitos de acessibilidade viária de superfície e os requisitos de resiliência ambiental.

Comprimentos de pistas requeridos por aeronaves típicas da aviação comercial variam de 2.100 a 3.600m. Contudo, é importante notar que não é válido admitir que quanto maior a aeronave, maior o comprimento de pista requerido. Para grandes aeronaves, a etapa de vôo também influi no comprimento de pista requerido. Portanto, na análise desse requisito, estimativas das etapas de vôo são importantes. Já para a aviação geral, os comprimentos de pista requeridos raramente excedem 600m, enquanto para a aviação executiva ficam em torno de 1.500m.

Superfícies de aproximação e decolagem para aeronaves da aviação geral têm rampas normalmente de 5% (1/20), diminuindo para 4% (1/25), para aeronaves da aviação executiva. Já para as aeronaves da aviação comercial, essas rampas variam de 2,5% a 2% (1/40 a 1/50). Essas rampas implicam superfícies livres de obstáculos para pouso e decolagem, no prolongamento dos eixos das pistas, variando de 1.600m a 15.000m, além das cabeceiras das pistas. Outras superfícies de proteção ao vôo, do Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromo, tais como *áreas de transição* e *áreas horizontais* são menos restritivas e, portanto, mais passíveis de acomodar violações de obstáculos, mediante sinalização apropriada.

Requisitos de acessibilidade viária de superfície e de proteção ambiental aparecem nos documentos de planejamento e *design* do setor de uma forma mais vaga, mas nem por isso menos restritiva. Por exemplo, de nada adianta dispormos de área e espaço aéreo em excelentes condições para acomodar um aeroporto se não existirem condições de acesso viário. Igualmente, de nada adiantaria dispor das três condições anteriores em excelente nível de oferta se a região constituir uma reserva ambiental.

Para a avaliação destes dois requisitos, portanto, lançaremos mão de valorações mais qualitativas, utilizando os padrões lingüísticos sugeridos pelo Modelo COPPE-Cosenza (Superior, Bom, Regular, Fraco).

Assim, a abordagem introduz uma nova matriz, constituída dos requisitos mínimos de infra-estrutura aeroportuária dos segmentos de aviação, conforme mostrado na Tabela 13, a seguir.

Tabela 13: Matriz de Requisitos Mínimos de Infra-estrutura Aeroportuária por Segmento de Aviação

Segmento de Aviação	Pista de pouso e decolagem	Requisitos de Infra-estrutura das Aeronaves		
		Espaço Aéreo	Acessibilidade Viária de Superfície	Resiliência Ambiental
Aviação Geral	Código 1*, com 400m de comprimento.	Livre de obstáculos numa extensão de 1.600m além das cabeceiras da pista c/ máx. de 5% de rampa ascendente	Acesso viário capaz de viabilizar a integração com o transporte de superfície	Sítio aeroportuário capaz de absorver os impactos mais severos do ruído aeronáutico
Aviação Executiva	Código 2*, com 801m de comprimento.	Livre de obstáculos numa extensão de 2.500m além das cabeceiras da pista c/ máx. de 4% de rampa ascendente	Acesso viário capaz de viabilizar a integração com o transporte de superfície	Sítio aeroportuário capaz de absorver os impactos mais severos do ruído aeronáutico
Aviação Comercial	Código 4*, com 1.800m de comprimento.	Livre de obstáculos numa extensão de 15.000m além das cabeceiras da pista c/ máx. de 3% de rampa ascendente	Acesso viário capaz de viabilizar a integração com o transporte de superfície	Sítio aeroportuário capaz de absorver os impactos mais severos do ruído aeronáutico

Fonte: Manual of Airport Master Planning (OACI, 1987)
Anexo 14, Parte 1 (OACI, 2002)

* - Código de Referência de Aeródromo

Obviamente, a viabilização de serviços de transporte aéreo em uma região depende da existência de infra-estrutura aeroportuária operacionalmente segura e compatível com os requisitos técnico-operacionais das aeronaves dos segmentos de aviação. Segurança e compatibilidade operacionais da infra-estrutura aeroportuária implicam oferta de atributos físicos, operacionais e ambientais, diretamente correlacionados aos requisitos de infra-estrutura aeroportuária desses segmentos. É o que veremos a seguir.

4.3 ATRIBUTOS REGIONAIS VIABILIZADORES DA OFERTA DE SERVIÇOS AÉREOS

Para ser potencialmente capaz de viabilizar a implantação ou desenvolvimento de infra-estrutura aeroportuária de suporte às operações do transporte aéreo, uma determinada região deve exibir, no mínimo, os atributos correlacionados aos requisitos de infra-estrutura aeroportuária desses segmentos, no nível “regular”.

A descrição da maioria desses atributos pode ser encontrada em manuais de avaliação e escolha de sítio aeroportuário. Por essa razão, referencial teórico de base para a definição dos atributos e premissas da representação da infra-estrutura aeroportuária como potencialidade regional serão os conceitos e elementos descritivos incluídos no processo de avaliação e escolha de sítio aeroportuário, preconizado no contexto do planejamento aeroportuário internacional.

A Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU) para a aviação civil internacional, congrega especialistas do mundo inteiro na produção de diferentes conjuntos de padrões técnicos (físicos, operacionais, ambientais e de desenvolvimento) inerentes aos diversos componentes e atividades da aviação civil, entre os quais, a infra-estrutura aeroportuária. Um desses conjuntos refere-se ao processo de avaliação e escolha de sítios aeroportuários.

As principais etapas envolvidas nesse processo, tanto para um aeroporto existente quanto para um aeroporto completamente novo, incluem (OACI, 1987):

- a) determinação geral da área requerida;
- b) avaliação dos fatores que afetam a localização do aeroporto;

- c) estudo preliminar de possíveis sítios (em mapas ou fotocartas existentes);
- d) inspeção dos sítios;
- e) estudos ambientais;
- f) revisão dos sítios potenciais;
- g) elaboração de planos de massa e estimativas de custos e receitas;
- h) avaliação e seleção final; e
- i) relatório e recomendação.

Da perspectiva da avaliação das condições físicas, operacionais e de desenvolvimento da infra-estrutura aeroportuária existente em uma determinada região ou do seu potencial de implantação e desenvolvimento, para fins de localização industrial, as duas primeiras etapas ‘a’ e ‘b’ podem, com algumas adaptações, ser usadas para elicitar os elementos de informação necessários para a definição dos atributos e critérios de valoração. Vamos, portanto, concentrar nossa atenção no detalhamento dessas duas etapas e respectivas adaptações.

Descrição Geral do Potencial de Área e Espaço Aéreo

Padrões de segurança operacional de vôo, incluindo órbitas de espera em Áreas Terminais de Tráfego Aéreo (TMA’s), procedimentos de aproximação, pouso e decolagem e a movimentação das aeronaves no solo, requerem grandes áreas de terra planas e espaço aéreo do entorno livre de elevações topográficas. As áreas devem ser capazes de acomodar um sistema de pistas, pátios e instalações para processamento de passageiros e carga adequados às demandas operacionais dos diferentes segmentos de aviação, enquanto o espaço aéreo do entorno deve ser livre de obstáculos, incluindo áreas adjacentes aos aeroportos livres de implantações de natureza perigosa ao tráfego aéreo (OACI, 2002).

A área de terra necessária para acomodar as instalações aeroportuárias e o espaço aéreo associado a essa área são, portanto, os principais atributos regionais formadores do potencial de oferta de serviços aéreos. Sem esses atributos, de nada adiantarão os demais. Para a determinação das dimensões dessa área, a parcela necessária para o sistema de pistas constitui o fator crucial. A determinação dessa parcela depende, no entanto, da consideração combinada do *comprimento*, *orientação* e *quantidade de pistas*, elementos básicos para concepção de um “lay-out” geral desse sistema de pistas.

A quantidade de pistas é dependente dos volumes de tráfego demandados, i.e., da quantidade de aeronaves, do “mix” (tipos) de aeronaves e do padrão de chegadas e partidas a ser acomodada em uma hora do período de maior movimento. A orientação da pista é primordialmente uma função da intensidade e direção dos ventos prevalentes na região. O comprimento de pista, por outro lado, é um requisito diretamente relacionado com as variáveis de performance operacional das aeronaves. Nesta proposta, para fins de avaliação do potencial do atributo regional *área*, o parâmetro de referência será o comprimento de pista correspondente a cada um dos segmentos de aviação considerados. Já para a avaliação do potencial de *espaço aéreo*, o parâmetro de referência será a rampa de aproximação e decolagem requerida pela aeronave crítica dos diferentes segmentos de aviação.

Todos os fatores mencionados anteriormente podem ser integrados em um requisito geral denominado *área e espaço aéreo* que pode ser quantificado em valores lingüísticos, tais como “superior”, “bom”, “regular”, “fraco” etc., a partir de regras proposicionais IF X AND Y THEN Z, relacionando os atributos considerados.

Potencial de Acessibilidade / Integração Viária

A menos que a indústria esteja instalada dentro da área patrimonial aeroportuária (situação hoje possível com o advento dos aeroportos-indústria), os serviços aéreos demandados necessitam complementar o transporte origem-destino com alguma modalidade de superfície (normalmente o rodoviário), requerendo, portanto, condições complementares de *acessibilidade viária terrestre*. Tais condições complementares também podem ser valoradas em termos lingüísticos, tais como “superior”, “bom”, “regular”, etc., de acordo com as condições existentes ou potenciais do sítio ou região.

Potencial de Resiliência Ambiental

Níveis de ruído das operações aeronáuticas de aproximação, pouso e decolagem das aeronaves e suas manobras no solo requerem, do sítio aeroportuário e suas adjacências, condições de absorção ou possibilidades de mitigação dos impactos associados, especialmente do ruído aeronáutico. Sítios mais elevados ou afastados de áreas urbanizadas satisfazem requisitos importantes, porque propiciam maior *resiliência ambiental* a tais impactos.

A Tabela 14 a seguir apresenta a matriz de atributos regionais mínimos para cada segmento de aviação.

Tabela 14: Matriz de Atributos Mínimos Regionais por Segmento de Aviação

Segmento de Aviação	Atributos Mínimos Regionais			Resiliência Ambiental
	Área de terreno	Espaço Aéreo	Acessibilidade Viária de Superfície	
Aviação Geral	Área circular plana de 230m de raio	Livre de obstáculos numa extensão de 1.600m além da área circular c/ máx. de 5% de rampa ascendente	Existência ou condições de implantação de acesso viário	Capacidade de absorver os principais impactos da implantação e operação do aeroporto

Aviação Executiva	Área circular plana de 460m de raio	Livre de obstáculos numa extensão de 2.500m além da área circular c/ máx. de 4% de rampa ascendente	Existência ou condições de implantação de acesso viário	Capacidade de absorver os principais impactos da implantação e operação do aeroporto
Aviação Comercial	Área circular plana de 960m de raio	Livre de obstáculos numa extensão de 15.000m além da área circular c/ máx. de 5% de rampa ascendente	Existência ou condições de implantação de acesso viário	Capacidade de absorver os principais impactos da implantação e operação do aeroporto

4.4 ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE OFERTA DE TRANSPORTE AÉREO

Uma vez definidos os atributos regionais e explicitadas suas usuais valorações numéricas e/ou lingüísticas adotadas por especialistas para expressar *potenciais de atendimento*, bem como suas eventuais *gradações / variações*, procederemos, nesta seção, a suas representações na forma de uma matriz de componentes hierarquizados *fuzzy*, que constitui o *potencial regional de oferta de serviços de transporte aéreo*.

Como foi apresentado na seção 4.2, os projetos industriais ou tecnológicos demandam serviços de transporte aéreo pelos diferentes segmentos de aviação: aviação geral, aviação comercial e aviação executiva. Da mesma maneira, por exigências das operações matriciais do modelo COPPE-Cosenza, as ofertas regionais devem ser também expressas pelos mesmos segmentos de aviação. Não obstante a necessidade das ofertas regionais serem expressas em termos dos segmentos de transporte aéreo, propomos nessa dissertação, que a avaliação do potencial regional dessas ofertas seja caracterizado a partir dos atributos físicos, operacionais e ambientais de infraestrutura de uma região.

Acreditamos que a avaliação do potencial regional pelos atributos de infraestrutura regional reduza o grau de imprecisão, porque torna a tarefa dos

especialistas mais direta e objetiva. Além disso, a utilização desses atributos possibilita tanto a avaliação das regiões que já possuem aeroportos instalados quanto das que não possuem, caracterizando o potencial regional como a capacidade da região acomodar operações de transporte aéreo. Dessa maneira, capacidade pode ser expressa pela existência de um aeroporto na região – definida em termos das condições de seus atributos físicos, operacionais e de proteção ambiental - ou, na inexistência deste, pela disponibilidade de área, espaço aéreo, acessibilidade viária de superfície e resiliência ambiental, capaz de permitir a implantação e desenvolvimento de um aeroporto.

Em termos práticos, o objetivo dessa seção é apresentar um procedimento que permita avaliar a oferta regional de serviços de transporte aéreo através de seus atributos de infraestrutura e expressá-la em termos de segmentos de aviação. Isto é, apresentar aos especialistas uma matriz de avaliação de potencialidades regionais, que chamaremos de $[\Phi]$, do tipo:

Tabela 15: Matriz Φ de Atributos Regionais de Infraestrutura de Transporte Aéreo

	B_1	B_2	...	B_k	...	B_m
Área	φ_{11}	φ_{12}	...	φ_{1k}	...	φ_{1m}
Espaço Aéreo	φ_{21}	φ_{22}	...	φ_{2k}	...	φ_{2m}
Acessibilidade	φ_{31}	φ_{32}	...	φ_{3k}	...	φ_{3m}
Resiliência Ambiental	φ_{41}	φ_{42}	...	φ_{4k}	...	φ_{4m}

Onde,

- B_1, B_2, \dots, B_m : conjunto das localizações alternativas;
- φ_{ik} : avaliação fuzzy da alternativa de localização k , com relação ao atributo de infraestrutura i .

e transformá-la em uma matriz possível de ser inserida na matriz de disponibilidade do modelo COPPE-Cosenza, que chamaremos de $[B]$:

Tabela 16: Matriz B de Potencial de Oferta de Transporte Aéreo por Região

	B_1	B_2	...	B_k	...	B_m
Aviação Geral	b_{11}	b_{12}	...	b_{1k}	...	b_{1m}
Aviação Executiva	b_{21}	b_{22}	...	b_{2k}	...	b_{2m}
Aviação Comercial	b_{31}	b_{32}	...	b_{3k}	...	b_{3m}

Onde,

- B_1, B_2, \dots, B_m : conjunto das localizações alternativas;
- b_{ik} : avaliação fuzzy da alternativa de localização k , com relação ao tipo de segmento de transporte aéreo.

Para solucionar esse problema recorreremos a um processo de relacionamento fuzzy, mais especificamente a composição de relações fuzzy, envolvendo, além das matrizes anteriormente apresentadas, uma matriz de requerimentos de infra-estrutura por segmento de aviação, que será explicado a seguir. Antes, porém, é conveniente fazer uma breve revisão sobre relações fuzzy.

Composição de Relações Fuzzy

A presente explanação foi baseada no Capítulo 4 do livro “An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design” de PEDRICZ e GOMIDE (1998) e no artigo “Sistemas Fuzzy” de TANSCHKEIT (2007).

Tal como os conjuntos, relações são de importância fundamental nas ciências, nas engenharias e em outros campos de conhecimento baseados na matemática. O entendimento das relações é central para o entendimento de todas essas áreas, porque se encontra intimamente envolvido com a lógica, o raciocínio, a classificação, o reconhecimento de padrões, o controle, a avaliação sintética ou integrada (agregada), etc. Relações podem ser usadas para representar similaridade, equivalência,

adequabilidade, que são noções essenciais, extremamente úteis na avaliação e solução de diversos problemas industriais e tecnológicos.

Relações fuzzy generalizam o conceito de relações, ao representarem o grau de relacionamento entre elementos de dois ou mais conjuntos fuzzy. Exemplos de caráter linguístico seriam: *x é muito maior do que y*, *x está próximo de y*. Formalmente, dados dois universos X e Y , a relação fuzzy R é um conjunto fuzzy do produto cartesiano $X \times Y$, caracterizada por uma função de pertinência $\mu_R(x, y) \in [0, 1]$, onde $x \in X$ e $y \in Y$.

Composição de relações representa um papel muito importante em sistemas de inferência fuzzy. Considerem-se primeiramente duas relações não-fuzzy $P(X, Y)$ e $Q(Y, Z)$ que têm um conjunto (Y) em comum. A composição dessas duas relações é definida como um subconjunto $R(X, Z)$ de $X \times Z$ tal que $(x, z) \in R$ se e somente se existe pelo menos um $y \in Y$ tal que $(x, y) \in P$ e $(y, z) \in Q$, e é denotada por $R(X, Z) = P(X, Y) \circ Q(Y, Z)$.

Exemplo 1: Sejam as relações não-fuzzy definidas pelas seguintes matrizes relacionais:

$$P(X, Y) = \begin{array}{c|cccc} & y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ \hline x_1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_3 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \qquad Q(Y, Z) = \begin{array}{c|cccc} & z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ \hline y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ y_2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ y_3 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ y_4 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

A composição dessas duas relações será:

$$x_1 \begin{array}{|cccc} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

$$R(X, Z) = \begin{array}{c} \mathbf{x}_2 \\ \mathbf{x}_3 \end{array} \left| \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right|$$

A operação realizada para se obter $R(X, Z)$ no exemplo acima pode ser representada por qualquer uma (embora não apenas) das seguintes expressões:

• **composição max-min:** $f_R(x, z) = f_{P \circ Q}(x, z) = \{(x, z), \max_y [\min(f_P(x, y), f_Q(y, z))]\}$

• **composição max-produto:** $f_R(x, z) = f_{P \circ Q}(x, z) = \{(x, z), \max_y [(f_P(x, y) f_Q(y, z))]\}$

Aplique-se, por exemplo, a composição *max-min* ao cálculo do elemento (x_1, z_2) de R :

$$\begin{aligned} fR(x_1, z_2) &= f_{P \circ Q}(x, z) = \{(x_1, z_2), \max [\min(f_P(x_1, y), f_Q(y, z_2))]\} \\ &= \{(x_1, z_2), \max [\min(f_P(x_1, y_1), f_Q(y_1, z_2)), \min(f_P(x_1, y_2), f_Q(y_2, z_2)), \\ &\quad \min(f_P(x_1, y_3), f_Q(y_3, z_2)), \min(f_P(x_1, y_4), f_Q(y_4, z_2))]\} \\ &= \{(x_1, z_2), \max [\min(0, 0), \min(1, 0), \min(0, 1), \min(1, 0)]\} \\ &= \{(x_1, z_2), \max [0, 0, 0, 0]\} = 0 \end{aligned}$$

Uma maneira prática de realizar as operações acima consiste em se efetuar a “multiplicação” das matrizes relacionais, tomando o cuidado de substituir cada multiplicação pela operação *min* e cada adição pelo operador *max*. Se, ao invés de *min*, for empregado o produto, o resultado será o mesmo.

A composição de relações fuzzy é definida de maneira análoga à apresentada acima; a expressão para a função de pertinência resultante da composição de duas relações fuzzy com um conjunto fuzzy em comum é generalizada para:

$$\mu_R(x, z) = \mu_{P \circ Q}(x, z) = \sup_y [\mu_P(x, y) * \mu_Q(y, z)]$$

onde a norma-t (representada por $*$) é normalmente o *min* ou o produto, embora seja permitido usar outras normas-t. No caso de universos finitos, a operação *sup* é o maximum.

Exemplo 2: Sejam os conjuntos de estudantes $X = \{Maria, João, Pedro\}$, de características de cursos $Y = \{teoria (t), aplicação(a), hardware (h), programação (p)\}$, e de cursos $Z = \{lógica fuzzy (LF), controle fuzzy (CF), redes neurais (RN), sistemas especialistas (SE)\}$. Os interesses dos estudantes (em termos das características em Y) são representados pela matriz relacional P , ao passo que as características (Y) dos cursos em Z são dadas pela matriz relacional Q .

$P(X, Y) =$	$\begin{array}{c} Pedro \\ Maria \\ João \end{array}$	<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 5px;"><i>t</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>a</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>h</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>p</i></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">0,2</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,8</td> <td style="padding: 5px;">0,1</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,1</td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0,5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">0,5</td> <td style="padding: 5px;">0,9</td> <td style="padding: 5px;">0,5</td> <td style="padding: 5px;">1</td> </tr> </table>	<i>t</i>	<i>a</i>	<i>h</i>	<i>p</i>	0,2	1	0,8	0,1	1	0,1	0	0,5	0,5	0,9	0,5	1	$Q(Y, Z) =$	<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"><i>LF</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>CF</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>RN</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>SE</i></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><i>t</i></td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,5</td> <td style="padding: 5px;">0,6</td> <td style="padding: 5px;">0,1</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><i>a</i></td> <td style="padding: 5px;">0,2</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,8</td> <td style="padding: 5px;">0,8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><i>h</i></td> <td style="padding: 5px;">0</td> <td style="padding: 5px;">0,3</td> <td style="padding: 5px;">0,7</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><i>p</i></td> <td style="padding: 5px;">0,1</td> <td style="padding: 5px;">0,5</td> <td style="padding: 5px;">0,8</td> <td style="padding: 5px;">1</td> </tr> </table>		<i>LF</i>	<i>CF</i>	<i>RN</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	1	0,5	0,6	0,1	<i>a</i>	0,2	1	0,8	0,8	<i>h</i>	0	0,3	0,7	0	<i>p</i>	0,1	0,5	0,8	1
<i>t</i>	<i>a</i>	<i>h</i>	<i>p</i>																																										
0,2	1	0,8	0,1																																										
1	0,1	0	0,5																																										
0,5	0,9	0,5	1																																										
	<i>LF</i>	<i>CF</i>	<i>RN</i>	<i>SE</i>																																									
<i>t</i>	1	0,5	0,6	0,1																																									
<i>a</i>	0,2	1	0,8	0,8																																									
<i>h</i>	0	0,3	0,7	0																																									
<i>p</i>	0,1	0,5	0,8	1																																									

A composição *max-min* de P e Q pode servir de auxílio aos estudantes na escolha dos cursos:

$P \circ Q =$	$\begin{array}{c} Pedro \\ Maria \\ João \end{array}$	<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"><i>LF</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>CF</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>RN</i></td> <td style="padding: 5px;"><i>SE</i></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">0,2</td> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,8</td> <td style="padding: 5px;">0,8</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">0,5</td> <td style="padding: 5px;">0,6</td> <td style="padding: 5px;">0,5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">0,5</td> <td style="padding: 5px;">0,9</td> <td style="padding: 5px;">0,8</td> <td style="padding: 5px;">1</td> </tr> </table>		<i>LF</i>	<i>CF</i>	<i>RN</i>	<i>SE</i>	0,2	1	0,8	0,8	1	0,5	0,6	0,5	0,5	0,9	0,8	1
	<i>LF</i>	<i>CF</i>	<i>RN</i>	<i>SE</i>															
0,2	1	0,8	0,8																
1	0,5	0,6	0,5																
0,5	0,9	0,8	1																

A composição *max-produto* proporcionaria o mesmo resultado neste exemplo, mas isto não pode ser generalizado – e se constitui numa diferença significativa entre composições de relações não-fuzzy e fuzzy.

Considere-se agora o caso especial em que a relação P é um conjunto fuzzy apenas, de forma que, em vez de $\mu_P(x, y)$, tem-se $\mu_P(x)$. Isto é equivalente a se ter $X = Y$ e a composição torna-se somente uma função de z, denotada pela seguinte função de pertinência:

$$\mu_R(z) = \sup_x [\mu_P(x) * \mu_Q(x, z)]$$

Do ponto de vista operacional, tem-se a "multiplicação" de um vetor por uma matriz, observando-se as substituições adequadas de operadores; o resultado é um vetor.

A seguir mostraremos a composição fuzzy para a formação da matriz de oferta regional de transporte aéreo [B] a partir do relacionamento de duas outras matrizes, com base na teoria aqui apresentada.

Composição da Matriz de Oferta Regional de Transporte Aéreo [B]

Retomamos, assim, o objetivo principal deste capítulo, um procedimento que nos permita avaliar as diferentes alternativas de localização em termos dos atributos de infraestrutura de transporte aéreo e, no entanto, expressar o potencial regional de transporte aéreo em termos dos diferentes segmentos de transporte aéreo. De posse do arcabouço teórico da composição de relações fuzzy, podemos, agora, formalizar nosso problema.

Sejam o conjunto de segmentos de aviação $X = \{\text{Aviação Geral; Aviação Executiva, Aviação Comercial}\}$, o conjunto de requisitos de infraestrutura $Y = \{\text{Área, Espaço Aéreo, Acessibilidade, Resiliência Ambiental}\}$ e o conjunto de alternativas de localização $Z = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_m\}$. A oferta de infraestrutura aeroportuária pelas diferentes alternativas de localização é dada pela matriz relacional $Q(Y, Z)$, ao passo que a matriz $P(X, Y)$ nos fornece as exigências de infraestrutura aeroportuária (Y) para cada um dos segmentos de aviação (X). Desejamos estabelecer um relacionamento $R(X, Z)$ potencial de oferta de transporte aéreo por segmento de aviação (X) para cada uma das alternativas de localização (Z), denotado por $R(X, Z) = P(X, Y) \circ Q(Y, Z)$.

As relações $Q(Y, Z)$ e $R(X, Z)$ já foram apresentadas anteriormente como as matrizes $[\Phi]$ e $[B]$, respectivamente. Para completarmos o processo de composição de relações fuzzy precisamos de uma terceira matriz, a matriz de relacionamentos $P(X, Y)$ que definiremos a seguir.

Chamaremos a matriz de relacionamentos $P(X, Y)$ de Matriz de Níveis de Requerimento de Infraestrutura Aeroportuária $[P]$, com os diferentes segmentos de serviços aéreos nas linhas e os atributos de infraestrutura aeroportuária nas colunas, de maneira que um elemento da matriz expressa a necessidade mínima de um determinado segmento de transporte aéreo por um determinado atributo de infraestrutura.

Os requerimentos mínimos de Área e Espaço Aéreo para a prestação dos diferentes níveis de transporte aéreo foram apresentados na seção anterior, tendo com base o Manual de Planos Diretores Aeroportuários (*Airport Master Planning*) da OACI (1987). Como o objetivo desta dissertação não é avaliar todos os possíveis atributos que influem no potencial de oferta de serviços aéreos, limitamo-nos a quatro atributos, sendo que delimitamos apenas os requerimentos de Área e Espaço Aéreo, por se

tratarem de atributos com avaliação mais objetiva, genérica e já normatizada internacionalmente. Essas informações deverão ser, então, fuzzificadas para que possam compor uma matriz de valores fuzzy, da mesma maneira que as matrizes de demanda e oferta.

O processo de fuzzificação, realizado aqui, utiliza quatro gradações distintas, objetivando manter a coerência com o modelo COPPE-Cosenza. Os atributos de infraestrutura podem ser ofertados pelas regiões, então, em quatro níveis distintos, genericamente, A, B, C ou D.

Temos, assim, que o mínimo de infraestrutura para a prestação de serviços de transporte aéreo seria o necessário para a aviação geral, que classificaremos como D. A aviação executiva, por requerer maior área e espaço aéreo mais restrito que a aviação geral, exige minimamente atributos de área e espaço aéreo que classificaremos como C, pelas mesmas razões, a aviação comercial demanda minimamente B. A classificação A ficaria, então, relacionada a uma infra-estrutura necessária para operar as maiores aeronaves e volumes de tráfego da aviação civil. Mais uma vez, lembramos que esses valores foram estabelecidos na seção 4.2, e tratam-se de parâmetros dimensionais balizadores dos atributos, de maneira que entre uma categoria e outra existem níveis diferentes de oferta de infraestrutura.

Este mesmo procedimento de avaliação e fuzzificação deve ser realizado para cada um dos atributos de infraestrutura. Uma vez estabelecidos todos esses valores, pode-se montar a matriz [P], que, considerando apenas os atributos abordados na seção anterior, toma a seguinte forma:

Tabela 17: Matriz de Níveis de Requerimento de Infraestrutura Aeroportuária P

	Área	Espaço Aéreo	Acessibilidade	Resiliência Ambiental
Aviação Geral	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}
Aviação Executiva	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}
Aviação Comercial	p_{31}	p_{32}	p_{33}	p_{34}

Onde p_{ij} são requisitos mínimos, em termos fuzzy, do atributo de infraestrutura j .

Os elementos dessa matriz, como foi explicado, assumem valores A, B, C e D, dependendo do mínimo requerido, de cada atributo, pelos três diferentes tipos de segmento de aviação.

Como dito anteriormente, a representação dos fatores de infraestrutura diretamente como serviços de transporte aéreo segue um procedimento simples de multiplicação de matrizes, a saber o produto da matriz $[P]$ pela matriz $[\Phi]$. Apesar de simples, a multiplicação das matrizes deve seguir um procedimento a partir de regras, característico do modelo COPPE-Cosenza.

Restrições impostas pelos atributos Resiliência Ambiental e, principalmente, Área e Espaço Aéreo podem inviabilizar completamente a implantação de serviços aéreos na região avaliada, de maneira que a inexistência de Área ou Espaço Aéreo ou baixa Resiliência Ambiental (como por exemplo a existência de áreas de proteção ambiental nos possíveis sítios) eliminam a possibilidade de oferta de serviços aéreos na região. O procedimento de multiplicação entre os termos das matrizes $[P]$ e $[\Phi]$ obedecerá a regra a seguir determinada.

Tabela 18: Regra de Atribuição do Produto (\otimes) dos Elementos de P e Φ

		Oferta de Infraestrutura				
$p \otimes \varphi$		A	B	C	D	0
Requerimento	A	1	0	0	0	0

Mínimo	B	$1 + 1/n$	1	0	0	0
de	C	$1 + 2/n$	$1 + 1/n$	1	0	0
Infraestrutura	D	$1 + 3/n$	$1 + 2/n$	$1 + 1/n$	1	0

O produto $[P] \otimes [\Phi]$ resulta na matriz $[B]$ apresentada anteriormente e replicada a seguir por facilidade de referência, onde, por exemplo,

$$b_{11} = (p_{11} \otimes \varphi_{11}) + (p_{12} \otimes \varphi_{21}) + (p_{13} \otimes \varphi_{31}) + (p_{14} \otimes \varphi_{41})$$

será o potencial de oferta de Aviação Geral da Região 1.

Tabela 19: Matriz B de Potencial de Oferta de Transporte Aéreo por Região

	B_1	B_2	...	B_k	...	B_m
Aviação Geral	b_{11}	b_{12}	...	b_{1k}	...	b_{1m}
Aviação Executiva	b_{21}	b_{22}	...	b_{2k}	...	b_{2m}
Aviação Comercial	b_{31}	b_{32}	...	b_{3k}	...	b_{3m}

Da maneira como se encontra, a avaliação da potencialidade da oferta de serviços aéreos avalia e atribui mesma importância tanto às alternativas locais que já dispõem de aeroportos quanto às que possuem apenas potencial para sua implantação.

Ainda que a oferta de serviços aéreos de uma alternativa de localização não corresponda totalmente à demanda de determinado projeto industrial, é evidente que esta região deve receber uma nota superior a outra região, que apresenta mesma avaliação de requisitos de infraestrutura, mas que não dispõe de qualquer serviço de transporte aéreo.

Seja, então, a matriz $B^* = [b_{ik}^*]_{3 \times m}$ de avaliação de serviços aéreos prestados pelos três segmentos de aviação já presentes nas m alternativas de localização, de

maneira que teremos uma matriz $\Gamma = [\gamma_{ik}]_{3 \times m} = B \oplus B^*$, onde a agregação de valores segue uma adição ordinária entre os dois coeficientes, b_{ik} e b_{ik}^* .

Teremos assim uma matriz $[\Gamma]$ que agrega as avaliações referentes à possibilidade de uma alternativa locacional prestar serviços aéreos referentes aos três segmentos de aviação mais os eventuais serviços de aviação já existentes. Esta matriz $[\Gamma]$ é que será inserida na matriz de disponibilidade do Modelo COPPE-Cosenza, provendo o potencial de oferta de transporte das m alternativas de localização.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

5.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS DA PESQUISA

O propósito geral desta dissertação foi dar uma contribuição aos estudos de localização industrial. Entre os diferentes problemas existentes no contexto desses estudos, escolhemos o problema da determinação do potencial de oferta de transporte aéreo de uma região. Esse potencial tem se tornado um elemento de informação cada dia mais crítico no processo de avaliação e hierarquização de regiões alternativas para fins de localização de projetos industriais e tecnológicos, em razão da crescente importância do transporte aéreo como potencialidade regional.

Ingredientes centrais dessa importância, obviamente, são a marcante característica de rapidez e a capacidade de carga das modernas aeronaves comerciais. Em razão disso, os aeroportos e seus diferentes componentes funcionais, elementos essenciais da provisão dos serviços de apoio às aeronaves, consolidam-se como determinantes do potencial regional de serviços aéreos. Na realidade, em certos casos, os aeroportos transformam uma região em uma “real alternativa de localização”, ao manter ou ampliar o estímulo para investir em uma determinada atividade produtiva e agregar valor ou utilidade às demais potencialidades.

Outros aspectos contribuintes dessa importância são os diferentes papéis que os aeroportos atualmente exercem nas cadeias de suprimento, que permitem considerá-los como infra-estrutura de apoio logístico para as grandes empresas em suas estratégias competitivas. Neste sentido, as grandes empresas aproveitam os aeroportos como base de operação das estratégias corporativas, ao utilizarem o transporte aéreo como

principal função logística das operações industriais. Os aeroportos-indústria são uma prova dessa tendência.

Assim, no processo de avaliação e hierarquização das potencialidades regionais, o *potencial de oferta dos serviços de transporte aéreo* mostra-se um elemento de informação relevante para a escolha da localização industrial, requerendo, portanto, sua determinação, um tratamento diferenciado que use uma metodologia capaz de assegurar uma adequada consideração dos atributos relevantes da formação desse potencial.

O que se propôs nesta dissertação, que acreditamos constituir uma contribuição para os estudos de localização industrial, foi solucionar esse problema pelo Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza. Para tanto, admitiu-se que esse potencial devia ser formado apenas pelos atributos físicos, operacionais e ambientais da infra-estrutura aeroportuária existente ou potencial da região. O que se verificou durante a pesquisa foi que, avaliado como um todo, esse potencial podia resultar muito impreciso, devido a dificuldades de agregar em um único índice os valores regionais estimados para esses atributos.

Para reduzir essa imprecisão, esses atributos foram avaliados pelos segmentos de aviação em que a aviação civil é comumente classificada: aviação geral, aviação executiva e aviação comercial. Apesar de definirem com razoável precisão os níveis de demanda por transporte aéreo de projetos industriais e tecnológicos, a denotação desses segmentos não era apropriada para manipulação computacional. Entretanto, os requisitos específicos de capacidade da infra-estrutura aeroportuária de apoio, associados aos parâmetros de desempenho operacional das aeronaves empregadas nesses segmentos permitiam, com o tratamento adotado, a obtenção de uma valoração dos requisitos considerados.

Com base no Documento 9184 da OACI, foram estabelecidos os requisitos mínimos de infraestrutura para área e espaço aéreo de cada um dos segmentos de aviação, permitindo assim a elaboração de uma matriz que relacionasse cada segmento de aviação a seus requisitos mínimos. De posse dessa matriz, utilizando os procedimentos heurísticos do Modelo COPPE-Cosenza e o ferramental de composição de relações fuzzy, foi possível estabelecer um relacionamento entre a oferta regional das infraestruturas aeroportuárias e os diferentes segmentos de aviação, de maneira que as regiões pudessem ser avaliadas segundo suas características de infraestrutura, mas que tivessem, no entanto, suas ofertas de transporte aéreo expressas em termos de segmentos de aviação.

A partir dessa oferta, foi definido o processo de estimação dos potenciais dos atributos físicos, operacionais e ambientais de infra-estrutura aeroportuária da região por segmento de aviação, viabilizando sua formalização em um vetor de componentes hierarquizadas fuzzy, determinando o correspondente potencial de oferta de transporte aéreo da região.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISA FUTURA

No desenvolvimento da modelagem, verificou-se que, com o maior detalhamento dos atributos, embora a avaliação aumente em complexidade, podem-se obter melhores e mais precisos resultados. Há necessidade, no entanto, de realizar “trade-offs” entre a precisão requerida no processo de avaliação e os critérios de decisão definidos para a escolha locacional.

Ficou claro, durante os trabalhos, que apenas os atributos de área e de espaço aéreo foram considerados em sua adequada extensão, enquanto os de acessibilidade e de

resiliência ambiental foram relaxados nesse aspecto. Uma sugestão de pesquisa futura que se impõe, como decorrência desse fato, envolveria um estudo mais aprofundado desses atributos, com elementos de pesquisa específica mais consolidados, que possam permitir sua inclusão de forma mais consistente no modelo.

Adicionalmente, podem ser consideradas as previsões de demanda regional, visando a incluir na modelagem os atributos formadores do potencial de oferta relacionados com os veículos de transporte (capacidade dos veículos, frota, aproveitamentos, etc.), com o objetivo de proporcionar um “proxy” mais preciso para o potencial regional.

Finalmente, uma pesquisa futura poderia ser feita para examinar a validade da agregação dos potenciais por segmento de tráfego em um único índice representativo do potencial regional de oferta de transporte aéreo. Isso poderia favorecer uma análise de sensibilidade no caso de regiões com o mesmo potencial de

REFERÊNCIAS

- AMIN, A., 1999. "An institutionalist perspective on regional economic development". *International Journal of Urban and Regional Research*, v. 23, n.2, pp. 365-378. Disponível em: <<http://www.egrg.org.uk/pdfs/amin.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2010, 09:58:12.
- BADRI, M.A., 2007, "Dimensions of Industrial Location Factors: Review and Exploration", *Journal of Business and Public Affairs*, v. 1, n. 2. Disponível em: <<http://www.scientificjournals.org/journals2007/articles/1178.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2010, 10:18:14.
- BORGERS, A.W.J., TIMMERMANS, H.J.P., WITLOX, F.J.A., 2004. "Modelling Locational Decision Making of Firms Using Multidimensional Fuzzy Decision Tables: An Illustration", *An Electronic Journal of Geography and Mathematics*, v. 15, n. 1. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2027.42/60302>>. Acesso em: 19 fev. 2010, 09:58:22.
- BOSCHMA, R.A., FRENKEN, K., 2004. "Why is Economic Geography not an Evolutionary Science?". *44th European Regional Science Association Congress*. Porto, Portugal. Disponível em: <<http://www3.druid.dk/wp/20060026.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2010, 10:23:35
- BRONS, L.L., PELLENBARG, P.H., 2003. "Economy, Culture and Entrepreneurship in a Spatial Context". In: *Marszal T., ed., Spatial Aspects of Entrepreneurship*. Warsaw: Polish Academy of Sciences, pp. 11-36.
- CLEMENTE, A., 2002. *Projetos Empresariais e Públicos*. 2 Ed. São Paulo, Editora Atlas S.A.
- COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. (2003). Métodos de pesquisa em administração. 7 ed. Porto Alegre, Editora Bookman.
- COSENZA, C.A.N., 2005. *Introdução à Lógica Fuzzy* (Apostila do Curso).. Rio de Janeiro, Programa de Engenharia da Produção COPPE / UFRJ.
- COSENZA, C.A.N., 1981. "Industrial Location Model – A Proposal" *Working Paper*. Cambridge University, Cambridge, UK.
- COSENZA, C.A.N., 2009. "Metrics and Operators for Facility Site Selection" *Sabbatical Paper. (Draft)*. Cambridge University, Cambridge, UK.
- DUBOIS, D., PRADE, H., 1988. *Possibility Theory*. New York, Plenum Press.
- FUJITA, M., KRUGMAN, P., VENABLES, A., 1999. *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. Cambridge, MIT Press.
- GIL, A.C. (2002). Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo, Editora Atlas.
- HAYTER, R., 1997. *The dynamics of industrial location. The factory, the firm and the production system*. New York, John Wiley & Sons.

JAIN, R., 1976. "Decision-Making in the Presence of Fuzzy Variables". *IEEE Trans. Systems Man. And Cybernetics*, v. 6., pp. 698-703.

KRUGMAN, P., 1995. *Development, economic geography and economic theory*. Cambridge, MIT Press.

LEITHAM, S., MCQUAID, R.W., NELSON, J.D., 2000, "The influence of transport on industrial location choice: a stated preference experiment", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 34, n. 7, pp. 515-535. Disponível em: <http://econpapers.repec.org/article/eeetrans/v_3a34_3ay_3a2000_3ai_3a7_3ap_3a515-535.htm>. Acesso em: 18 fev. 2010, 10:09:30.

MARIOTTI, I., 2005. *Firm relocation and regional policy. A focus on Italy, the Netherlands and the United Kingdom*. 1 ed. Groningen, S.L. : S.n.

MARTIN, R., 2003. "Putting the economy back in its place: on economics and geography". *Cambridge Journal of Economics Conference 'Economics for the Future: Celebrating 100 years of Cambridge Economics'*. Cambridge, 17-19 September 2003. Disponível em: <<http://www.econ.cam.ac.uk/cjeconf/delegates/martin.pdf>> . Acesso em: 20 fev. 2010, 09:46:06.

MCCANN, P., 2001. *Urban and regional economics*. Oxford, University Press.

OACI – Organização de Aviação Civil Internacional, 1987. *Doc. 9184 – Airport Planning Manual, Part 1, Máster Planning*. 2nd Edition. Montreal, ICAO Publication.

PEDRYCZ, W. e GOMIDE, F., 1998. *Introduction to Fuzzy Sets*. Cambridge, MA, MIT Press.

PEN, C.J., 1999. "Improving behavioural location theory: preliminary results of a written questionnaire about strategic decision making on firm relocations". *European Regional Science Association Congress*, Dublin, 23-27 August 1999. Disponível em: <<http://econpapers.repec.org/paper/wiwwiwsa/ersa99pa166.htm>> Acesso em: 21 fev. 2010, 18:59:08.

ROSS, T.J., 2004. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, 2 ed., Nova York, John Wiley & Sons.

SMITH, D. M., 1981. *Industrial Location: an economic geographical analysis*. 2 ed. New York, John Wiley.

SUGENO, M., 1985. "An Introductory Survey of Fuzzy Control". *Inf. Sci.*, v. 36, pp. 59-83.

RICHARDSON, H.R., 1981. *Economia Regional*. 2 ed. Rio de Janeiro, Zahar Editores.

TANSCHKEIT, R., 2007. *Sistemas Fuzzy*. Rio de Janeiro, DEE-PUC.

VEBLER, T.B., 1919. *The place of science in modern civilization and other essays*. New York, Huebsch.

WITLOX, F.J.A., 2000. "Towards a Relational View on Industrial Location Theory", *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, v. 91, n. 2, pp. 135-146. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/a/bla/tvecsg/v91y2000i2p135-146.html>> . Acesso em: 19 fev. 2010, 09:52:45.

SAATY, T.L., 1979. "Exploring the Interface Between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets," *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 57-68.

ZADEH, L. A., 1965. "Fuzzy Sets". *Information and Control*, v. 8, pp. 338-353.

ZADEH, L. A., 1975-1976. "The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Part 1, 2 and 3". *Information Science*, v. 8, pp. 199-249, pp. 301-357; v. 9, pp. 43-58. *Information and Control*, v. 8, pp. 338-353.

ZADEH, L.A., 1983. "A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages". *Comput. Math*, v. 9, pp.149–184.

ZADEH, L.A., 2000. "Outline of a computational theory of perceptions based on computing with words". In: Sinha, N.K., Gupta, M.M. (Eds.), *Soft Computing and Intelligent Systems: Theory and Applications*. pp. 3–22. London, Academic Press.

ZADEH, L.A., 2002. "Towards a Perception Based Theory of Probabilistic Reasoning". *Journal of Statistical Planning and Inference* v. 105 pp. 233–264.

ZADEH, L.A., 1979. "Fuzzy sets and information granularity". In: *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, M. Gupta, R. Ragade and R. Yager (eds.), pp. 3-18. Amsterdam, North-Holland Publishing Co.

ZADEH, L.A., 1997. "Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic" *Fuzzy Sets and Systems*, v. 90, pp. 111-127.

ZADEH, L.A., 1973. "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes". *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics SMC-3*, pp. 28-44.

ZIMMERMANN, H.-J., 1991. *Fuzzy Set Theory and its Applications*. 2 ed., Dordrecht, Germany, Kluwer Academic.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANDRADE, F.A.R., 2004. "A Influência do Aeroporto de São Jose dos Campos na Economia da Região". Especialização em Gerência Empresarial, Monografia. Universidade de Taubaté, Taubaté.

BUURMAN, J., RIETVELD, P., 1999. "Transport Infrastructure and Industrial Location: the Case of Thailand". *RURDS*, v. 11, n. 1, pp. 45-62.

- CAPPA, J. (2007). “Os Aeroportos de Viracopos e de São José dos Campos e as Estratégias Empresariais no Mercado Mundial”. *Pesquisa & Debate*, v. 18, n. 1, pp. 67-82.
- CHEN, S.H., 1985. “Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Sets and Minimizing Sets”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 17, pp. 113-129.
- HEALEY, M.L. & ILBERY, B.W., 1990. *Location and Change: Perspectives on Economic Geography*. Oxford, Oxford University Press.
- INFRAERO. “Aeroportos Brasileiros. Aeroporto Industrial”. In: *1º Fórum Infraero de Logística para o Desenvolvimento*, Goiânia - GO, 2002
- JOHNSTON, R.J., 1986. *Philosophy and Human Geography: An Introduction to Contemporary Approaches*. London, Edward Arnold.
- LAMBOOY, J.G., 1986. Locational Decisions and Regional Structures. In: J.H.P. Paelinck, ed., *Human Behaviour in Geographical Space: Essays in Honor of Leo H. Klaasen*, pp. 149-162. Aldershot, Gower Publishing Company.
- LIANG, G-S. *et al.*, 1991. “A Fuzzy Multi-Criteria Decision Method for Facility Site Location”. *International Journal of Production Research*, v. 29, n. 11, pp. 2313-2330.
- MARTIN, P., ROGERS, C.A., 1995. “Industrial Location and Public Infrastructure”. *Journal of International Economics*, v. 39, pp. 335-351.
- OLIVEIRA, M. de; NNASCIMENTO, D.E. de. “O Aeroporto Industrial como Ativo de Desenvolvimento Tecnológico”. In: *Semana da Tecnologia CEFET PR*, Curitiba -PR, 2003.
- REDDING, S., STURM, D.M., WOLF, N., 2005. “Multiple Equilibria in Industrial Location: Evidence From German Airports”
- ROSS, T.J., 2004. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. 2 ed. Albuquerque, USA, John Wiley & Sons.
- VASCONCELOS, L.F.S, 2007. O Aeroporto como Integrante de um Projeto de Desenvolvimento Regional: a Experiência Brasileira. M.Sc. dissertação, Universidade de Brasília - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília.
- WALMSLEY, D.J. & LEWIS, G.J., 1993. *People and Environment: Behavioural Approaches in Human Geography*. 2 ed. Essex, Longman Scientific & Technical.
- WEBER, A., 1929. *Theory of the Location of Industries*. Chicago, University of Chicago Press.
- LÖSCH, A., 1954. *The Economics of Location*. New Haven, Yale University Press.

ABORDAGEM FUZZY

Abordagens fuzzy são adequadas para o raciocínio sob incerteza ou com informações aproximadas, especialmente para sistemas com modelagem matemática difícil de desenvolver. A Lógica Fuzzy permite a tomada de decisão com valores estimados a partir de informações incompletas ou incertas, representadas por conjuntos fuzzy. A Teoria dos Conjuntos Fuzzy provê o ferramental matemático para as abordagens fuzzy. A maior contribuição da Teoria dos Conjuntos fuzzy é a sua capacidade de representar dados vagos e ambíguos. Esta Teoria tem sido utilizada para modelar sistemas que são difíceis de definir de forma precisa. Como uma metodologia, a Teoria dos Conjuntos Fuzzy incorpora a imprecisão e a subjetividade humana no processo de formulação e solução do modelo. Assim, representa uma ferramenta atrativa para auxiliar a pesquisa em engenharia de produção, quando a dinâmica do ambiente de decisão limita a especificação dos objetivos e restrições do modelo, bem como a mensuração precisa de seus parâmetros.

Este anexo provê uma breve descrição da Lógica Fuzzy, da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, números fuzzy, variáveis lingüísticas e outros construtos pertinentes.

Lógica Fuzzy

Na década de 60, com ZADEH (1965) surgiram os primeiros trabalhos propondo uma lógica multivalente e generalizando a noção de conjunto *fuzzy*. Em 1965, argumentando sobre as preliminares da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, Zadeh afirma:

“A noção de um conjunto fuzzy provê um ponto de partida conveniente para a construção de uma estrutura conceitual que é paralela em muitos aspectos à estrutura usada para os conjuntos comuns, mas é mais geral do que esta e, potencialmente, pode ter um escopo muito mais amplo de aplicabilidade, particularmente nos campos da classificação de padrões e processamento da informação. Em essência, tal estrutura provê um modo natural de tratar problemas, nos quais a fonte de imprecisão é a ausência de critérios bem

definidos de pertinência de classe, em vez da presença de variáveis randômicas”. [Zadeh L.A. (1965) *Fuzzy Sets*. *Information and Control*, 8, pp. 338-353]

Desde então, a lógica *fuzzy* evoluiu consideravelmente, alcançando um amplo espectro de conceitos, princípios e técnicas para analisar e tratar fenômenos que não se prestam à análise por métodos clássicos (i.e., baseados na lógica bivalente e na teoria da probabilidade). Atuais aplicações da lógica *fuzzy* vão desde a engenharia de controle até a inteligência artificial e a robótica, passando pela ciência da computação, reconhecimento de padrões, teoria da decisão, sistemas especialistas, pesquisa operacional, etc. Os avanços teóricos têm sido tão rápidos que é difícil aos profissionais manterem-se atualizados com o “estado-da-arte”.

Um número relativamente grande de artigos e livros tem surgido na literatura, em princípio voltados para as áreas de controle (SUGENO, 1985; PEDRYCZ, 1989), Teoria da Possibilidade (DUBOIS e PRADE, 1988), ciências sociais e do comportamento e análise de decisão (ZIMMERMANN, 1991), apenas para citar alguns. Na área de localização industrial, o uso da Lógica *Fuzzy* ainda é limitado. Os dois modelos que se destacam são o COPPE-Cosenza e o de Witlox aqui descritos. Em 1991, Gin-Shuh Liang *et alii* publicam artigo na revista *Fuzzy Sets and Systems*, abordando o problema da seleção de sítio por abordagem fuzzy-hierárquica, i.e., uma combinação do Processo de Hierarquia Analítica de SAATY (1981) com a Teoria dos Conjuntos Fuzzy.

Teoria dos Conjuntos “*Fuzzy*”

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (ZADEH, 1965) compõe a base matemática formal da Lógica *Fuzzy*. Apesar do rótulo *fuzzy* (nebuloso, difuso), a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, na verdade, provê um formalismo matemático estrito, no qual fenômenos ou atributos conceituais vagos e ambíguos podem ser estudados com precisão e rigor. Aliás, pode-se adotar essa teoria como uma técnica de modelagem

apropriada para situações nas quais fenômenos, critérios e relações *fuzzy* (difusas) existam.

Os fundamentos básicos dos Conjuntos Fuzzy podem ser sumariamente descritos da seguinte forma: seja um universo de discurso X e um subconjunto *fuzzy* \tilde{A} de X definido por uma *função de pertinência* $f_{\tilde{A}}(x)$, que mapeia cada elemento $x \in X$ em um número real no intervalo fechado $[0, 1]$. O valor dessa função em x , isto é, $f_{\tilde{A}}(x)$, representa a *pertinência* de x em \tilde{A} . Quanto maior for $f_{\tilde{A}}(x)$, maior será a pertinência de x em \tilde{A} .

Por exemplo, se \tilde{A} for um subconjunto *fuzzy*, no conjunto dos números reais R , definido por $\{x \mid x \text{ são números reais próximos de } 5\}$, a função de pertinência desse subconjunto pode ser definida como

$$f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } 4 \leq x \leq 6 \\ 1 / (x - 5)^2, & \text{se } x < 4 \text{ ou } x > 6 \end{cases} \quad (\text{V})$$

Números Fuzzy

Um número *fuzzy* B é um subconjunto especial de números reais (JAIN, 1976; DUBOIS e PRADE, 1978). Sua função de pertinência f_B é um mapeamento contínuo de R em um intervalo fechado $[0, 1]$, que tem as seguintes características:

- 1) $f_B(x) = 0$, para todo $x \in (-\infty, \alpha] \cup [\delta, +\infty)$;
- 2) $f_B(x)$ é estritamente crescente em $[\alpha, \beta]$ e estritamente decrescente em $[\gamma, \delta]$;
- 3) $f_B(x) = 1$, para todo $x \in [\beta, \gamma]$.

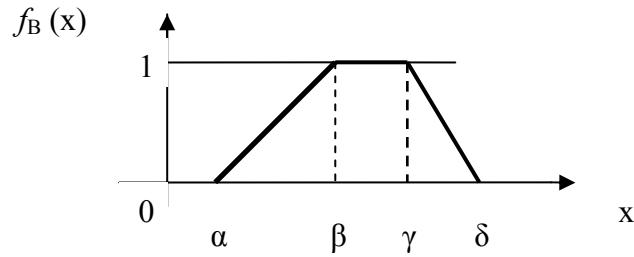


Figura 1 – Representação Gráfica de um Número *Fuzzy* Trapezoidal

Eventualmente, pode ocorrer que $\alpha = -\infty$ ou $\alpha = \beta$ ou $\beta = \gamma$ ou $\gamma = \delta$ ou $\delta = +\infty$. Segmentos de reta para $f_B(x)$ são adotados nos intervalos $[\alpha, \beta]$ e $[\gamma, \delta]$. Este tipo de número *fuzzy* é chamado de trapezoidal (ver representação gráfica na figura 1). Entretanto, se fizermos $\beta = \gamma$, em vez de uma representação trapezoidal, obtemos uma representação triangular, de forma que o número *fuzzy* passa a chamar-se *triangular*. Números *fuzzy* triangulares têm função de pertinência linear contínua e a seguinte representação gráfica.

$$f_B(x) = \begin{cases} (x - a) / (b - a), & a \leq x \leq b \\ 1, & x = b \\ (x - b) / (c - b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x \text{ fora de } [c, b] \end{cases} \quad (\text{VI})$$

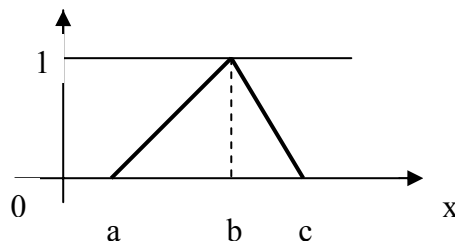


Figura 2 – Representação Gráfica de um Número *Fuzzy* Triangular

Números *fuzzy* triangulares, conforme expressos pela função de pertinência anterior, podem ser denotados por (a, b, c) . Com esta notação e pelo *princípio de*

extensão proposto por ZADEH (1965), as operações algébricas estendidas podem ser realizadas conforme mostrado a seguir:

Simetria

$$-(a, b, c) = (-c, -b, -a) \quad (\text{VII})$$

Adição \oplus

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \quad (\text{VIII})$$

Subtração (= Adição do simétrico)

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus -(a_2, b_2, c_2) = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2) \quad (\text{IX})$$

Multipliação \otimes

$$k \otimes (a, b, c) = (ka, kb, kc) \quad (\text{X})$$

$$(a_1, b_1, c_1) \otimes (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2) \quad (\text{XI})$$

com $a_1 \geq 0, a_2 \geq 0$

Divisão \oslash

$$(a_1, b_1, c_1) \oslash (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2) \quad (\text{XII})$$

com $a_1 \geq 0, a_2 \geq 0$

Com base nestas definições, números *fuzzy* triangulares são fáceis de manipular e interpretar. Por exemplo, “aproximadamente igual a 50” pode ser representado por (49, 50, 51); e “50 exato” pode ser representado por (50, 50, 50). Suas agregações algébricas, conforme o princípio de extensão para as operações algébricas mostrado anteriormente, são também fáceis de manipular e processar computacionalmente.

Ambigüidade e Vagueza – Fontes de Incerteza e Imprecisão

Em um artigo de janeiro de 2005, intitulado “*Toward a Generalized Theory of Uncertainty (GTU) – an Outline*”, Zadeh propõe um exame da incerteza de uma perspectiva mais ampla. Segundo ele, *incerteza* como atributo da informação pode ser representada como uma *restrição generalizada*. Assim, pela GTU, o *raciocínio sob*

incerteza seria tratado com uma *propagação de restrições generalizadas*, envolvendo os *aspectos semânticos dessa propagação*.

O conceito de *restrição generalizada*, peça central da GTU, é um conceito extraído da lógica *fuzzy*. A característica fundamental que distingue a lógica *fuzzy* da lógica aristotélica, normalmente utilizada no raciocínio científico tradicional, é que, na lógica *fuzzy*, *tudo é, ou é permitido ser, uma questão de gradação*.

Na GTU, a incerteza é percebida como uma *estrutura granular* – um conceito que desempenha um papel-chave na percepção do mundo real pela mente humana (ZADEH, 1979; 1997). Informalmente, um *grânulo* de uma variável X é um bloco de valores de X , grupados por *indistinção (de forma, quantidade ou qualidade)*, *equivalência, similaridade, proximidade ou funcionalidade*. Por exemplo, um intervalo de números reais é um grânulo.

Da mesma forma, um intervalo *fuzzy* também é um grânulo, assim como uma distribuição de probabilidade. Granulação é uma propriedade que permeia a cognição humana. Por exemplo, os grânulos (ou valores) de *Idade* são conjuntos *fuzzy* rotulados de *jovem, meia-idade e velho*. E os grânulos de *Verdade* podem ser *não verdadeiro, verdadeiro, não muito verdadeiro*, etc. Enquanto os grânulos de um *potencial de oferta de serviços de transporte* podem ser *baixo, moderado, médio, elevado e alto*.

Introduzido por ZADEH (1973; 1975), em seu artigo “*Outline of A New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*”, o conceito de *granularidade* é subjacente ao conceito de variável lingüística - um conceito. O conceito de variável lingüística desempenha um papel central em quase todas as aplicações da lógica *fuzzy* (PEDRYC e GOMIDE, 1998; ROSS, 2004). No próximo item, exploramos com mais detalhes o conceito de variável lingüística e sua utilidade para a proposta da presente dissertação.

Variáveis Linguísticas

Uma variável linguística, em princípio, é uma variável cujos ‘valores’ são palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial. *Valores linguísticos* podem ser analisados pelo ‘raciocínio aproximado’ da teoria dos conjuntos *fuzzy* e representados por *números fuzzy triangulares*. Por exemplo, os valores linguísticos da variável “*potencial regional de oferta de transporte aéreo*” podem ter funções de pertinência, conforme mostrado nas representações gráficas das figuras a seguir, nas quais se estabelece uma correspondência das bases desses valores num intervalo fechado $[0, 1]$.

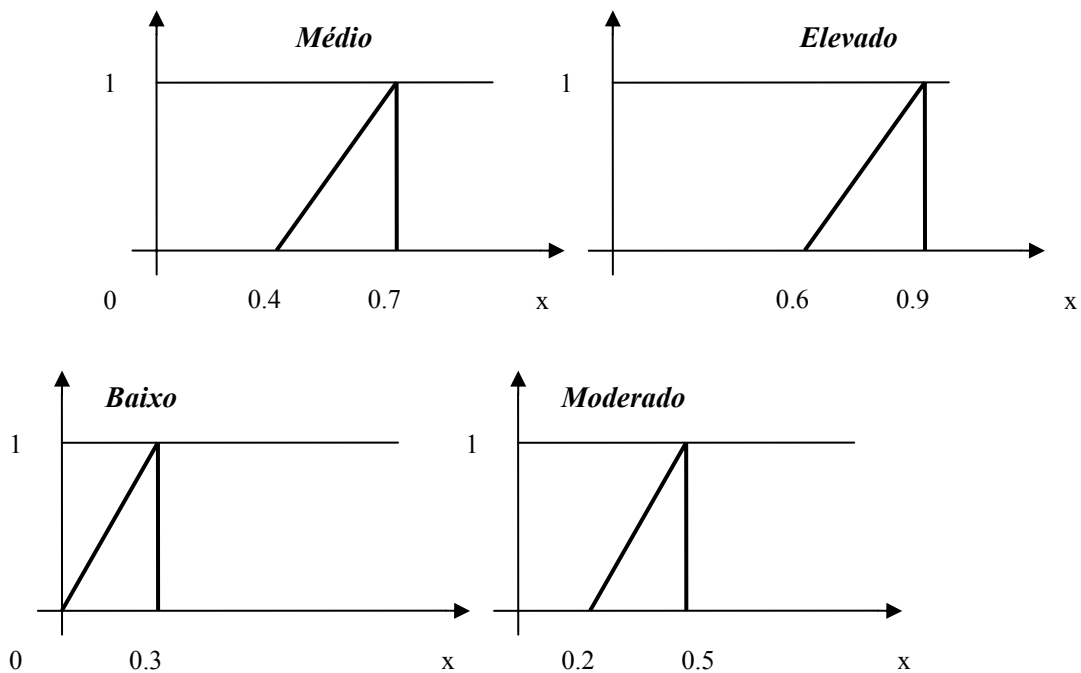


Figura 4. Representações Gráficas de Valores Fuzzy Triangulares da Variável Linguística “*Potencial Regional de Oferta de Serviços Aéreos*”.

Os números *fuzzy* correspondentes aos valores linguísticos são:

Baixo: $(0, 0.3, 0.3)$

Moderado: $(0.2, 0.5, 0.5)$

Médio: $(0.4, 0.7, 0.7)$

Elevado: ***(0.6, 0.9, 0.9)***

As funções de pertinência desses números “*fuzzy*” triangulares, representadas em um único gráfico, ficariam assim:

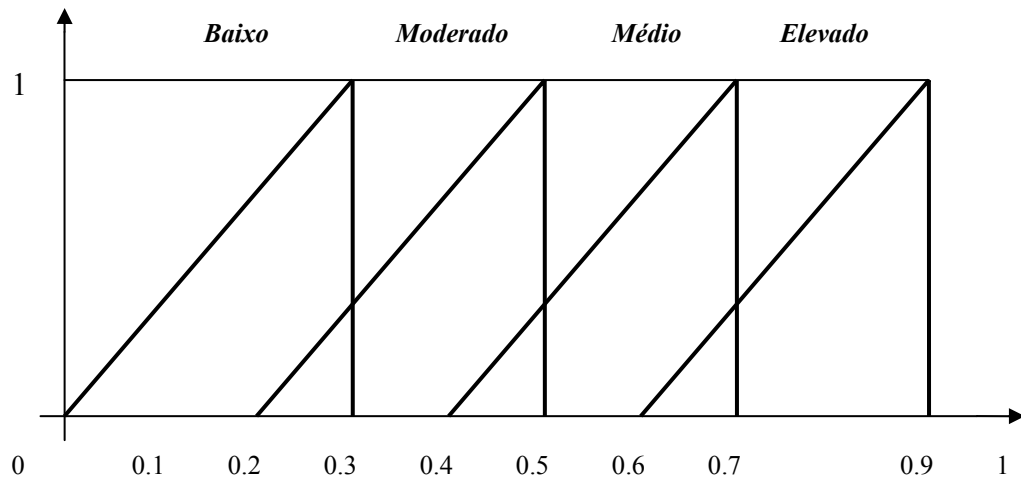


Figura 5. Números *Fuzzy* Triangulares Representativos da Variável Lingüística “Potencial Regional de Oferta de Serviços Aéreos”