

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE TOMADA DE
DECISÃO EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE
DE CARGA POR MEIO DO AHP *FUZZY*

JOEL CASTRO DO NASCIMENTO

MANAUS

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

JOEL CASTRO DO NASCIMENTO

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE TOMADA DE
DECISÃO EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE
DE CARGA POR MEIO DO AHP *FUZZY*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Ocileide Custódio da Silva

MANAUS

2012

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Nascimento, Joel Castro do

N244a Avaliação dos resultados da análise de tomada de decisão em projetos de infraestrutura de transporte de carga por meio do AHP *Fuzzy* / Joel Castro do Nascimento. - Manaus: UFAM, 2012.

104 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ocileide Custódio da Silva

1. Transporte rodoviário de carga - Administração 2. Logística de transporte 3. Administração – Tomada de decisão I. Silva, Ocileide Custódio da (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 656.135:658.012.34(043.3)

JOEL CASTRO DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE
TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DE CARGAS POR
MEIO DO AHP *FUZZY***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 13 de abril de 2012

BANCA EXAMINADORA



Para Rosalvo Almeida e Edineuza Castro,
que com amor e dedicação lutaram pela
educação de seus filhos e pelo incentivo nas
constantes batalhas da vida. Obrigado por
serem meus pais, corretos, íntegros e
competentes, fonte de minha inspiração.
Vocês são exemplos a serem seguidos.

A minha esposa Cristina Lima, pérola
preciosa que Deus colocou em minha vida.

Aos meus irmãos, Joelson, Daniel e Gabriel
com carinho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força e saúde para vencer esta empreitada, sem as bênçãos Dele em minha vida não estaria aqui.

À Universidade Federal do Amazonas e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pela oportunidade concedida em cursar o Mestrado em Engenharia de Produção.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram na minha formação acadêmica e educacional e também por me ensinarem a moral e os valores humanos. Estas duas pessoas com muita sabedoria e dedicação estiveram sempre ao meu lado me encorajando nos momentos difíceis da vida e aplaudindo-me nas vitórias alcançadas.

Agradecimento eterno a minha Cristina da Silva, esposa, companheira e amiga, pela compreensão nos momentos que estive ausente, pelo suporte emocional e por sempre me incentivar nos momentos difíceis da caminhada acadêmica.

Aos meus queridos irmãos, Joelson, Daniel e Gabriel, pelo companheirismo vivido durante esses longos anos, não poderia ter irmãos melhores que vocês.

A minha orientadora, Dra. Ocilde Custódio da Silva, sempre mostrando com paciência e coerência as diretrizes do trabalho.

Ao Prof. Dr. Nelson Kuwahara pela voluntariedade, sabedoria e simplicidade na transmissão de seus conhecimentos e, em especial, pela compreensão e auxílio nos momentos de dificuldades.

Ao Professor Dr. Sandro Bitar, pela orientação na metodologia de tomada de decisão utilizada no presente trabalho, pelas referências sugeridas e pelas dúvidas esclarecidas durante o período dissertativo.

As minhas amigas, Cristianne da Silva Macedo e Andressa Oliveira Marques, pela sólida amizade construída durante todo este período, pela força constante e pela ajuda em todos os aspectos.

Aos amigos João Paulo Penhalosa Duarte, Camila Feitoza Bagnaschi e Leandro Aparecido Leite, pela amizade fortalecida nos últimos meses de Mestrado e pelo acompanhamento mútuo no processo de finalização do mesmo.

Aos colegas de turma 09 do Mestrado, Renato Costa, Maria do Socorro, Carla Sena e Maria dos Anjos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM, pelo apoio financeiro concedido durante a realização do curso de Mestrado em Engenharia de Produção.

Ao Centro de Referência em Logística e Planejamento de Transporte de Carga da Amazônia - CRLPTC-AM, apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, especificamente por meio do Processo CNPq N. 553067/2005-2, e a todos os colegas e amigos do Laboratório Transportar, em especial Ivan Lima, Fábio Pereira, Larissa Albuquerque e Ana Carolina.

Epígrafe

“Onde há uma empresa de sucesso, alguém tomou alguma vez uma
decisão valente”
(Peter Drucker)

RESUMO

A infraestrutura de transportes é essencial ao desenvolvimento socioeconômico de uma nação. No Brasil, a infraestrutura é ineficiente e não atende ao potencial crescimento de suas diferentes regiões. No estado do Amazonas, a situação é crítica, pois as características peculiares de suas condições climáticas e ambientais dificultam a mobilidade regional. Isso impacta diretamente no setor produtivo, já que o principal agente do desenvolvimento econômico do Estado, o Polo Industrial de Manaus – PIM sofre diretamente com as condições dos modais da região. Os problemas relacionados à infraestrutura de transportes são normalmente oriundos da má gestão de recursos financeiros e à ausência de ferramentas apropriadas à tomada de decisão em investimentos públicos. Nesse sentido, o uso de ferramentas que auxiliem com eficácia a seleção de projetos públicos, pode propiciar melhorias substanciais para a sociedade. Este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do modelo AHP *Fuzzy* como suporte a tomada de decisão na seleção de projetos de investimentos para a infraestrutura de transporte que atendam ao PIM. O método tem como base a representação de um problema complexo por meio de uma estrutura hierárquica, que consiste da definição do objetivo principal e decomposição do sistema em vários níveis, possibilitando a visualização do sistema como um todo e seus componentes, sendo utilizado principalmente no tratamento da incerteza e imprecisão inerentes à tomada de decisões. Com o resultado satisfatório da aplicabilidade, o método AHP *fuzzy* mostrou-se aplicável de forma coerente ao cenário do PIM, onde as incertezas e informações imprecisas estão presentes, além de ser uma boa ferramenta de comunicação entre as partes interessadas.

Palavras - Chave: Modelo de Tomada de Decisão, Método AHP *Fuzzy*, Infraestrutura de transportes, Polo Industrial de Manaus - PIM

ABSTRACT

The transport infrastructure is essential to the socioeconomic development of a nation. In Brazil, the infrastructure is inefficient and does not meet the potential growth of its different regions. In the state of Amazonas, the situation is critical, because the peculiar characteristics of their climatic and environmental conditions hamper regional mobility. This directly impacts on the productive sector, as the main agent of economic development of the State, the Industrial Pole of Manaus - PIM suffers directly with the conditions of the modal area. The problems related to transport infrastructure are usually from poor management of financial resources and lack of appropriate tools for decision-making in public investments. In this sense, the use of tools that effectively assist the selection of public projects, can provide substantial improvements to society. This study aims to evaluate the applicability of fuzzy AHP model to support decision making in the selection of investment projects to the transportation infrastructure that meet the PIM. The method is based on a complex representation by a hierarchical structure, which consists of defining the main objective and decomposition of the system at different levels, enabling the visualization of the entire system and its components, being used mainly in the treatment the uncertainty and imprecision inherent in decision-making. With the satisfactory outcome of applicability, the AHP fuzzy proved consistently apply the PIM scenario where the uncertainties and inaccurate information are present, besides being a good communication tool between stakeholders.

Keywords: *Model-Making, fuzzy AHP, infrastructure transport, Industrial Pole of Manaus - PIM.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz de Transporte do Brasil	27
Figura 2 - Participação dos Subsetores de Atividades no faturamento do PIM	31
Figura 3 - Transporte de Carga: Manaus – Brasil	32
Figura 4 - Vetores Logísticos da Organização Espacial Brasileira	38
Figura 5 - Investimentos nos modais de Transporte no Amazonas	41
Figura 6 - Modelo de estrutura de avaliação de alternativas	46
Figura 7 - Conjuntos dos homens altos segundo a lógica clássica	51
Figura 8 - Conjuntos dos homens altos segundo a lógica fuzzy.....	52
Figura 9 - Representação geral de uma função de pertinência	55
Figura 10 - Sistema de Inferência Fuzzy	56
Figura 11 - A intersecção entre M1 e M2.....	62
Figura 12 - Fluxograma da pesquisa.....	69
Figura 13 – Participação no Sistema rodoviário dos estados da Região Norte	77
Figura 14 – Classificação das rodovias pavimentadas nos estados da Região Norte.....	77
Figura 15 - Estrutura Hierárquica da Seleção de Projetos em infraestrutura de transporte de carga para o PIM.....	81
Figura 16 – Hierarquização dos Critérios em relação ao Objetivo Principal	83
Figura 17 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério NE	85
Figura 18 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério AMB.....	86

Figura 19 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério PCF.....	88
Figura 20 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério FA.....	89
Figura 21 – Hierarquização final das Alternativas	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faturamento x Exportação PIM	31
Tabela 2 – AHP Saaty x AHP <i>Fuzzy</i>	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Investimentos nos modais de Transporte no Brasil.....	28
Quadro 2 - Vetores Logísticos por região	39
Quadro 3 - Escala Comparação no AHP	47
Quadro 4 - Matriz de Comparação de Critérios AHP	48
Quadro 5 - Valores de IR em função da ordem da Matriz	49
Quadro 6 - Conjuntos Clássicos	53
Quadro 7 - Propriedades Fundamentais das operações dos Conjuntos Tradicionais	54
Quadro 8 - Matriz de Comparação de Critérios AHP Fuzzy.....	61
Quadro 9 - Total de Carga movimentada em cinco Estados da Região Norte em 2012	76
Quadro 10 - Principais Rios da Amazônia	78
Quadro 11 - Comparativo dos custos anuais com infraestrutura (Milhões US\$).....	79
Quadro 12 - Desempenho Logístico no setor de telefonia celular	79
Quadro 13 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critérios x Objetivo Principal.....	81
Quadro 14 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério NE x Alternativas.....	83
Quadro 15 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério AMB x Alternativas	85
Quadro 16 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério PCF x Alternativas	87
Quadro 17 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério FA x Alternativas	88

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE QUADROS.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	17
INTRODUÇÃO	17
1.1 DA CONTEXTUALIZAÇÃO AO PROBLEMA.....	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.1.1 Geral	20
1.2.1 Específicos.....	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
CAPÍTULO 2.....	22
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 OS SISTEMAS DE TRANSPORTE E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL.....	22
2.2 LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.....	24
2.3 INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE NO BRASIL.....	25
2.4 INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE NO AMAZONAS	28
2.5 ZONA FRANCA E O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS	29
2.6 LOGÍSTICA DE TRANSPORTES DO PIM.....	31
2.7 POLÍTICAS ADOTADAS PARA A DEFINIÇÃO DE INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES	33
2.7.1 NO MUNDO	33
2.7.2 NO BRASIL	35
2.7.2.1 Planos Plurianuais - PPAS.....	35
2.7.2.2 Plano Nacional de Logística & Transporte - PNLT	36
2.7.2.3 PAC – Plano de Aceleração do Crescimento	39
2.8 MODELOS E FERRAMENTAS APLICADAS NO PLANEJAMENTO	41
2.8.1 O processo de Tomada de Decisão.....	42
2.8.2 Métodos de Análise de Decisão.....	43
2.9 AHP SAATY E AHP <i>FUZZY</i>	44
2.9.1 AHP SAATY	44

2.9.2 MATEMÁTICA <i>FUZZY</i>	50
2.9.2.1 Do Conjunto Clássico ao Conjunto <i>Fuzzy</i>	52
2.10 SISTEMA DE INFERÊNCIA <i>FUZZY</i>	56
2.11 NÚMEROS <i>FUZZY</i> TRIANGULARES	57
2.12 MÉTODO AHP <i>FUZZY</i>	59
2.12.1 Experiências de aplicações do Método	63
2.12.2 Vantagens do Método	65
2.12.3 Limitações do Método	66
CAPÍTULO 3	67
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	67
CAPÍTULO 4	72
RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1 ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS.....	72
4.1.1 Eixos do Sistema de Transporte Regional	72
4.1.2 Análise Comparativa da infraestrutura de transporte do Estado do Amazonas com outros Estados da região	75
- Modal Aéreo.....	75
- Modal Rodoviário	76
- Modal Hidroviário.....	78
4.2 APLICAÇÃO DA AHP <i>FUZZY</i> NA SELEÇÃO DE PROJETOS EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DO PIM	80
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DO MÉTODO AHP SAATY E AHP <i>FUZZY</i>	92
CAPÍTULO 5	94
CONCLUSÕES.....	94
5.1 CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO	95
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
REFERÊNCIAS.....	98

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

É possível enxergar o papel do transporte na criação de alto nível de atividade econômica a partir da comparação das economias de uma nação desenvolvida e de outra em desenvolvimento. Deve-se salientar que o aumento da competitividade de mercado, a garantia da economia de escala na produção e redução dos preços das mercadorias é resultado de um melhor sistema de transporte (BALLOU, 2008). Logo é perceptível que a infraestrutura de transporte é um fator competitivo para as empresas e governo de um determinado país, estado ou região.

A infraestrutura de transporte deve fornecer direito ao acesso, tanto de veículos como de unidades organizacionais de transportes a fim de munir de serviços para uso próprio ou para terceiros, mediante a cobrança de taxa de serviço, trazendo variados benefícios para a sociedade, como por exemplo, a disponibilidade de bens, a ampliação dos mercados, a concorrência, aos custos dos produtos, entre outros (BOWERSOX & CLOSS, 2007; CAIXETA FILHO & MARTINS, 2001).

Em vários países do mundo, inclusive no Brasil, a oferta de infraestrutura foi e ainda é importante para o desenvolvimento da região. Com a importância da infraestrutura para o desenvolvimento da região é necessário que haja modelos e métodos de tomada de decisão. Segundo Kuwahara *et al* (2008), o Brasil é usuário do Método Multicriterial (MCA), metodologia que utiliza alternativas e critérios, sendo que de acordo com peso dos critérios obtém-se as alternativas mais viáveis para determinar a viabilidade dos projetos de investimentos em transportes, mas não partilha o poder de tomada de decisão de alocação dos recursos, cujas decisões são realizadas sem base na demanda e interesse dos *stakeholders*.

No estado do Amazonas, as áreas de Planejamento de Transporte e Logística têm sido as principais causas que interferem diretamente no desenvolvimento econômico da Região, especificamente em relação ao Polo Industrial de Manaus - PIM e o interior do Estado (PORTUGAL, 2006), pois a infraestrutura disponibilizada para escoar a produção torna o custo de transporte mais elevado acarretando na baixa competitividade no mercado.

1.1 DA CONTEXTUALIZAÇÃO AO PROBLEMA

As infraestruturas de transportes são de suma importância para os países em desenvolvimento terem condições necessárias para seu desenvolvimento social e econômico. Em países ditatoriais a tomada de decisão em infraestrutura de transporte é quase que inexistente, ao passo que o mesmo não ocorre em países democráticos. Sendo assim o processo de tomada de decisão é imprescindível na utilização da melhor forma dos recursos, que por muitas vezes são limitados, para obter resultados satisfatórios para a sociedade como um todo.

O Brasil possui uma infraestrutura ineficiente, o que não é diferente com o Estado do Amazonas. O País é usuário do Método Multicriterial, mas o utiliza de forma inadequada, e um exemplo disso é a baixa participação nas exportações que é cerca de 1% apenas conforme Erhart e Palmeira (2006).

Os investimentos em manutenção e expansão da infraestrutura não acompanharam o intenso crescimento das atividades de transportes, pelo contrário os investimentos no setor durante o período de 1975 a 2002 caíram de 1,8% do PIB para 0,2%, encarecendo os custos com transportes do país (WANKE & FLEURY, 2006). Conforme Batista (2006) o custo com transporte brasileiro ainda é um dos mais altos do mundo chegando a ser de 50% mais caro do que o praticado nos Estados Unidos. Como exemplo, a produção de soja no Brasil é 51 dólares mais barato que nos EUA, porém ao adicionar os custos logísticos, a soja brasileira torna-se 24 dólares mais cara.

Não diferente do restante do Brasil, o estado do Amazonas apresenta também uma grave ineficiência em infraestrutura de transportes, consequência da extensão geográfica, da estrutura hidrográfica e aspectos peculiares climáticos que contribuem para a deficiente acessibilidade de pessoas e cargas no Estado, tendo em vista a precária infraestrutura viária amazonense (KUWAHARA, 2008).

O Estado do Amazonas sofre de um grave desequilíbrio em sua infraestrutura de transportes, principalmente por sua economia estar centralizada na Capital com a Zona Franca de Manaus. Devido a esse fator as melhores condições do sistema viário do Estado estão implementadas na cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas.

Devido a sua estrutura hidrográfica, o transporte de cargas no Amazonas é dependente deste setor. De acordo com estudos do Ministério dos Transportes, o rio

Amazonas transporta cerca de 60% de toda carga brasileira neste modal. Já o modal rodoviário encontra-se de forma geral incipiente e é complementar ao transporte hidroviário, enquanto que o modal aeroviário encontra-se intimamente relacionado ao movimento de cargas de alto valor agregado oriundas do Polo Industrial de Manaus. (FENLEY, 2007; MT, 2010).

O Brasil apresenta uma infraestrutura de transporte ainda ineficiente e no Amazonas não é diferente do contexto nacional, principalmente por estar no centro da floresta Amazônica, região de elevada dificuldade na logística. Apesar dos extensos rios, o modal hidroviário é subutilizado, o setor rodoviário mostra o maior exemplo de infraestrutura precária com a Transamazônica que foi um projeto criado para ligar a Região Norte ao restante do País, mas que na atualidade passa maior parte do ano intransitável e o modal aéreo, conta apenas com um aeroporto com capacidade de carga limitada.

Não obstante, além das dificuldades apresentadas pelos modais, à baixa ou total falta de interação do setor de planejamento dos transportes para com os setores produtivos do PIM afetam direta e indiretamente a economia local.

Diante da situação atual da infraestrutura de transportes utilizada pelo PIM para o transporte de cargas emerge as seguintes perguntas: Existem ferramentas técnicas que auxiliam no processo de definição dos investimentos em infraestrutura de transportes no Amazonas? Qual o modelo mais adequado para o problema discutido?

Os problemas expostos anteriormente ocorrem devido à superficialidade na tomada de decisão de investimentos em projetos públicos, pois o governo não dispõe de subsídios para tomar decisão de forma mais eficaz e eficiente. Desta forma, o mesmo necessita de ferramentas para auxiliar na seleção de projetos públicos com o intuito de obter melhorias substanciais para a sociedade.

Portanto é essencial que existam metodologias e ferramentas que auxiliem o poder público dando maior subsídio na tomada de decisão para seleção de projetos públicos em infraestruturas de transportes.

1.2 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Avaliar a aplicação do Método AHP *Fuzzy* como modelo de suporte a tomada de decisão na seleção de projetos de infraestrutura de transporte que atendam ao PIM.

1.2.1 Específicos

1. Estudar a metodologia AHP *Fuzzy* e as diversas experiências produzidas com essa tecnologia;
2. Analisar a situação atual da infraestrutura logística de transportes de carga do Polo Industrial de Manaus;
3. Aplicar o método AHP *Fuzzy* na tomada de decisão em projetos em infraestrutura de transportes de carga do PIM;
4. Avaliar comparativamente o AHP *Fuzzy* pesquisado com o AHP tradicional.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No que se refere à sua estrutura, esta Dissertação é formada por cinco Capítulos que, em síntese, contém o que se apresenta a seguir.

O Capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, contextualização ao problema, além dos objetivos geral e específicos.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica que versa sobre: - Os sistemas de transportes e o desenvolvimento econômico e social; Logística e infraestrutura de transporte; Infraestrutura de transporte no Brasil e no Amazonas; Zona Franca e o Polo Industrial de Manaus; Logística e transporte do PIM; Políticas para a definição de investimentos em infraestrutura de transporte no mundo e no Brasil com o PNLT, os PPAs e o PAC; Modelos e ferramentas aplicadas ao planejamento com o processo de tomada de decisão com métodos de análise de decisão e, AHP tradicional. Para melhor entendimento da AHP *fuzzy* são apresentados nesse capítulo elementos de Matemática *fuzzy*, sistema de inferência *fuzzy*, números *fuzzy* triangulares e por fim apresenta-se o método AHP *Fuzzy* com a experiência da aplicação de diversos autores.

No Capítulo 3 descreve-se os procedimentos metodológicos, a identificação e

classificação da pesquisa, bem como o fluxograma das etapas que conduziram a realização do presente trabalho.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e discussão, onde é abordada a análise da infraestrutura de transporte do PIM a aplicação com a simulação do método para o Polo Industrial de Manaus, como ferramenta para o planejamento de investimentos no setor de transportes, e por fim a avaliação comparativa do método *AHP Fuzzy* com o AHP tradicional.

No Capítulo 5 encontra-se a Conclusão dos resultados deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 OS SISTEMAS DE TRANSPORTE E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL

O sistema de transporte define-se com o processo de deslocamento de pessoas e de cargas de um lugar para outro. De um modo geral, são essenciais no desenvolvimento econômico e social de um país ou de uma região. O presente trabalho tem como enfoque principal o transporte de cargas. Para Rus *et al*, 2001, o transporte de cargas é definido como o transporte de bens onde são produzidos e armazenados para onde são transformados ou consumidos.

Os sistemas de transportes como atividade meio, de apoio à produção de bens e serviços, têm suma importância no aproveitamento dos recursos produtivos de um país ou região, pois contribuem de forma significativa e direta no processo de desenvolvimento, isso porque estão na linha de frente a questões que dizem respeito ao mesmo, tais como, a geração de empregos, a ocupação do territorial, a energia e ao meio ambiente e também porque respondem por importantes parcelas de formação de capital, da ocupação da mão de obra, do consumo de insumos energéticos e da formação de *clusters* produtivos e eixos de desenvolvimento (BARAT, 2007).

De acordo com o mesmo autor, os transportes são fundamentais para:

- O desenvolvimento da economia de uma forma geral, na medida em que sua disponibilidade tanto com as modificações dos estoques e combinações relativas dos fatores de produção, quanto às transformações na estrutura das demandas intermediária e final;
- A estruturação do espaço geoeconômico, ao condicionar os padrões de organização do território e a localização de atividades.

Ao se fazer uma análise dos sistemas de transportes e o desenvolvimento econômico, verifica-se um processo bastante complexo, pois de acordo com Van de Vooren (2004), devido a influência de vários fatores há uma dificuldade em se estabelecer uma relação direta

entre transporte e a economia.

Os sistemas de transportes moldam-se de acordo com a estrutura geográfica e localização da região, tendo três tipos de modais, sendo eles: transporte aquaviário, terrestre e aeroviário. O transporte aquaviário ocorre por meio marítimo, fluvial e lacustre. O transporte terrestre engloba o modal ferroviário, rodoviário e dutoviário. E o aeroviário se dá por via aérea.

Cada modalidade tem suas vantagens e desvantagens. Ballou (2008) aponta que o transporte dutoviário é um meio eficiente para mover granéis líquidos ou gasosos por grandes distâncias, principalmente petróleo, gás e derivados. No entanto, seus custos fixos como a tubulação, terminais, equipamentos de bombeamento entre outros faz a modalidade apresentar o maior quociente de custo fixo entre os demais.

O transporte aéreo tem como vantagem a capacidade de percorrer grandes distâncias em pouco tempo e transportar produtos de alto valor agregado, ou produtos sensíveis à ação do tempo, que precisam de rapidez na entrega. Segundo Novaes (2007) este tipo de transporte possui níveis de avarias e extravios mais baixos, resultando em maior segurança e confiabilidade. Porém, apresenta empecilhos para produtos de baixa relação valor/peso.

O transporte rodoviário é o predominante em quase todas as economias de modo que lhe possibilita penetrar em cidades onde a ferrovia, o aeroporto ou mesmo um barco não terão alcance. A ocorrência de seus serviços se dá por meio de rodovias e estradas, sendo o mais adequado para a realização de viagens curtas e de médias distâncias. Nesta modalidade prevalece o serviço de transporte de produtos semiacabados e acabados (BALLOU, 2008).

O transporte ferroviário é aquele que é realizado por trens, compostos de vagões puxados por locomotivas, sobre trilhos, podendo ser nacional ou internacional. No entanto, no Brasil, o seu uso fica restrito a algumas regiões, uma vez que a predominância é o transporte rodoviário seguido do aéreo. Na Amazônia, pela sua história e pela sua estrutura hidrográfica, com longos e caudalosos rios navegados naturalmente, o transporte hidroviário foi se sobressaindo na matriz do transporte regional. A vantagem dele é que apresenta menor custo em relação ao rodoviário e o aéreo, um baixo consumo de combustível, e grande capacidade de transporte. Além de ser mais seguro que os modais terrestres é menos prejudicial ao meio ambiente. Na sequência, temos o conceito de transporte intermodal e multimodal.

Na busca de custos menores de transporte ou mesmo alimentando a histórica concorrência entre as modalidades, Martins e Caixeta-Filho (2001) afirmam que atualmente as empresas tentam, quando podem, uma complementaridade entre elas, isto é a intermodalidade. Isto levou Novaes (2007) a definir transporte multimodal como fisicamente igual ao intermodal. No entanto, eles consideram a emissão de um só documento de transporte para todo o percurso, integrando as responsabilidades do transportador.

2.2 LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

Com os avanços da tecnologia conquistados nos últimos anos e com o advento da globalização, a logística se tornou um dos fatores de extrema importância na sobrevivência em um mercado altamente competitivo.

O termo logística surgiu no ambiente militar, com a necessidade da movimentação dos suprimentos e dos soldados (BRAZ, 2004). Vários são os conceitos utilizados para se definir logística. Segundo Christopher (1997), logística é o processo com o qual se conduz de forma estratégica a transferência e a armazenagem de materiais, componentes e produtos acabados, obedecendo à ordem de fornecedores, empresas e consumidores. Já Ballou (2008) conceitua logística como a associação da administração dos fluxos de bens e serviços com a informação associada que os põem em movimento, isto é, a missão da logística é colocar os produtos ou os serviços certos, no tempo certo, no lugar certo, na condição desejada, ao menor custo possível.

De acordo com Novaes (2007), a logística inicia-se com o processo de planejamento, passando para implementação e operação de como ocorrerá o fluxo e a armazenagem tanto de matéria-prima quanto de produtos acabados de forma eficaz e eficiente. Tais operações precisam ser avaliadas, monitoradas e controladas com objetivo de satisfazer as necessidades do consumidor.

Já a infraestrutura de transporte tem por objetivo fornecer direito ao acesso, tanto de veículos como de unidades organizacionais de transportes, a fim de munir de serviços para uso próprio ou para terceiros, mediante a cobrança de taxa de serviço, trazendo variados benefícios para a sociedade, como por exemplo, a disponibilidade de bens, a ampliação dos mercados, a concorrência, aos custos dos produtos, entre outros (BOWERSOX & CLOSS, 2007; CAIXETA FILHO & MARTINS, 2001).

A infraestrutura de transportes em vários países no mundo, inclusive no Brasil, foi e ainda é um fator primordial para seu desenvolvimento. À medida que a infraestrutura de transportes se adéqua as características da região, a logística de transporte torna-se mais barata e a estrutura econômica começa a assemelhar-se com a economia de um país desenvolvido. Pois segundo Ballou (2008), um melhor sistema de transporte coopera para:

1) Aumentar a competição do mercado: Com um sistema de transporte ineficiente o mercado fica restrito aos produtos locais, e quando há produtos do mercado externo os preços são elevados. Em contrapartida se houver uma boa infraestrutura de transportes, os custos com os produtos dos mercados externos têm uma redução significativa podendo competir com o mercado local, só ganhando com isso a economia regional.

2) Garantir a economia da escala na produção: Com custos de transportes reduzidos, os negócios ficam mais rentáveis permitindo mercados mais amplos com economia de escala na produção, visto que, com um sistema de transporte eficiente pode haver desvinculação dos locais de produção com o mercado de consumo, gerando uma liberdade de escolha na localização da indústria, podendo aproveitar as vantagens geográficas.

3) Reduzir os preços das mercadorias: A infraestrutura de transportes tem um impacto direto nos preços de mercado do produto, pois o mesmo é composto principalmente por custos com transportes, custos de produção, de venda e outros mais. Esse custo com transporte tendo valor reduzido devido à infraestrutura eficiente é sentido no preço final do produto, elevando a competitividade, melhorando o desempenho das empresas e consequentemente à economia local.

Os três pontos citados anteriormente evidenciam os efeitos da infraestrutura de transportes sobre a economia de um determinado país. Bastando somente fazer uma análise comparativa entre a economia de um país desenvolvido com a de outra em fase de desenvolvimento que é visível o papel que o transporte desempenha na criação de alto nível de atividade econômica.

2.3 INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE NO BRASIL

No Brasil a inadequada e ineficiente infraestrutura de transportes tem sido um entrave a um maior crescimento econômico. Esse problema reduz drasticamente a competitividade do País, pois ocupa a 57ª posição no ranking internacional da competitividade. No bloco

econômico BRICs formado pelo Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, o Brasil ocupa a antepenúltima posição ficando a frente apenas da Índia e da Rússia que ocupam o 60º e 70º lugares, respectivamente. O País ainda perde para países com um desenvolvimento econômico inferior, como exemplo Chile (The Global Competitiveness 2010–2011).

De acordo com Erhart & Palmeira (2006) apesar do crescimento econômico do País ter sido de 25% nos últimos dez anos, está muito aquém da taxa mundial, que no mesmo período teve um acréscimo de 46%, pois mesmo o País estando entre os vinte maiores exportadores do mundo, a sua participação é de apenas 1%.

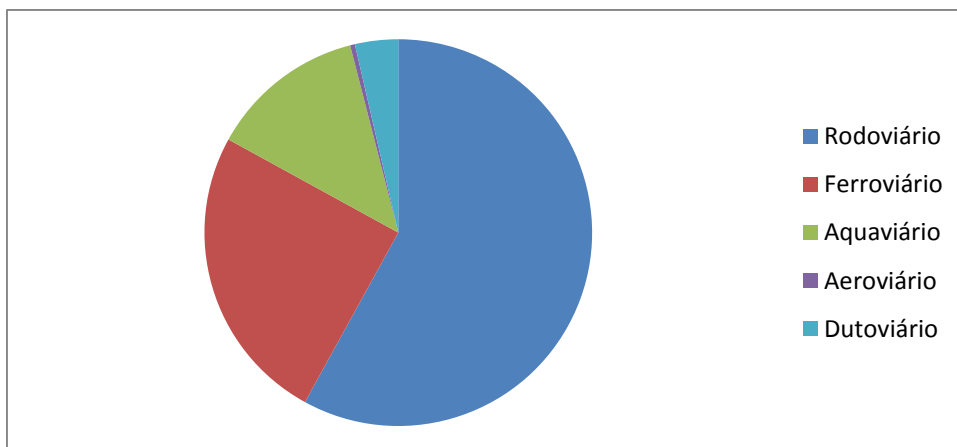
Os investimentos em manutenção e expansão da infraestrutura não acompanharam o intenso crescimento das atividades de transportes, pelo contrário os investimentos no setor durante o período de 1975 a 2002 caíram de 1,8% do PIB para 0,2%, encarecendo os custos com transportes do país (WANKE & FLEURY, 2006). Conforme Batista (2006) o custo com transporte brasileiro ainda é um dos mais altos do mundo chegando a ser de 50% mais caro do que o praticado nos Estados Unidos. O Brasil gasta com a logística de transportes cerca de US\$ 75,2 bilhões o que equivale a 12,4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Segundo o mesmo autor, só com transportes as despesas chegam a ser de US\$ 42 bilhões que corresponde a cerca de 7% do PIB, sendo assim divididos em:

- Modal rodoviário, US\$ 35,2 bilhões;
- Modal ferroviário, US\$ 2,8 bilhões;
- Modal aquaviário, US\$ 2,5 bilhões;
- Modal dutoviário, US\$ 800 milhões;
- Modal aéreo, US\$ 700 milhões,
- Despesas com estoques e armazenagem: US\$ 24,7 bilhões e US\$ 5,5 bilhões, respectivamente.

A má utilização da infraestrutura provoca o desbalanceamento da matriz de transporte, tendo o modal rodoviário o principal responsável por cerca de 60% de todo transporte de carga do País, enquanto que nos Estados Unidos é de apenas 26%. Países com dimensão territorial semelhante a do Brasil, como o próprio EUA, Canadá, Rússia e China, utilizam

principalmente os modais ferroviário e aquaviário. A Figura 1 apresenta o desequilíbrio na matriz de transporte brasileira (BATISTA, 2006; WANKE & FLEURY, 2006, MT e MD, 2010).

Figura 1 – Matriz de Transporte do Brasil



Fonte: MT e MD, 2010

De acordo com estudo da CNT/COPPEAD (2002) essa distorção da matriz de transporte com a super utilização do transporte rodoviário no Brasil ocorre devido: ao baixo preço rodoviário, poucas alternativas ao modal rodoviário, barreiras para a intermodalidade e priorização do governo pelo modal rodoviário. A seguir a definição de cada um desses fatores:

- Baixo preço dos fretes rodoviários: O valor médio pago no frete rodoviário é muito menor que os custos incorridos, consequência das baixas barreiras de entrada, altas barreiras de saída, baixa manutenção e renovação de veículos, carregamentos com sobre peso, jornadas de trabalho excessivas e também a inadimplência no setor.

- Poucas alternativas ao modal rodoviário: A baixa disponibilidade e limitações operacionais dos modais aquaviário e ferroviário dificultam a utilização dos mesmos frente ao modal rodoviário.

- Barreiras para intermodalidade: A viabilização da atuação dos Operadores de Transporte Multimodal (OTM), que realizam operações intermodais com um documento único de transporte é um dos entraves para a realização da intermodalidade.

- Priorização do governo pelo modal rodoviário: Os investimentos públicos priorizam o setor rodoviário em detrimento aos outros modais. Até 2010 o governo brasileiro investiu

R\$ 65,4 bilhões em logística, porém maior parte deste investimento foi no modal rodoviário, como retrata a Quadro 1 o qual mostra a divisão dos investimentos públicos entre os setores de acordo com o Plano de Aceleração do Crescimento -PAC.

Quadro 1 - Investimentos nos modais de Transporte no Brasil

Modal	2007-2010
Rodovias	R\$ 42,9 bilhões
Marinha Mercante	R\$ 17 bilhões
Ferrovias	R\$ 3,4 bilhões
Aeroportos	R\$ 281,9 milhões
Portos	R\$ 789,1 milhões
Hidrovias	R\$ 965,5 milhões
TOTAL	R\$ 65,4 bilhões

Fonte: PAC (2011)

2.4 INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE NO AMAZONAS

Não diferente do restante do Brasil, o estado do Amazonas apresenta também uma grave deficiência em infraestrutura de transportes, consequência da extensão geográfica, da estrutura hidrográfica e aspectos peculiares climáticos que contribuem para a deficiente acessibilidade de pessoas e cargas no Estado, tendo em vista a precária infraestrutura viária amazonense (KUWAHARA, 2008).

O estado do Amazonas sofre de um grave desequilíbrio em sua infraestrutura de transportes, principalmente por sua economia estar centralizada na Capital com a Zona Franca de Manaus. Devido a esse fator as melhores condições do sistema viário do Estado encontram-se em Manaus, sua capital.

Devido a sua estrutura hidrográfica, o transporte de cargas no Amazonas é dependente deste setor. De acordo com estudos do Ministério dos Transportes, o Rio Amazonas transporta cerca de 60% de toda carga brasileira neste modal. Já o modal rodoviário encontra-se de forma geral incipiente e é complementar ao transporte hidroviário, enquanto que o modal aeroviário encontra-se intimamente relacionado ao movimento de cargas de alto valor agregado oriundas do Polo Industrial de Manaus. O modal ferroviário é inexistente no Estado (FENLEY, 2007; SANT'ANNA, 1998; MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2010).

A estrutura hidrográfica conta com três portos em Manaus, um público e dois privados podendo ser acessados pelos rios Negro e Amazonas pelas rodovias federais BR-174 e BR-

319 e pela rodovia estadual AM-010. A extensa rede hidrológica além de ser o principal meio de transporte em todo Amazonas, permite ligações com países vizinhos como exemplo com a Colômbia por meio da conexão dos rios Içá-Putumayo e com o Peru por via dos rios Solimões-Marañon (FENLEY, 2007).

A infraestrutura rodoviária conta com três rodovias federais, BR-174, BR-319, BR-230 e uma rodovia estadual a AM-010, toda estrutura rodoviária tem cerca de 2050 km de malha rodoviária pavimentada (CNT, 2012). Já o modal aéreo conta com três aeroportos principais; o aeroporto doméstico de Tefé, o aeroporto internacional de Tabatinga e o aeroporto Internacional Eduardo Gomes em Manaus. A principal causa do crescimento do transporte de cargas neste modal ocorre principalmente por conta dos produtos de alto valor agregado do Polo Industrial de Manaus (FENLEY, 2007).

Apesar de toda estrutura hidrológica do Amazonas, o interior do Estado encontra dificuldades em transportar tanto passageiros quanto cargas, problema este decorrente da infraestrutura rudimentar na maioria dos municípios do Estado, tanto portuária, quanto ao meio de transportes aquaviário causando transtornos econômicos e sociais à população interiorana. Da mesma forma os modais rodoviário e aeroviário, apresentam-se de maneira incipiente no interior do Estado. As rodovias existentes no Estado do Amazonas encontram-se em estado regular, ruim ou péssima, inviabilizando uma melhor utilização no transporte de cargas. Já o modal aeroviário além de ser um dos meios de transporte mais onerosos, é bastante comum no Estado o cancelamento de voos (SANT'ANNA, 1998, CNT, 2012; NOGUEIRA *et al*, 2004).

2.5 ZONA FRANCA E O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Devido o baixo desenvolvimento e densidade demográfica na Amazônia o governo federal criou o projeto Zona Franca de Manaus – ZFM, em 1957 pela Lei N 3.173/57, com implantação somente em 1967, com o objetivo de trazer desenvolvimento econômico para a Região Amazônica. A ZFM abrange uma área de cerca 10.000 km², constituindo-se em uma área de livre comércio, gerenciada pela Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA, tendo seu centro na cidade de Manaus.

Os estados que compõem a Zona Franca são: Amazonas, Roraima, Rondônia, Acre e Amapá. Esses estados dispõem de amplos benefícios fiscais, seja redução e/ou isenção, dentre

eles: Imposto sobre produto industrializado – IPI, Imposto de Exportação – IE, Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS, (SUFRAMA, 2010).

A SUFRAMA viabilizou a implantação de três polos que compõe a Zona Franca, de acordo com as características da região: Agropecuário, Comércio e Indústria.

Das três vertentes a linha de atuação que mais se desenvolveu foi a Indústria, logo é nesse segmento que se sustentam os esforços políticos em prol de sua continuidade (BOTELHO, 2001). Pelo extraordinário desenvolvimento no setor, a indústria passou a ser chamada de Polo Industrial de Manaus – PIM. O qual atraiu e vem atraindo empresas de alta tecnologia e investidores de todo mundo, tais como Japão, Estados Unidos, Alemanha, Finlândia que trouxeram tecnologia de ponta fazendo surgir os subsetores; eletroeletrônico, duas rodas, relojoeiro, dentre outros.

O setor industrial alavancou o crescimento econômico da cidade de Manaus, principalmente a partir dos anos 80. Tendo um grande desempenho na década de 90, obtendo um faturamento de US\$ 8,4 bilhões. Vale ressaltar que na época a economia brasileira era caracterizada por um mercado fechado com barreiras tarifárias e não-tarifárias o que facilitava o crescimento econômico. Mas em 1991, a abertura do mercado a importação impactou de forma negativa a economia do PIM, pois os produtos importados chegaram com um preço altamente competitivo trazendo uma forte recessão na economia.

Foi preciso mudanças drásticas nas leis e também nas empresas com o intuito de retomar o crescimento econômico industrial no âmbito local. Essas medidas obtiveram êxito a partir de 1993, constatando-se a evolução da competitividade, elevação da qualidade e preços competitivos com o mercado externo dos produtos.

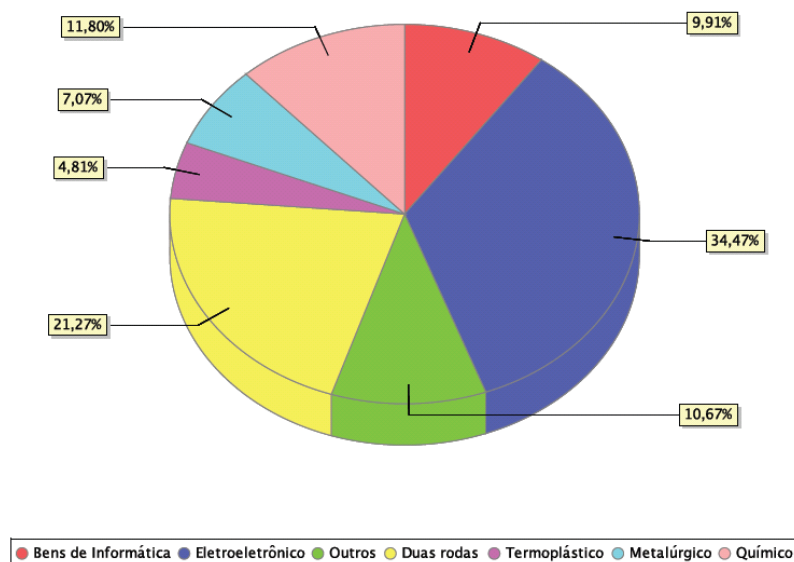
O Polo Industrial conta hoje com mais de 500 empresas, tanto nacionais como multinacionais dos mais diversos setores. Este apresenta faturamento médio anual superior a US\$ 25 bilhões nos últimos cinco anos e as exportações US\$ 1.037.373,266 milhões no ano de 2010, ver Tabela 1 (SUFRAMA, 2012).

Tabela 1 - Faturamento x Exportação PIM

Ano	Faturamento (US\$)	Exportação (US\$)
2007	25.668.333.274	1.044.793.963
2008	30.099.162.584	1.192.004.489
2009	25.957.093.967	854.448.076
2010	35.218.263.484	1.037.497.107
2011	41.250.087.749	838.678.640

Fonte: SUFRAMA (2012)

Esse faturamento se subdivide entre os diversos setores: Dos quais os mais representativos são: Eletroeletrônico com 34,47%, o setor de duas rodas com 21,27% e o setor químico com 11,8% (SUFRAMA, 2012) Ver Figura 2.

Figura 2 - Participação dos Subsetores de Atividades no faturamento do PIM

Com todo esse crescimento, o Polo Industrial de Manaus é um modelo de sucesso, afirmação baseada em seus números, no entanto, ainda apresenta diversos entraves para seu amplo desenvolvimento, o principal deles é a infraestrutura de transportes, tornando-se um fator preponderante na não competitividade internacional.

2.6 LOGÍSTICA DE TRANSPORTES DO PIM

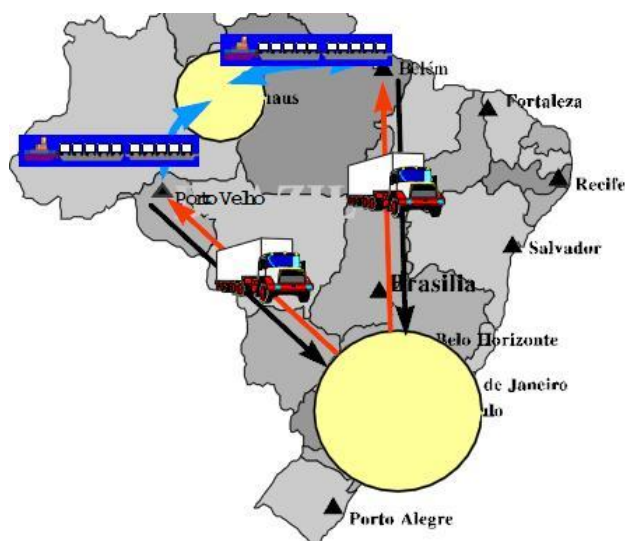
Segundo Fontana e Aguiar (2001) o crescimento da internacionalização econômica brasileira, proporcionou aumento das opções de transportes tornando mais complexa a otimização das operações logísticas por meio da privatização de portos e ferrovias, investimentos em infraestrutura e o surgimento de operadores logísticos. Na realidade no Polo

Industrial de Manaus, essa complexidade não ocorre devido às poucas opções de modais, principalmente por estar localizado próximo às margens do Rio Amazonas, onde teria de ser o melhor modal, o aquaviário, a ser utilizado tanto para carga como descarga de insumos, matérias-primas e produtos acabados. Segundo Gomes (2009) a logística do PIM tem a seguinte estrutura:

Entrada de Insumos: insumos importados, oriundos da Ásia, da Europa e Estados Unidos vêm pelo modal marítimo e aéreo, já os insumos nacionais, vindos em grande parte da região Sudeste brasileira vem por meio do modal rodo fluvial;

Saída de produtos acabados: é realizada por meio do modal rodo fluvial, com distribuição de Manaus até Belém por via fluvial e a entrega em São Paulo/ Rio de Janeiro em Centros de distribuição por via rodoviária (Ver Figura 3). Há também, entrega direta para a Região Sudeste por meio do modal aéreo.

Figura 3 - Transporte de Carga: Manaus – Brasil



Fonte: BNDS, 1998

De acordo com Oliveira (2006), as empresas do PIM adotam estratégias diferentes, no que se refere à entrada de insumos e a saída dos produtos acabados, onde a logística é realizada de acordo com as próprias necessidades do mercado, tipos de negócios e/ou de produtos finais e também em um quesito essencial atualmente que é o prazo de entrega.

2.7 POLÍTICAS ADOTADAS PARA A DEFINIÇÃO DE INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

2.7.1 NO MUNDO

De acordo com Kuwahara (2008) nos anos de 1970 o Banco Mundial admitiu a metodologia *cost-benefit analysis*, (análise de custo benefício) na tomada de decisão em investimentos em projetos, onde o método foi utilizado para estabelecer o *ranking* de propostas que deveriam receber apoio financeiro. A partir da década de 1980's boa parte dos países europeus passaram a aplicar a análise de custo-benefício na avaliação nos projetos de transporte. Sendo que muitos deles migraram do método *cost-benefit analysis* para análise qualitativa, levando em consideração os critérios não econômicos. A metodologia *cost-benefit analysis* é predominante em muitos países, vale ressaltar que cada país adaptou o método as suas especificidades.

No Japão o modelo *cost-benefit analysis* incluiu outros parâmetros tais como poluição do ar, ruídos e prejuízos gerados com acidentes no tráfego. Já nos Estados Unidos o método é empregado para avaliação e seleção de investimentos de recursos na área de transportes, principalmente quando se trata de recursos de agências federais, pois levam em consideração mais de um estado. Os estados americanos aplicam seu próprio método, por exemplo, nas regiões metropolitanas utiliza-se a metodologia de 04 etapas (geração de viagem, distribuição, alocação e escolha do modal), porém em termos políticos há uma falta de consenso quando se trata de congestionamentos, poluição do ar, etc. Logo verifica-se uma deficiência na tomada de decisão no âmbito local por meio apenas do *cost-benefit analysis* (NAKAMURA, 2000; KUWAHARA, 2008).

Segundo Kuwahara (2008), na Alemanha o método *cost-benefit analysis* inclui um conjunto de critérios sociais, onde se insere também critérios não tangíveis, tais como, aspectos particulares da política regional, análise de riscos ecológicos e os impactos sobre o desenvolvimento da cidade. O critério de escolha e hierarquização das alternativas de transportes é feita com o soma da relação de vários benefícios com os custos e investimentos anualizados. Dependendo do resultado desta relação, o projeto pode ser classificado em três categorias: 1) Se o valor encontrado do custo/benefício for superior a três, o projeto passa a fazer parte da carteira de investimentos de alta prioridade; 2) Caso o valor fique na faixa de um a três, o projeto é classificado como baixa prioridade passando para a lista de espera e, 3)

Se o valor for menor que um, o projeto é eliminado. Já na República Democrática do Congo, a metodologia *cost-benefit analysis* foi utilizada para avaliar as alternativas de projetos de transportes no *Investment Program* 1988-1993. Foi incorporado na tomada de decisão, o contrato do princípio de sobreposição de interesses e também o método das exigências em comum, com a finalidade de reduzir ou desvirtuamento dos objetivos do bem-estar geral.

A metodologia *cost-benefit analysis* é muito utilizada na tomada de decisão em investimentos em transportes nos países desenvolvidos, principalmente porque priorizam a maximização dos resultados econômicos. Mesmo utilizando esta metodologia alguns países desenvolvidos procuraram inserir em suas análises de investimentos em transportes critérios intangíveis, como é o caso do Japão e da Alemanha, que incorporaram critérios sociais e ambientais. Apesar desta preocupação de incorporar critérios qualitativos na tomada de decisão, as metodologias de análise de decisão nesses países mostram-se ainda incipientes.

Na Alemanha a metodologia *Standardized Evaluation Scheme for the Federal Transport Infrastructure Plan* não admite variáveis qualitativas nas etapas iniciais de análise, somente na avaliação final são acrescentadas. Verifica-se que projetos que foram eliminados nas etapas iniciais poderiam ter um melhor desempenho com os parâmetros qualitativos adotados, mas devido não apresentarem bom desempenho na análise econômica custo-benefício ficam de fora da avaliação final, provocando a retirada de projetos com melhor desempenho no caráter social e ambiental. Mesmo assim a metodologia alemã possui um maior avanço do que a americana que ainda não incluem variáveis intangíveis.

Para países de menor ou em fase de desenvolvimento, uma vez que a metodologia *cost-benefit analysis* não absorve critérios sociais e políticos essenciais do país em fase de desenvolvimento o ideal seriam as ferramentas multicriteriais para o planejamento estratégico, pois a infraestrutura de transporte possui impacto direto sobre o desenvolvimento socioeconômico da região. Dessa forma os mesmos buscam alternativas metodológicas que ultrapassem a análise econômica e sim que a tomada de decisão inclua critérios ambientais, sociais e também desenvolvimento regional. Vinte e um países europeus já incorporaram alternativas multicriteriais, utilizando o método *Multi Attribute Utility Theory* - MAUT em conjunto com *Analytic Hierarchy Process* - AHP de Thomas Saaty integrando critérios tangíveis e intangíveis no auxílio à tomada de decisão de investimentos em transportes (TSAMBOULAS, 2007; KUWAHARA, 2008).

A metodologia multicriterial tem grande influência e efeito no desenvolvimento socioeconômico do país, porém não poucas vezes os métodos são alimentados com elevada limitação de informações e conhecimento gerando um desvirtuamento na tomada de decisão. Pois carregam consigo erros e suas previsões sempre ou quase sempre estão errados. Os tomadores de decisão devem ter em mente que é impossível prever o futuro, logo modelos com previsões exatas devem ser abandonados, sendo substituídos por modelos que descrevem possíveis cenários futuros, levando em consideração, as incertezas e informações nebulosas que estão inseridas no processo de tomada de decisão.

2.7.2 NO BRASIL

Os investimentos na área de infraestrutura de transporte são realizados por meio de programas e políticas criadas, em sua maioria, pelo Governo Federal, como os Planos Plurianuais - PPAs, o Plano Nacional de Logística & Transporte e Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, os quais são descritos a seguir.

2.7.2.1 Planos Plurianuais - PPAS

Conforme Kuwahara (2008), os PPAs foram estabelecidos por meio da Constituição Federal brasileira de 1988, os mesmos são destinados para serem aplicados em quadriênios e formulados pela Lei de iniciativa do Executivo, sendo os seus recursos previstos responsáveis pela viabilização da infraestrutura do país.

Garcia (2000, p.6) afirma que tal plano “foi concebidos para abranger o lapso de tempo que vai do segundo mandato presidencial ao primeiro ano do mandato subsequente”. O autor afirma ainda que o Plano Plurianual coordena as ações governamentais, subordinando a seus interesses as iniciativas que não foram inicialmente previstas.

O primeiro PPA foi para o período de 1991 – 1995 com característica genérica e pouco programática, pois Kuwahara (2008) afirma que o PPA em questão se revelou ser uma peça fôrma, apenas cumprindo os preceitos constitucionais. A partir de tal quadriênio foram elaborados e aprimorados outros Planos Plurianuais, tais como os de 1996 – 1999, 2004 – 2007 e o mais recente elaborado para o período 2008 – 2011.

Segundo Kuwahara (2008), os projetos no PPA 1996 – 1999 destinados para o setor de transportes foram:

Atualização do sistema Nacional de Viação – SNV;

Concessão de Ferrovias Federais;

Concessão de Rodovias Federais;

Concessão de Portos;

Implantação da Lei dos Portos, Lei N. 8.630/1993;

Recuperação e modernização da infraestrutura ferroviária.

O Plano Plurianual 2008-2011, conforme a Lei nº 11.653, de 07 de abril de 2008, por meio dos seus Programas contribui para a organização da atuação do governo orientando-os para o alcance dos objetivos estratégicos para o referido período. Conforme Rodrigues (2008) o PPA 2008-2011 atua em três eixos: crescimento econômico, agenda social e educação de qualidade. O primeiro eixo vem decorrente de uma economia sólida e com a confiança da sociedade, favorecendo, assim, um ambiente propício para os investimentos públicos e privados. Em relação ao terceiro eixo, o autor supracitado afirma ainda que o elemento principal de tal estratégia é o Plano de Desenvolvimento da Educação - PDE, sendo que em suas metas está a disponibilidade de um laboratório de informática a todas as escolas de ensino médio, urbano e rural.

Em relação ao setor de transporte, Kuwahara (2008) diz que o PPA 2008-2011 possui foco direcionado para os problemas de concentração em modal, saturação do tráfego bem como alta densidade de veículos de carga, insuficiente malha ferroviária, precárias condições de navegação nas hidrovias interiorana, navegação de cabotagem incipiente, regiões isoladas com grande potencial para o setor turístico e, por fim, a falta de integração da infraestrutura de transportes com países da América do Sul.

2.7.2.2 Plano Nacional de Logística & Transporte - PNL T

O processo de elaboração do PNL T aconteceu inicialmente em fevereiro de 2006 e teve sua conclusão em 15 de dezembro de 2006 (PASSOS, 2007). Sendo o mesmo desenvolvido pelo Ministério dos Transportes – MT juntamente com o Ministério da Defesa – MD, por meio do Centro de Excelência em Engenharia de Transporte – CENTRAN, tendo como ideia-força ser um plano que contribua no processo de desenvolvimento

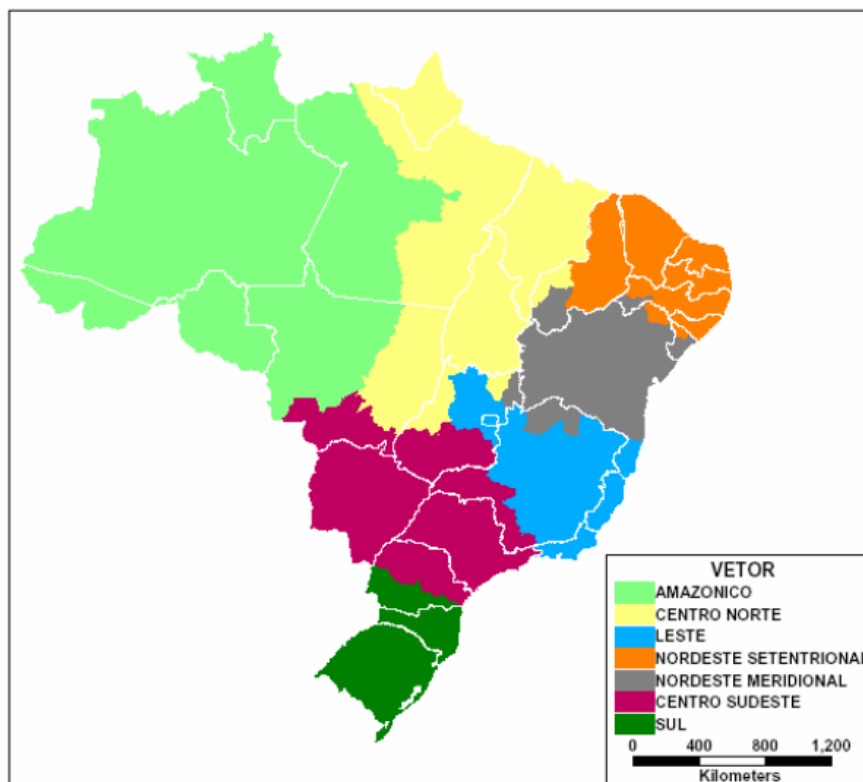
socioeconômico do País, atuar não apenas na esfera federal e governamental como também nacional e estadual, envolver várias modalidades de transportes, ter como proposta um processo de planejamento permanente, fundamentar-se nos conceitos de territorialidade, segurança e ocupação do território nacional bem como se importar com o desenvolvimento sustentável, comprometer-se com a preservação do meio ambiente e requerer processos de institucionalização, organização e gestão eficientes e eficazes (MT e MD, 2010).

Conforme MT e MD (2010) são cinco os objetivos do Plano Nacional, o primeiro está relacionado a retomar o processo de planejamento no setor de transportes, o segundo é considerar os custos da cadeia logística em sua totalidade, desde as origens e destinos dos fluxos de transporte, o terceiro vem da necessidade de mudança da matriz atual de transporte de cargas a fim de obter o seu equilíbrio, o quarto relaciona-se a preservação ambiental, respeitando as áreas de restrição e controle do solo, tanto no que se refere à produção de bens quanto na implantação da infraestrutura e por fim o enquadramento dos projetos por categorias, sendo essas (MT e MD, 2010):

- Aumento da eficiência produtiva em áreas consolidadas – AEP;
- Indução ao desenvolvimento de áreas de expansão de fronteira agrícola e mineral – IDF;
- Redução de desigualdades regionais em áreas deprimidas – RDR;
- Integração regional sul-americana – IRS.

A distribuição dos projetos de infraestrutura de transporte do PNLT é realizada por meio de microrregiões homogêneas denominadas de Vetores Logísticos, configurado em sete agrupamentos. A Figura 4 mostra com mais clareza essa distribuição a partir do espaço territorial brasileiro.

Figura 4 - Vetores Logísticos da Organização Espacial Brasileira



Fonte: MT e MD, 2010

Sendo assim, por meio da Figura 4, pode-se verificar que os vetores estão distribuídos da seguinte forma (ABREU *et al.* 2008, p.6):

Vetor Logístico Amazônico: Rondônia, Acre, Roraima, Amazonas, parcelas do oeste do Pará e norte do Mato Grosso;

Vetor Centro-Norte: Amapá, Tocantins, Maranhão, parcelas do leste do Pará e do Mato Grosso e nordeste de Goiás;

Vetor Nordeste Setentrional: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e parcelas do norte de Alagoas e Piauí;

Vetor Nordeste Meridional: Bahia e sudoeste do Piauí, de Goiás, de Minas Gerais e Alagoas;

Vetor Leste: Espírito Santo, Rio de Janeiro, parcelas de Minas Gerais e leste de Goiás, incluindo Brasília;

Vetor Centro-Sudeste: São Paulo, Mato Grosso do Sul, parcelas do sudoeste de Minas

Gerais, sul de Goiás e norte do Paraná;

Vetor Sul: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e parcela do Paraná.

Cada Vetor obteve um investimento recomendado pelo PNLT para suposta melhoria de infraestrutura nos seus modais, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Vetores Logísticos por região

Modal	Indicadores	Vetores Logísticos						
		Amazônico	Centro Norte	Nordeste Setentrional	Nordeste Meridional	Leste	Centro Sudeste	Sul
Aeroportuário	Valor	532.060,00	118.180,00	2.714.370,00	94.590,00	2.349.130,00	3.088.220,00	767.840,00
	% no Vetor	3,1	0,7	13,9	0,6	6,8	7,9	2,6
	% Modal no Brasil	5,5	1,2	28,0	1,0	24,5	31,8	8,0
Ferroviário	Valor	-	6.600.980,40	6.907.521,59	4.953.023,95	11.857.021,43	8.069.513,32	12.167.488,63
	% no Vetor	0,0	41,6	35,4	30,0	33,8	20,7	42,0
	% Modal no Brasil	0,0	13,0	13,7	9,8	23,5	16,0	24,0
Hidroviário	Valor	6.026.569,51	3.909.258,83	276.610,00	280.015,98	-	125.834,38	2.187.443,61
	% no Vetor	35,4	24,7	1,4	1,7	0,0	0,3	7,5
	% Modal no Brasil	47,0	30,5	2,2	2,1	0,0	1,0	17,1
Portuário	Valor	983.000,00	1.046.150,00	2.338.660,00	946.895,00	6.944.970,00	9.188.070,00	3.721.155,00
	% no Vetor	5,2	6,6	12,0	5,7	19,8	23,5	12,8
	% Modal no Brasil	3,6	4,2	9,3	3,8	27,7	36,6	14,8
Rodoviário	Valor	9.862.894,00	4.182.500,00	7.289.130,00	10.226.147,00	13.898.284,00	18.573.540,00	10.157.378,00
	% no Vetor	56,3	26,4	37,3	62,0	39,6	47,6	35,0
	% Modal no Brasil	13,0	5,7	9,9	13,8	18,7	25,2	13,7
Total	Valor	17.404.523,51	15.857.069,23	19.526.291,59	16.500.671,93	35.079.405,43	39.045.177,70	29.001.305,24
	% no Brasil	9,9	9,2	11,3	9,6	20,4	22,7	16,9

Fonte: MT e MD, 2010

2.7.2.3 PAC – Plano de Aceleração do Crescimento

O PAC é um programa de expansão do crescimento. Tem por meio do investimento em infraestrutura aliado a medidas econômicas, o objetivo de estimular os setores produtivos

e, ao mesmo tempo, levar benefícios sociais para todas as regiões do país. A primeira versão do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC compreendeu o período de 2007 a 2010, objetivando reduzir problemas relacionados à: transporte; energia; saneamento; habitação e recursos hídricos, por meio do investimento de R\$ 503,9 bilhões, em três eixos: 1) Infraestrutura logística, 2) Infraestrutura energética e 3) Infraestrutura social e urbana (Portal Brasil, 2011).

Os investimentos do PAC em infraestrutura de transportes foram de R\$ 65,4 bilhões sendo aplicados no período de 2007 a 2010, conforme o Quadro 1, já apresentado na página 28, o qual se destinou as manutenção e recuperação dos modais rodoviários, ferroviários, portuário, aeroportuário e hidroviário. Os objetivos do PAC no que se refere ao setor de transportes são:

- Aumentar a eficiência produtiva em áreas consolidadas;
- Induzir desenvolvimento em áreas de expansão agrícola e mineral;
- Reduzir desigualdades regionais em áreas deprimidas, e;
- Integração Regional Sul-Americana;

Os investimentos em projetos propostos no PAC 2 para o Amazonas somam um montante de R\$ 18,71 bilhões sendo R\$ 11,91 bilhões até 2014 e após 2014 R\$ 6,80 bilhões. No que diz respeito à infraestrutura de transportes, os principais projetos logísticos previstos para o Estado visam: 1) Ampliar a infraestrutura logística existente para melhorar as condições da interligação do Amazonas com os demais estados do Norte reduzindo os custos de transporte de cargas: BR-319 e BR-317, 2) Expandir a infraestrutura de apoio ao turismo: BR-319 e, 3) Expandir o acesso fluvial aos municípios da região amazônica beneficiando o transporte de passageiros e de cargas ao longo de todo o ano com maior segurança e eficiência por meio de novos terminais hidroviários. Os investimentos em infraestrutura logística no Estado do Amazonas podem ser vistos na Figura 5:

Figura 5 - Investimentos nos modais de Transporte no Amazonas



Fonte: PAC (2012)

2.8 MODELOS E FERRAMENTAS APLICADAS NO PLANEJAMENTO

Neste item serão abordados os conceitos das principais ferramentas e métodos utilizados para a tomada de decisão, dentre elas destacou-se o Apoio Multicritério à Decisão. Esta busca o estabelecimento de relações de preferências entre as alternativas postas em análise pelos tomadores de decisões as quais possuem influências de diversos critérios (ALMEIDA, 2003).

As alternativas indicadas são colocadas perante as partes interessadas, as diferentes possibilidades e respectivos critérios, viabilizam escolha da melhor decisão, sendo que os *stakeholders* podem interferir no processo decisório.

Segundo Gomes *et al* (2002, p. 63), esta é uma das características típicas desses problemas “a solução do problema depende de um conjunto de pessoas, cada uma das quais tem seu próprio ponto vista, muitas vezes conflitante com os demais”.

De acordo com Gomes *et al* (2002), tal método envolve os seguintes componentes:

- Objetivo;
- Decisor (es);

- Conjunto de critérios de decisão;
- Conjunto de alternativas;
- Consequências das decisões.

Dessa forma, o método Multicritério tem como principal objetivo, tomar as decisões baseadas na descrição dos critérios, em que cada um tem suas alternativas com seus respectivos pesos. Esses pesos definirão qual a melhor decisão a ser tomada. Quando as decisões são tomadas em grupo os pesos ou preferências individuais são combinados para formar uma decisão conjunta do grupo (GOMES *et al*, 2002).

O Método de Análise Multicritério subdivide-se em Método de Programação Matemática Multiobjetivo – MPMM e Método de Análise de Decisão (MAD) (Caixeta-Filho e Martins, 2001). Neste trabalho será abordado somente o MAD, pois o método utilizado pertence a este conjunto e, para a melhor compreensão do método de Análise de Decisão faz-se necessário, primeiramente, abordar o processo de tomada de decisão.

2.8.1 O processo de Tomada de Decisão

Gomes *et al* (2002) afirmam que é necessário a existência de um conjunto de alternativas viáveis para que ocorra o processo de decisão, sendo que em cada alternativa há fatores positivos e negativos, podendo ser, por exemplo, maximização do lucro ou minimização dos custos. No caso de investimentos em projetos públicos, esta tomada de decisão torna-se mais complexa, devido os resultados abrangerem de forma satisfatória os seguintes aspectos: econômicos, sociais, políticos e ambientais.

Essa complexidade se dá devido o atendimento a múltiplos objetivos, sendo que tais decisões complexas tornam-se mais difíceis e não se podem identificar corretamente os seus impactos (GOMES *et al*, 2002). No caso dos empreendimentos públicos, Medaglia *et al* (2008) afirmam que são três os problemas comuns enfrentados por tais empresas, o primeiro é a questão do orçamento disponível para os projetos de investimento os quais são insuficientes para o início de todos os projetos durante o primeiro ano e o segundo está nas limitações técnicas, como por exemplo, as datas de início e as de término, e, por fim, as relações de precedências entre projetos específicos.

Seja qual for o tipo de investimento, o importante para o decisor, pessoa que influencia no processo de decisão, é compreender que cada problema possui sua natureza e entendê-la é peça fundamental para melhor solução do mesmo (GOMES *et al*, 2002).

2.8.2 Métodos de Análise de Decisão

No Método de Análise de Decisão – MAD as restrições são implícitas e as soluções fazem parte do conjunto discreto (KUWAHARA, 2008), ou seja, as restrições são determinadas de acordo com o grau de importância para os *stakeholders* e suas soluções são conhecidas pelos mesmos sendo apenas determinada a mais satisfatória.

As decisões podem ser tomadas baseadas em por diversos métodos dos quais Caixeta-Filho e Martins (2001) destaca os seguintes:

- **ELECTRE** (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*): Este método tem como objetivo avaliar um conjunto de alternativas de projetos, no que diz respeito a sua capacidade de ajudar na solução do problema em questão, de acordo com critérios tidos como mais relevantes na análise do problema. Define-se uma Matriz de Impacto de Projetos (A), na qual os conjuntos estão dispostos tendo a função de demonstrar o desempenho de cada uma das alternativas em cada um dos critérios (CAIXETA-FILHO & MARTINS, 2001);

- **MAC** (Método de Análise de Concordância): Este método baseou-se na mesma estrutura do ELECTRE, porém com algumas modificações, uma delas foi o cálculo da Matriz de Discordância (D), no ELECTRE II os cálculos dessa matriz não levava em consideração o peso dos critérios, já o MAC leva em conta também os cálculos desta matriz (CAIXETA-FILHO & MARTINS, 2001);

- **PROMETHEE** (*Preference Ranking Organization Method*): Também baseado no ELECTRE, tem como objetivo tornar mais simples e mais fácil de ser compreendida pelos tomadores de decisão, pois muitos dos parâmetros utilizados pelos modelos anteriores tem um significado econômico. O presente modelo apresenta o conceito de VOG (*Valued Outranking Graph*) no qual utiliza um índice de preferência oferecendo duas possibilidades na solução do problema de priorização. Enquanto o PROMETHEE I contribui com uma ordem parcial das alternativas, o PROMETHEE II gera uma ordem total das alternativas (CAIXETA-FILHO & MARTINS, 2001);

- **TOPSIS** (*Technique Order Preference by Similarity to Ideal Solution*): Este método apresenta diferenças em relação aos anteriores, quando se trata da determinação da importância relativa dos critérios adotados, apresentando uma limitação dos pesos dos critérios considerados pelo tomador de decisão. Introduce o conceito de Entropia no estabelecimento dos pesos dos critérios em relação às alternativas analisadas, levando em consideração os valores das alternativas em cada critério. (CAIXETA-FILHO & MARTINS, 2001);

- **TODIM** (Tomada de Decisão Interativa e Multicritério): Este modelo visa analisar as alternativas mesmo não sendo totalmente independentes por meio do “Fator de Contingência”, se difere dos outros modelos, pois apresenta um nível de flexibilidade maior. (CAIXETA-FILHO & MARTINS, 2001);

- **AHP/MAH** (Método de Análise Hierárquica): O Método de Análise Hierárquica - MAH foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70, a partir da necessidade de obter uma solução para o problema específico de planejamento de contingência e posteriormente sua aplicação ocorreu no planejamento de alternativas futuras para um país em desenvolvimento. Este método possibilita a estruturação hierárquica em que o objetivo principal a ser alcançado está relacionado com os critérios, subcritérios e alternativas. Na próxima seção será visto com mais detalhes o método AHP.

2.9 AHP SAATY E AHP FUZZY

2.9.1 AHP SAATY

AHP (*Analytic Hierarchy Process*) ou MAH (Método de Análise Hierárquica) foi desenvolvido na década de 70 por Thomas Saaty. O método tem como objetivo auxiliar a resolução de problemas complexos quando um tomador de decisão tem múltiplos critérios a serem considerados. Com AHP, o(s) decisor(s) escolhe(m) a alternativa que melhor atenda os critérios de decisão por meio dos pesos e prioridades que serão obtidos por meio de julgamentos subjetivos dos avaliadores (KUWAHARA, 2008).

Desde 1977, Saaty (1991) propôs AHP como apoio à decisão para ajudar a resolver problemas complexos na economia, ciências sociais e gestão. O AHP tem sido aplicado em uma variedade de contextos: desde simples problemas diários como comprar um livro ou selecionar a melhor escola até em situações complexas como avaliação de custos e benefícios,

alocação de recursos, medidas de desempenho, decisões estratégicas e etc. A AHP permite os tomadores de decisão estruturarem um problema complexo na forma de um simples hierarquia avaliando um grande número de fatores quantitativos e qualitativos em um forma sistemática em ambiente de múltiplos critérios conflitantes (Cheng, *et al*, 1999).

A aplicação do AHP para o complexo problema geralmente envolve quatro grandes etapas (Cheng, *et al*, 1999):

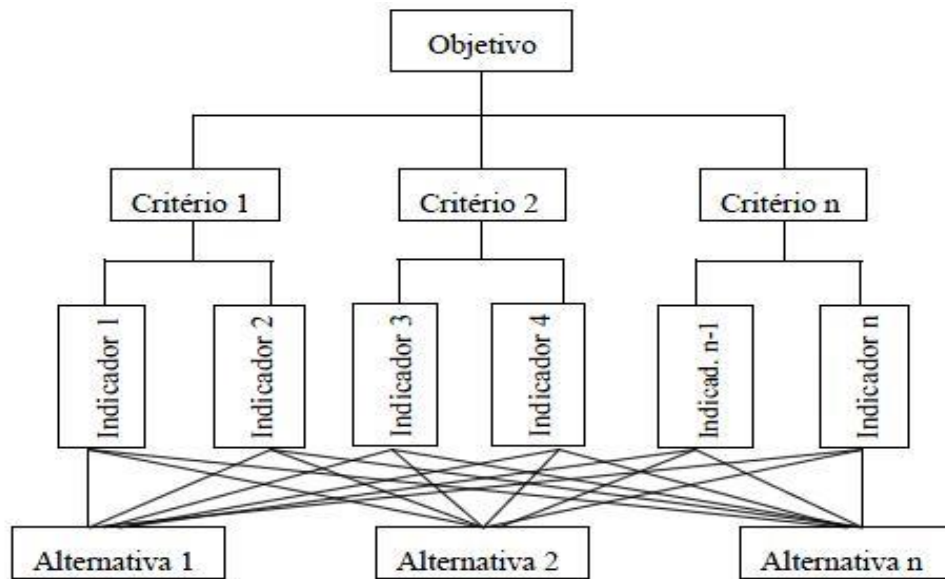
1. Dividir o complexo problema em elementos menores e em seguida, estruturar esses elementos em forma hierárquica.
2. Fazer uma série de comparações paritárias entre os elementos de acordo com uma escala de comparação.
3. Usar o método de autovalor para estimar os pesos relativos dos elementos.
4. Agregar estes pesos relativos e sintetizá-los para a medição final das alternativas de decisão.

A AHP é uma poderosa e flexível ferramenta multicriterial de tomada de decisão para lidar com problemas complexos onde aspectos qualitativos e quantitativos precisam ser considerados. A AHP ajuda os analistas a organizar os aspectos críticos de um problema em uma hierarquia e não como uma árvore genealógica (Bevilacqua *et al*, 2004).

Uma hierarquia é composta de objetos e eventos e suas relações. A mais simples estrutura hierárquica consiste de objetivo, critérios e alternativas. Sendo que cada elemento deste conjunto compõe um nível da hierarquia (RABANNI & RABANNI, 1996).

A essência do processo é a decomposição de um problema complexo em uma hierarquia com o objetivo no topo da hierarquia, os critérios e subcritérios em níveis e sub-níveis da hierarquia, e alternativas de decisão na parte inferior da hierarquia (ver Figura 6).

Figura 6 - Modelo de estrutura de avaliação de alternativas



Fonte: Kuwahara (2008)

No AHP as preferências entre alternativas são determinadas por meio de comparações par a par. A informação no método é avaliada em pares de comparação respondendo a seguinte questão: Dado um critério e duas alternativas A e B qual alternativa que mais satisfaz o(s) decisor(s)? Qual a mais relevante em relação ao critério considerado? Depois de construída a matriz quadrada avalia-se a importância de uma característica (critério) sobre a outra e também a importância de cada alternativa em relação a cada critério, no qual utiliza-se para isso uma escala de comparação. Saaty (1991) propôs a seguinte Escala de Comparação como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Escala Comparação no AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Igual	Duas atividades que contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma atividade em relação a outra é do mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessária uma condição de compromisso
Recíprocos	Se a atividade i tem uma das intensidades de importância ou de preferência de 1 a 9 quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i	

Fonte: Saaty, 1991

Depois de preenchida a matriz de comparação, calcula-se o autovalor e seu autovetor correspondente. O autovetor dá a ordem de prioridade de acordo com as características estudadas. Este resultado é de suma importância para avaliação dos critérios, pois o mesmo será usado para dar a importância relativa de cada característica e, também para priorizar as alternativas analisadas. Enquanto que o autovalor avalia a consistência da solução obtida.

O autovetor deve ser normalizado para que a soma de seus elementos seja igual à unidade, sendo para isto o cálculo da proporção de cada elemento em relação ao somatório $T=(W_1/\sum W_i, W_2/\sum W_i... W_n/\sum W_i)$. Onde T o autovetor normalizado servirá para quantificar e ponderar a importância dos vários critérios. E em seguida será utilizado para priorizar as alternativas em relação a cada critério.

Supondo que A, B, C, D e E sejam os critérios a serem avaliados, de acordo com a Quadro 4, a matriz seria da seguinte forma:

Quadro 4 - Matriz de Comparação de Critérios AHP

Critérios	A	B	C	D
A	A/A	A/B	A/C	A/D
B	B/A	B/B	B/C	B/D
C	C/A	C/B	C/C	C/D
D	D/A	D/B	D/C	D/D

Fonte: Autor desta dissertação

Os julgamentos par a par são realizados baseados nos fatores relevantes a um determinado critério ou característica comum aos elementos. Por exemplo, comparando dois livros à serem comprados, nota-se que o primeiro é tem um preço menor do que o segundo. Pode se dizer também que o primeiro é muito mais barato do que o segundo, ou somente um pouco mais barato, ou que o preço dos dois livros são iguais. Sendo assim, depois de várias comparações paritárias é possível construir um conhecimento sobre os elementos do modelo. A redundância destas comparações auxilia na precisão da análise.

No que se refere a formalização do método AHP, cada entrada de comparação a_{ij} , deve ser considerada como uma estimativa da razão entre os elementos da linha de ordem i e os elementos da coluna j , ou seja, $a_{ij} = w_i/w_j$. Supondo se $(w_1, \dots, w_n)$ são estimativas precisas logo todos os elementos da matriz são consistentes.

Sendo w_i/w_j a importância relativa dos elementos da linha de ordem i em relação aos elementos da coluna de ordem j . $(w_1, \dots, w_n)$ pesos numéricos que refletirão os julgamentos registrados. No caso ideal de medidas exatas, as relações entre os pesos w e os julgamentos a são dadas por:

$$\begin{cases} a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \\ a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \end{cases}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Ao se multiplicar A pelo vetor de pesos $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t$. O resultado dessa multiplicação será $n \times w$. Na teoria matricial, essa fórmula retrata o fato de que w é um autovetor de A com autovalores de n .

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

No caso ideal, todos os autovalores são zero, exceto um, que é n . Cada linha de A é uma constante da primeira linha. A soma dos autovalores da matriz é igual a sua transposta. A soma dos elementos da diagonal, é nesse caso a transposta de A e é igual a n . Assim, n é o maior ou principal autovalor de A . Os pesos finais dos elementos do nível inferior da hierarquia são obtidos pela soma de todas as contribuições dos elementos num nível com respeito a todos os elementos no nível acima. A prioridade dos diversos níveis dos elementos é medida pela multiplicação do vetor de pesos dos elementos de um nível com a matriz de peso do nível abaixo.

Como o AHP está embasado em julgamento de valor, em algumas situações as avaliações são inconsistentes. Saaty (1991) propôs procedimentos que permitem avaliar o grau de inconsistência dos julgamentos:

- 1) Cálculo do Índice de Consistência (IC): Este procedimento avalia o grau de inconsistência da matriz, por meio da seguinte equação:

$$IC = (\lambda_{\max} - N) / N - 1$$

Onde:

N é a ordem da matriz e $\lambda_{\max}$ é o maior autovalor da matriz de julgamento paritários.

- 2) Cálculo da Razão de Consistência (RC): o RC permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz por meio da seguinte equação:

$$RC = IC / IR$$

Onde:

IC é o Índice de Consistência e IR é o Índice Randômico

Considera-se aceitável uma Razão de Consistência menor que 0,10. Quando a razão de consistência for maior que 0,10, é necessário realizar uma revisão na matriz de comparação, afim de chegar a um valor de consistência menor ou igual a este valor. O Índice Randômico (IC) como mostra o Quadro 5 é proveniente de uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas geradas aleatoriamente, de tamanho até 11 por 11 (SAATY, 1991).

Quadro 5 - Valores de IR em função da ordem da Matriz

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty, 1991

Embora o método AHP Saaty seja fácil de entendimento e aplicação, o mesmo não consegue superar a deficiência do conhecimento impreciso ou vago durante a tomada de decisão. Zadeh (1965) introduziu o conceito de conjuntos *fuzzy* afim de racionalizar a incerteza e imprecisão e de forma análoga ao pensamento humano. Assim Laarhoven e Pedrycz evoluíram a AHP Saaty para AHP *Fuzzy*, introduzindo o conceito de número *fuzzy* triangular da teoria dos conjuntos *fuzzy* diretamente para a matriz de comparação par a par da AHP.

Para melhor compreensão do método AHP *fuzzy* a próxima seção traçará um panorama geral da matemática *fuzzy*, teoria dos conjuntos *fuzzy*, sistemas de inferência *fuzzy*, e por fim os números *fuzzy* triangulares e suas operações.

2.9.2 MATEMÁTICA FUZZY

A teoria *fuzzy* foi introduzida em 1965 por Lotfi Zadeh, professor no departamento de engenharia elétrica e ciências da computação Califórnia, em Berkeley, EUA, quando trabalhava com problemas de classificações de conjuntos que não possuíam fronteiras bem definidas. A teoria tinha como principal objetivo tratar matematicamente os termos linguísticos subjetivos, como exemplo ‘aproximadamente’, ‘em torno de’.

Para obter a formalização Matemática de um conjunto *fuzzy*, Zadeh baseou-se no fato de que qualquer conjunto clássico pode ser caracterizado por uma função, chamada de função característica. Lembrando, que se A é subconjunto de um conjunto U , então a função característica de A é dada por: $F_A: U \rightarrow \{0, 1\}$ onde,

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & \Leftrightarrow x \in A \\ 0, & \Leftrightarrow x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Observe que para todo conjunto clássico (tradicional ou crisp) existem apenas duas possibilidades para um determinado elemento x do universo U , onde o conjunto A está definido: o elemento x pertence a A , se $F_A(x) = 1$, ou o elemento não pertence a A , se $F_A(x) = 0$. Sendo assim, com a função característica é possível descrever todo o conjunto estudado, e a partir desse estudo é possível enumerar uma série de propriedades dos conjuntos tradicionais.

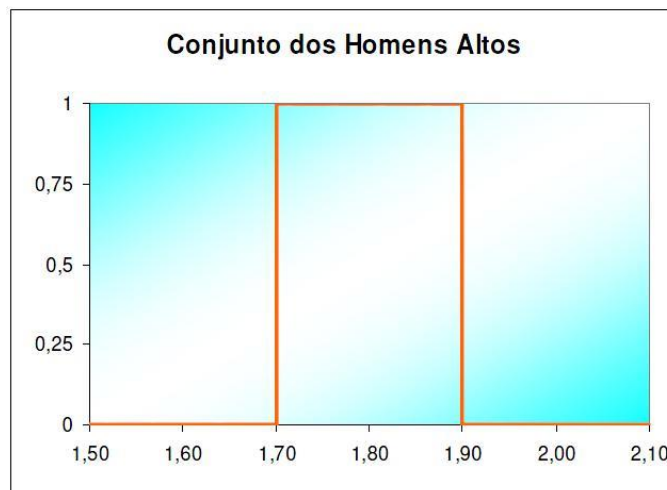
É fato bastante conhecido que os modelos que utilizam a matemática tradicional, não conseguem representar com certo grau de fidelidade a realidade sobre o qual estamos utilizando conjuntos *crisp's*, ou seja, há situações em que os conjuntos tradicionais não são considerados um bom modelo matemático, devido não conseguirem descrever com certa precisão uma determinada situação.

Um exemplo clássico (Rodrigues, 2008): Vamos classificar os homens de uma determinada população de acordo com sua altura obedecendo aos seguintes critérios de classificação: muito baixo, baixo, alto e muito alto. Os parâmetros da classificação seriam como a seguir:

$$f(x) = \begin{cases} x < 1,50 \Rightarrow \text{muito baixo} \\ 1,50 \leq x < 1,70 \Rightarrow \text{baixo} \\ 1,70 \leq x < 1,90 \Rightarrow \text{alto} \\ x \geq 1,90 \Rightarrow \text{muito alto} \end{cases} \quad (2)$$

De acordo com esta classificação, segundo a lógica clássica, o conjunto dos homens altos seria conforme apresentado na Figura 7:

Figura 7 - Conjuntos dos homens altos segundo a lógica clássica

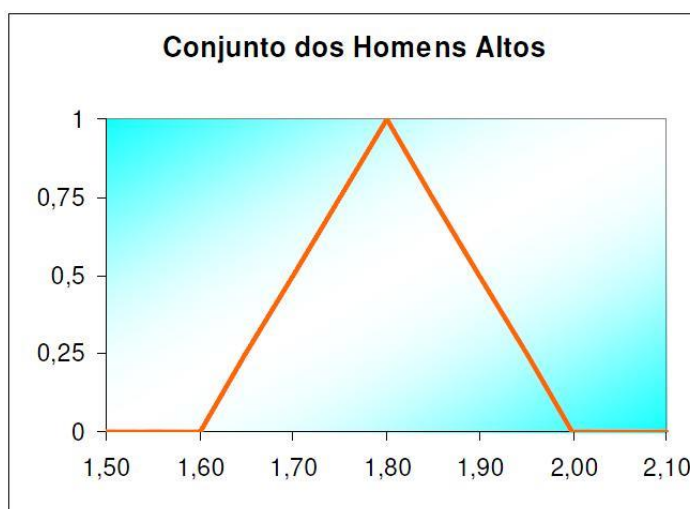


Fonte: Rodrigues (2008)

Um problema claro que a lógica clássica apresenta neste exemplo é o fato de um homem com 1,69m seria baixo de acordo com esta classificação. Mas o que se percebe que essa medida está mais próxima do limite inferior dos homens altos do que ao ponto central da categoria dos homens baixos. Outro exemplo é um homem com 1,70m seria classificado

como alto de acordo com a lógica clássica apesar de estar distante na mesma proporção dos pontos centrais de baixo e alto. Foram problemas idênticos a esse que Zadeh se deparou, ou seja, com conjuntos de fronteiras imprecisas. São essas imperfeições que Zadeh por meio da lógica *fuzzy* tentou corrigir.

Figura 8 - Conjuntos dos homens altos segundo a lógica fuzzy



Fonte: Rodrigues (2008)

Na Figura 8 obteve-se uma das possíveis representações gráfica do conjunto dos homens altos, de acordo com a lógica *fuzzy*, onde se atribuiu a um intervalo de altura diferentes pertinências. Sendo assim um homem com 1,75m pertence ao conjunto dos altos assim como um outro com 1,71m. A diferença é a pertinência, onde o de 1,75m tem uma pertinência maior ao conjunto dos homens altos do que o homem de 1,71m.

Portanto, com a introdução da Lógica *Fuzzy* foi possível inferir conclusões gerando respostas baseadas em informações vagas, imprecisas, ambíguas e qualitativamente incompletas. Porém para melhor compreensão da Lógica *Fuzzy* é requerido o conceito de *Conjuntos Fuzzy* propostos por Zadeh (1965), na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (TCF).

2.9.2.1 Do Conjunto Clássico ao Conjunto *Fuzzy*

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (TCF) é em grande parte uma extensão dos conjuntos tradicionais. Baseando-se nessa afirmação é apropriado fazer uma revisão dos conceitos da teoria dos conjuntos tradicionais.

Um conjunto clássico (crisp) U , ou simplesmente um conjunto A , no conjunto universo U pode ser definido por três formas distintas de acordo com (NICOLETTI &

CAMARGO, 2004):

- 1) O método de lista, listando todos os seus membros. Este método pode ser usado somente para conjuntos finitos, logo seu uso é limitado.
- 2) O método da regra, especificando as propriedades que devem ser satisfeitas pelos membros do conjunto. Este método é mais geral e o conjunto A é representado:

$$A = \{x \in U \mid x \text{ atenda algumas condições}\}$$

- 3) O terceiro método chama-se método de associação, que introduz uma função de pertinência zero um (também chamada de função característica ou função de indicação) para A, denotada por $f_A(x)$ tal que:

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & \Leftrightarrow x \in A \\ 0, & \Leftrightarrow x \notin A \end{cases} \quad (3)$$

Ou seja $\forall x \in U, f_A(x) = 1 \Leftrightarrow x \in A$

Alguns conjuntos tradicionais podem se vistos no Quadro 6 a seguir:

Quadro 6 - Conjuntos Clássicos

Conjunto	Elementos	Descrição
Z	{..., -2, -1, 0, 1, 2, ...}	Conjunto dos Números Inteiros
N	{0, 1, 2, 3, ...}	Conjunto dos Números Naturais
Q	{3/2, 5/3, 0, 25, -8/7}	Conjunto dos Números Racionais

Fonte: Adaptado de Gomide *et al* (1995)

Dentre as operações usadas na Teoria dos Conjuntos Tradicionais destaca-se a *União*, a *Intersecção* e o *Complemento*, representados por, $\cup$, $\cap$, $\setminus$ respectivamente:

- **UNIÃO:** Sejam A e B dois conjuntos quaisquer. A união de A e B é denotado por $A \cup B$, como segue:

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ ou } x \in B\} \quad (4)$$

- **INTERSECÇÃO:** Sejam A e B dois conjuntos quaisquer. A intersecção de A e de B (ou de A com B) é denotado por $A \cap B$, como segue:

$$A \cap B = \{ x | x \in A \text{ e } x \in B \} \quad (5)$$

- **COMPLEMENTO:** Sejam A um conjunto qualquer do universo x. O complemento de formado pelos elementos que não pertencem ao conjunto A é o conjunto $\setminus A$, como segue:

$$\setminus A = \{ x | x \in X \text{ e } x \notin A \} \quad (6)$$

As operações de união, intersecção e complemento possuem diversas propriedades que podem ser vistas no Quadro 7, onde A, B e C são conjuntos tradicionais definidos em um universo X.

Quadro 7 - Propriedades Fundamentais das operações dos Conjuntos Tradicionais

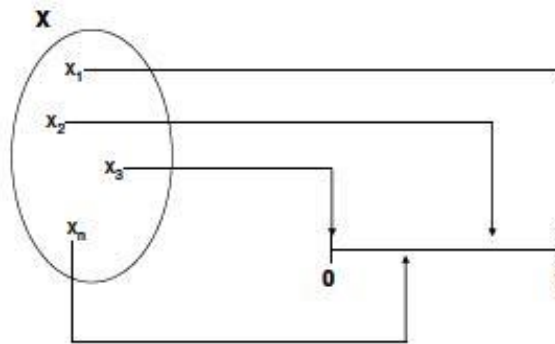
Propriedade	Representação
Absorção	$A \cup (A \cap B) = A$ $A \cap (A \cup B) = A$
Absorção por X e $\emptyset$	$A \cup X = X$ $A \cap \emptyset = \emptyset$
Associativa	$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$
Comutativa	$A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$
Distributiva	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
Idempotência	$A \cup A = A$ $A \cap A = A$
Identidade	$A \cup \emptyset = A$ $A \cap X = A$
Involução	$\setminus \setminus A = A$
Lei de Contradição	$A \cap \setminus A = \emptyset$
Lei de Morgan's	$\setminus (A \cup B) = \setminus A \cap \setminus B$ $\setminus (A \cap B) = \setminus A \cup \setminus B$

Fonte: Adaptado de Gomide *et al* (1995)

Como já foi explicado, a TCF foi proposta por Zadeh (1965) com o intuito de tratar as informações nebulosas e imprecisas. Dessa forma, a função característica dos conjuntos *fuzzy* é similar com a dos conjuntos tradicionais, de forma que a mesma possa assumir valores no intervalo de $[0,1]$. Logo, considerando X um conjunto *fuzzy*, sua função de pertinência f_A é da forma :

$$f_A : U \rightarrow [0;1] \quad (7)$$

Figura 9 - Representação geral de uma função de pertinência



Fonte: Nicoletti & Camargo (2004)

Onde μ_A representa o grau com que x pertence a X e o grau de aderência de x a X .

Uma função de pertinência particular pode ser vista na equação a seguir. A equação é relativa a um conjunto *fuzzy* denominado número *fuzzy* triangular e as variáveis a , b , c são parâmetros da função:

$$f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{se } x \in [a,b] \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } x \in [b,c] \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (8)$$

As principais operações dos Conjuntos *fuzzy* são definidas como extensão das operações tradicionais. Nas operações com os conjuntos *fuzzy*, o mais importante são as funções de pertinência. Assim, há quatro operações usuais entre conjuntos *fuzzy* (MELO, 2009):

UNIÃO: Sejam A e B subconjuntos *fuzzy* de X. A união de A e B é um subconjunto *fuzzy* $A \cup B$, definido a seguir:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (9)$$

- **INTERSECÇÃO:** Sejam A e B subconjuntos *fuzzy*. A intersecção de A e B é designado por $A \cap B$, assim definido a seguir:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (10)$$

- **COMPLEMENTO:** Sejam A um subconjunto *fuzzy*. O complemento de A é o subconjunto $\tilde{A}$, assim definido e ilustrado a seguir:

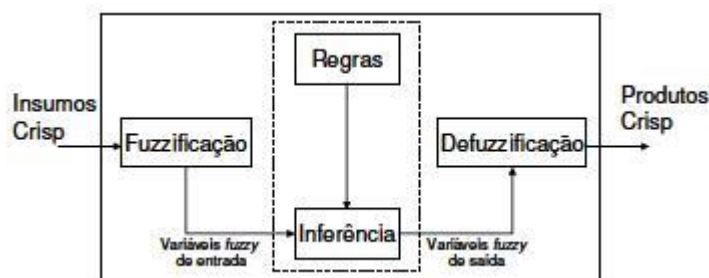
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (11)$$

A partir dos conceitos da teoria dos conjuntos *fuzzy* é possível modelar sistemas baseados em inferência *fuzzy* e definir os números *fuzzy* triangulares, que são fundamentais aos objetivos deste trabalho.

2.10 SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Rodrigues (2008) afirma que boa parte da literatura procura embasar o tratamento de dados no qual as entradas e saídas são variáveis *fuzzy*. Segundo Mendel (1995) quando se trata de problemas práticos os dados de entrada e saída são números reais o que dificulta a resolução do problema. Sendo assim modela-se em Sistema de Inferência *Fuzzy* de acordo com a Figura 10:

Figura 10 - Sistema de Inferência Fuzzy



Fonte: Mendel, 1995

Conforme visto na Figura 10, em um Sistema de Inferência *Fuzzy* identificam-se os seguintes componentes (MENDEL, 1995):

- **Fuzzificação:** nesta etapa transformam-se as variáveis *crisp* em variáveis *fuzzy*. É nesse estágio que é necessário efetuar um mapeamento dos dados *crisp* para os conjuntos *fuzzy* (de entrada) relevantes, é nessa etapa também que são ativadas as regras em que consiste as variáveis linguísticas.

- **Regras:** são as variáveis linguísticas que determinam os pontos de controle do sistema. São fornecidas por especialistas, na forma de sentenças linguísticas, ou extraídas de dados numéricos, que são de suma importância para o desempenho do sistema de inferência *fuzzy*.

- **Inferência:** é o motor do sistema, pois determina como as regras são ativadas e combinadas. É nessa fase que ocorrem as operações com conjuntos *fuzzy*, mapeando conjuntos *fuzzy* em conjuntos *fuzzy*.

- **Defuzzificação:** transforma as variáveis do conjunto *fuzzy* em conjuntos *crisp*. No presente trabalho, esse número preciso corresponderia à hierarquização dos projetos de infraestrutura de transporte mais adequados para atender as empresas do PIM.

2.11 NÚMEROS FUZZY TRIANGULARES

Como visto a teoria dos conjuntos *fuzzy* (TCF) foi projetado para lidar com a multiplicidade de informações imprecisas e vagas. A TCF trata de dados vagos com possíveis distribuições em termos de participações em conjunto. Uma vez determinada e definida, os conjuntos de associações nas possíveis distribuições o raciocínio lógico pode ser usado com eficiência (WANG & CHENG, 2008).

Existe uma grande variedade de tipos de números *fuzzy*, entretanto neste trabalho para aplicação do Método AHP *fuzzy*, trabalhou-se os Números *Fuzzy* Triangulares (Triangular Fuzzy Numbers - TFNs). Segundo Laarhoven e Pedrycs (1983) um número *fuzzy* triangular deve possuir as seguintes características básicas:

Definição 1: Um número *fuzzy* A em U é um número *fuzzy* triangular se a sua função de pertinência: $f_A: U \rightarrow [0,1]$ é igual a:

$$f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & \text{se } l \leq x \leq m, \\ \frac{u-x}{u-m} & \text{se } m \leq x \leq u, \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (12)$$

Onde l e u representam o limite inferior e superior, respectivamente, do número *fuzzy* $\tilde{A}$ e m é o valor mediano. O TFN é denotado por $\tilde{A} = (l, m, u)$ e as operações seguintes de acordo com Kaufmann e Gupta (1988) são leis operacionais de dois TFNs $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ e $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$:

- Adição do Número *Fuzzy* (+):

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (13)$$

- Subtração do Número *Fuzzy* (-):

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) - (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (14)$$

- Multiplicação do Número *Fuzzy* (x):

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \times (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \text{ para } l_1 > 0, m_1 > 0, u_1 > 0 \quad (15)$$

- Divisão do Número *Fuzzy* (/):

$$\tilde{A}_1 / \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) / (l_2, m_2, u_2) = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2) \text{ para } l_1 > 0, m_1 > 0, u_1 > 0 \quad (16)$$

- Logaritmo do Número *Fuzzy*:

$$\log_n(\tilde{A}) \sim (\log_n l, \log_n m, \log_n u) \text{ n é a base} \quad (17)$$

- Recíproco do Número *Fuzzy*

$$(\tilde{A})^{-1} = (l, m, u)^{-1} \sim (1/u, 1/m, 1/l) \text{ para } l, m, u > 0 \quad (18)$$

As operações algébricas de adição, subtração e multiplicação por um escalar, que envolvem os números *fuzzy* triangulares geram como resultado também um número *fuzzy* triangular. Essas operações são ditas lineares. Já outras operações, tais como multiplicação e

divisão entre TFNs, não necessariamente geram um número *fuzzy* triangular. Seu cálculo é obtido através de operações de intervalos de confiança de TFNs e requerem uma atenção especial para que as divergências geradas nestas operações não atrapalhem o resultado final esperado (KAUFMANN e GUPTA 1988).

Tendo traçado uma visão parcial da teoria dos conjuntos *fuzzy*, sistemas de inferência *fuzzy* e números *fuzzy* triangulares, já é possível tratar do método AHP *Fuzzy*, o que será visto a seguir.

2.12 MÉTODO AHP FUZZY

Como tratado o método AHP desenvolvido por Saaty, não é capaz de incorporar informações imprecisas, vagas e ambíguas. Para incorporar a imprecisão e ambiguidade na tomada de decisão e obter um resultado satisfatório, Chang (1996), visou enriquecer o modelo propondo a extensão *fuzzy*. O modelo de Saaty é muito utilizado em tomadas de decisões complexas, porém o mesmo hierarquiza o resultado como se os tomadores de decisão possuísem informações completas a respeito do assunto, o que raramente ocorre. Sendo assim a inclusão da lógica *fuzzy*, é de suma importância no tratamento das informações imprecisas e ambíguas, levando em consideração o alto grau de imprecisão.

Da mesma maneira que o método AHP Saaty, o modelo AHP *Fuzzy*, a tomada de decisão baseia-se na definição de critérios e alternativas. Os critérios são representados pelo vetor $C_n = (C_1, C_2, C_3, C_4, C_n)$ enquanto que as alternativas são representadas pelo vetor $A_n = (A_1, A_2, A_3, A_4, A_n)$. Os critérios são decompostos, nos diferentes aspectos do cenário da tomada de decisão, e as alternativas, são os itens analisados e hierarquizados como resultado final do modelo. Basicamente o método é modelado da seguinte forma:

Inicialmente é realizada a comparação par a par de todos os critérios frente ao objetivo principal da tomada de decisão. Tendo já obtido a atribuição de pesos aos critérios por meio desta comparação, é feita a comparação par a par das alternativas frente a cada um dos critérios. Logo após é realizada a atribuição de pesos as alternativas, podendo assim ser hierarquizadas, gerando o resultado final do modelo.

Como visto na seção 2.9.2.1, um conjunto *fuzzy* caracteriza-se pela função de pertinência $\mu_A(X)$ assumindo valores no intervalo $[0,1]$. O Método AHP *Fuzzy*, utiliza-se de diversas possibilidades de aplicação das funções de pertinência, tais como: triangular,

gaussiana, trapezoidal, etc. Neste trabalho será utilizada a função de pertinência triangular, sendo já explicitado sobre este assunto na seção 2.11. O mesmo foi escolhido por ser de fácil aplicação computacional no tratamento dos dados.

Neste método o grau de *fuzzyficação* (δ) é o elemento responsável pelo grau de imprecisão constante no julgamento feito nas comparações par a par pelo *stakeholders*. Dessa forma, em uma determinada comparação par a par entre os elementos i e j , na qual o elemento i é preferível ao elemento j , o item m do número *fuzzy* triangular será um dos valores da escala de Saaty (ver Quadro 2), enquanto que os itens l e u correspondem ao limite inferior e o limite superior), esses espalhamentos irão descrever a imprecisão do julgamento. De acordo com Linhares, *et al* (2012) quando a imprecisão é considerada simétrica tem-se: $m - l = u - m = \delta$.

Sendo assim, dado um valor m , o número *fuzzy* triangular correspondente a comparação entre os elementos i e j , na qual i é diferente de j , sendo i preferível a j , será $(m - \delta, m, m + \delta)$ e o seu número *fuzzy* triangular reverso será $(1/(m + \delta), 1/m, 1/(m - \delta))$.

De acordo com os mesmos autores, há duas exceções importantes, que são:

I - Quando o valor de m na comparação par a par for 1, isto é, quando os elementos i e j são igualmente preferíveis, o número *fuzzy* triangular será $(1/(1 + \delta), 1, 1 + \delta)$.

II – Agora quando o valor de m , for igual a 9, o número *fuzzy* triangular será $(9 - \delta, 9, 9)$.

No que diz respeito ao valor do grau de *fuzzificação*, o mais utilizado é 0,5. Porém não necessariamente é este para todos os casos. Pois quanto maior for a imprecisão e informações nebulosas na tomada de decisão, maior deverá ser o valor do grau de *fuzzificação* (SAXENA, *et al* 2010).

Depois de realizada a comparação par a par dos critérios e alternativas, os resultados geram a matriz de comparação, conforme mostra o Quadro 8:

Quadro 8 - Matriz de Comparação de Critérios AHP Fuzzy

Critérios	A	B	C	D
A	(1,1,1)	(L ₁₂ ,M ₁₂ ,U ₁₂)	(L ₁₃ ,M ₁₃ ,U ₁₃)	(L ₁₄ ,M ₁₄ ,U ₁₄)
B	(L ₂₁ ,M ₂₁ ,U ₂₁)	(1,1,1)	(L ₂₃ ,M ₂₃ ,U ₂₃)	(L ₂₄ ,M ₂₄ ,U ₂₄)
C	(L ₃₁ ,M ₃₁ ,U ₃₁)	(L ₃₂ ,M ₃₂ ,U ₃₂)	(1,1,1)	(L ₃₄ ,M ₃₄ ,U ₃₄)
D	(L ₄₁ ,M ₄₁ ,U ₄₁)	(L ₄₂ ,M ₄₂ ,U ₄₂)	(L ₄₃ ,M ₄₃ ,U ₄₃)	(1,1,1)

Fonte: Autor desta dissertação

Após as comparações par a par, dos critérios e das alternativas, serão realizadas as operações matemáticas. As mesmas são feitas da seguinte maneira (CHANG, 1996):

A primeira operação a ser realizada é a soma de cada linha e de cada coluna da matriz de comparação dos números *fuzzy* triangulares (l,m,u) conforme a equação 19:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (19)$$

Logo após é realizada a soma da soma das colunas de todos os elementos da matriz de comparação:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (20)$$

Em seguida é calcula a inversa da equação 20:

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (20b)$$

Com esses dados já é possível calcular a Medida Sintética *Fuzzy* (S_i), onde o mesmo servirá de base para hierarquizar as alternativas da tomada de decisão. A S_i é encontrada por meio da equação matemática:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} \quad (21)$$

Depois de encontrada todas as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i) da matriz é realizado a

comparação entre os “S” de cada elemento com os demais. Essa comparação é feita, em dupla por meio do cálculo $V(M_2 \geq M_1)$, onde o valor encontrado representa o grau de possibilidade de $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ conforme a equação:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (22)$$

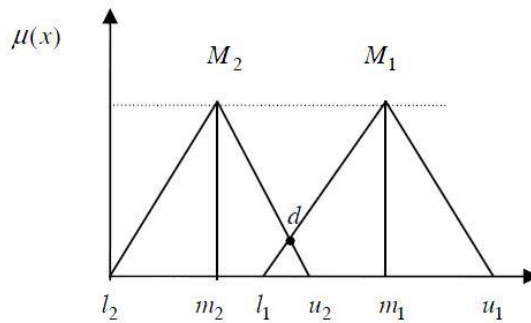
Onde x e y são os valores no eixo da função de pertinência de cada critério.

Esta expressão pode ser equivalentemente escrita como dado na equação 22 abaixo:

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1, \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2, \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (22b)$$

A Figura 11 reflete os cálculos da equação 22. O resultado de $V(M_2 \geq M_1) = d$. Onde d é o valor máximo da função de pertinência relativa ao conjunto *fuzzy* da intersecção entre M_2 e M_1 .

Figura 11 - A intersecção entre M1 e M2



Fonte: Zhu et al, 1999

Para comparar M_1 e M_2 , precisamos dos valores de $V(M_2 \geq M_1)$ e $V(M_1 \geq M_2)$. Lembrando que o grau de possibilidade para um número *fuzzy* convexo tem que ser K maior do que o próprio número *fuzzy* convexo, onde:

$$V(M \geq M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ e } (M \geq M_2) \text{ e } (M \geq M_3) \text{ e } (M \geq M_4) \text{ e } \dots \text{ e } (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k. \quad (23)$$

Depois de todas as comparações de “S” possíveis, a comparação global de “S” de A_i com todos os outros “S” é realizado de acordo com a equação a seguir:

$$d^i(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (24)$$

Para $k = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n; k \neq i$. Então o vetor de pesos é dada pela equação 25:

$$W^i = (d^i(A_1), d^i(A_2), d^i(A_3), d^i(A_4), d^i(A_5), \dots, d^i(A_n))^T \quad (25)$$

Onde A_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots, N$) são elementos n.

O último passo é a normalização, onde os vetores dos pesos normalizados são apresentados na equação :

$$W = (d(A_1), d(A_2), d(A_3), d(A_4), d(A_5), d(A_6), \dots, d(A_n)) \quad (26)$$

Onde W é o vetor dos pesos dos elementos (critérios ou alternativas de escolha). Para encontrar a hierarquia das alternativas da tomada de decisão considerando a ponderação dos critérios é feita de acordo com a multiplicação de W_C (vetor linha normalizado dos critérios) com W_A (vetor linha normalizado das alternativas).

$$W_C \times W_A \quad (27)$$

Portanto, em sistemas complexos como um ambiente público, a imprecisão e informações nebulosas ocorrem com frequência e os julgamentos são representados por padrões linguísticos. No AHP Saaty quando essas variáveis uísticas são transformadas em valores quantitativos, por muitas vezes, devido à decisão ser crisp ou quase crisp, cria e lida com uma escala muito desequilibrada no julgamento e tem interferência direta no resultado final da simulação. Assim o AHP Saaty não leva em conta a imprecisão e a incerteza dos tomadores de decisão. Essa subjetividade tem grande importância e influência no resultado do método.

2.12.1 Experiências de aplicações do Método

Yu (2002) utilizou AHP *fuzzy* em conjunto com programação por metas na resolução de problemas de decisão em grupo. O trabalho fala sobre problemas decisórios do mundo real que envolvem variáveis qualitativas e subjetivas. Também retrata a complexidade da tomada de decisão em grupo com divergências entre dois ou mais ranking's em um conjunto alternativo. Como resultado, o vetor prioridade gerado do método proposto por Yu, apesar da ambiguidade e imprecisão no ambiente, permite o tomador de decisão realizar a análise de sensibilidade na tomada de decisão com eficácia e eficiência.

Sheu (2004) identificou estratégias de logística global por meio da abordagem *fuzzy*. Para tanto, o artigo menciona seis tipos comuns de estratégias com seus canais de distribuição física e fluxo de informação. O autor utilizou dados de indústrias de Taiwan fabricantes de circuito integrado (CI) na demonstração do modelo proposto. Os resultados mostram que as indústrias de Taiwan, levam em consideração dois elementos vitais nas estratégias de logística global, a competitividade e controle de gestão para funcionalidade do sistema. Além disso, “R

& D” e processo de fabricação permanecem como dois fatores-chave na determinação das estratégias de logística global das indústrias de alta tecnologia. No entanto, as empresas de fabricação de IC em Taiwan parecer um pouco insensível ao ambiente externo, no contexto operacional global. Um dos objetivos do autor com este trabalho de seria estimular a pesquisa nas áreas afins de logística global ajudando a resolver questões sobre a incerteza e a complexidade das operações logísticas globais.

Tang & Benynon (2005) desenvolvem o método na seleção do tipo de carro da frota a ser adotado por uma pequena empresa de aluguel de carros. Nesse estudo os autores utilizaram cinco critérios: equipamento, conforto, segurança, imagem e preço. As alternativas adotadas foram: Proton Persona, Honda New Civic, Vauxhall Merit, Volkswagen Polo e Daewoo Lanos. Após a simulação do modelo, os critérios preferidos dentre os cinco analisados, foram segurança e preço, no resultado final o carros preferidos ficaram hierarquizados da seguinte forma: Honda, Volkswagen, Valxhall, Daewoo e por último o Proton Persona.

Li & Wang (2010) utilizaram o método para selecionar o modelo de decisão para o financiamento de projetos de infraestrutura. O artigo analisa sete tipos de modelos de financiamento de projetos em infraestrutura: BT, BOT, TOT, TBT, ABS e PFI em um caso prático na cidade da China Changsha-Zhuzhou-Xiangtan. O resultado da simulação do modelo mostra que o modelo ABS é a forma ideal para financiamento de projetos. Os autores concluem que apesar da complexidade e a imprecisão presentes na tomada de decisão principalmente por em um ambiente governamental é possível alcançar, com efeito, um financiamento ideal para projetos de infraestrutura.

Barin *et al* (2010) utilizaram esta metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a lógica *fuzzy* na avaliação dos principais sistemas de geração distribuída que podem fazer uso de fontes primárias renováveis, tais como: painéis fotovoltaicos, aerogeradores, microturbinas e células de combustível com uso de biogás. Para avaliação os autores consideraram os seguintes critérios: eficiência, custos, maturidade tecnológica, impactos ambientais, amplitude de atuação do sistema e vida útil. No final do trabalho foi apresentada uma classificação em ordem de prioridade das alternativas nos cenários custos e meio ambiente. Segundo os autores os resultados corroboraram o uso do método AHP e da Lógica Fuzzy validando a utilização na classificação prévia de relevância aplicada aos parâmetros.

Balli & Korukoglu (2009) utilizou a metodologia AHP *Fuzzy* integrado ao método TOPSIS na seleção do sistema operacional adequado para o sistema de informática das empresas. O AHP *Fuzzy* foi usado na determinação dos pesos dos critérios determinados pelos tomadores de decisão e em seguida, rankings dos sistemas operacionais foram criados pelo TOPSIS. O autor conclui que com a seleção de sistema operacional adequado, as organizações podem ter resultados positivos em um mundo de concorrência globalizada, tais como diminuição dos custos, tempo de qualidade-eficiência e maior desempenho no trabalho. E por fim que a integração das abordagens AHP *Fuzzy* e TOPSIS permite especialistas e usuários para selecionar com eficiência um sistema operacional mais adequado para determinada finalidade.

2.12.2 Vantagens do Método

As vantagens do Método AHP *Fuzzy* são similares às do AHP tradicional. Segundo Caixeta-Filho & Martins (2001) o método AHP é um dos mais adequados no processo de tomada de decisão em planejamentos de transportes e também quando se trata de avaliação de prioridades das alternativas de investimentos de infraestrutura de transporte, pois o mesmo possibilita as seguintes ações:

- Admissão de critérios quantitativos e qualitativos;
- Incorporação das demandas dos agentes relacionados com o problema;
- Elencagem de todas as alternativas, conforme escalas cardinal e ordinal;
- Simplicidade na compreensão e na solução de problemas, sem necessidade de profundos conhecimentos das bases teóricas;
- Baixo nível de requisição de esforços de agentes quanto à obtenção de dados para subsidiar o modelo;
- Avaliação de alternativas interdependentes;
- Incorporação de incertezas relativas às decisões de longo prazo, através de utilização de cenários alternativos;
- Aceitação de que o processo de avaliação seja sensível a essas alterações;

- Incorporação da imprecisão e incerteza inerentes ao ambiente da tomada de decisão.

De acordo com Kuwahara (2008) o método AHP Saaty apresenta grande viabilidade nos procedimentos da formulação de medidas que auxiliem na seleção de projetos de investimentos em infraestrutura de transporte. Como as vantagens são similares do AHP Saaty com AHP *Fuzzy*, o método *Fuzzy* também posiciona-se como uma importante ferramenta pelos órgãos responsáveis pela elaboração dos projetos e políticas públicas de investimento de forma geral, seja na esfera federal, como também nos estados e municípios, levando em consideração a incorporação da imprecisão do ambiente.

2.12.3 Limitações do Método

Da mesma maneira que as vantagens, as limitações do AHP *Fuzzy* são coincidentes com as do AHP tradicional. O método depende em grande parte da qualidade dos dados e informações advindas de técnicos e *stakeholders* de diversas áreas inseridas no cenário a ser tomada a decisão. É de suma importância que as partes interessadas tenham conhecimento do problema a ser solucionado, trazendo com isso, melhor julgamento e avaliação dos critérios e alternativas que compõe a hierarquia da tomada de decisão.

Outro fator importante é a composição da hierarquia, pois se deve proceder sempre com o intuito de facilitar o entendimento dos níveis hierárquicos por parte dos *stakeholders*.

Um aspecto a se deixar claro é no quesito consistência, no modelo tradicional o processo de tomada de decisão precisa levar em consideração a inconsistência, obedecendo sempre o limite de inconsistência determinada pelo modelo. Porém no método AHP *Fuzzy* o cálculo do índice de consistência não é apropriado por causa da imprecisão, pois essa inconsistência está inclusa no momento dos cálculos aritméticos e nas intersecções onde o valor percentual das alternativas é obtido. Logo não há nenhum mecanismo de consistência como visto nas aplicações do AHP *Fuzzy*.

Portanto tendo em vista a impossibilidade do cálculo de inconsistência, é certo que deverá tomar maior cuidado e atenção no estabelecimento dos critérios e alternativas e também no tratamento dos dados do modelo em questão.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa científica é caracterizada por trazer novas contribuições à área da ciência em que se insere e também por conter três elementos principais: um problema, o uso do método científico e a busca da resposta. Este trabalho atende a esses requisitos essenciais a cientificidade, pois carrega consigo a problemática da logística e infraestrutura de transporte de carga do PIM e, utilizando a metodologia da tomada de decisão AHP *fuzzy* busca encontrar uma nova solução para os problemas logísticos encontrados pelo Polo Industrial de Manaus. Para concretização do mesmo é preciso que, num primeiro momento haja a identificação e classificação da pesquisa.

Quanto ao objetivo geral segundo Gil (1991) o presente trabalho é do tipo exploratório e descritivo. Pesquisa exploratória porque investiga e demonstra realidade da situação atual enfrentada pelo PIM no que diz respeito à infraestrutura logística de transporte de carga e também mostra os plano e projetos de investimentos destinados ao estado do Amazonas. Pesquisa descritiva porque expõe os fundamentos da logística e infraestrutura de transportes e sua importância no contexto socioeconômico do Polo Industrial.

Quanto a sua natureza de acordo com Cervo & Brian (1996) a Dissertação é classificada como pesquisa aplicada, pois tem a intenção de contribuir para fins práticos sendo motivada pela necessidade de resolver problemas concretos da ineficiência do transporte de cargas do PIM, por meio de um novo modelo de tomada de decisão, o AHP *fuzzy*.

Quanto ao objeto da Pesquisa de acordo com Vergara (2009) a pesquisa é bibliográfica e documental. Bibliográfica porque recorre a material acessível na literatura, sejam livros, teses, dissertações, artigos sobre o tema. Documental, pois faz uso de publicações técnicas específicas do PIM obtidas na SUFRAMA, na Internet, tais com os sites do IBGE, MDIC, etc.

Os objetivos específicos deste trabalho foram alcançados da seguinte forma:

1) Estudar a metodologia AHP *Fuzzy* e experiências das aplicações: para realização deste objetivo específico foi feito levantamento bibliográfico em livros que tratam da AHP, da Matemática e Lógica *Fuzzy*, em artigos, dissertações, monografias e teses obtidos em sites específicos do assunto, em Revistas On-line e, em Anais de Congressos

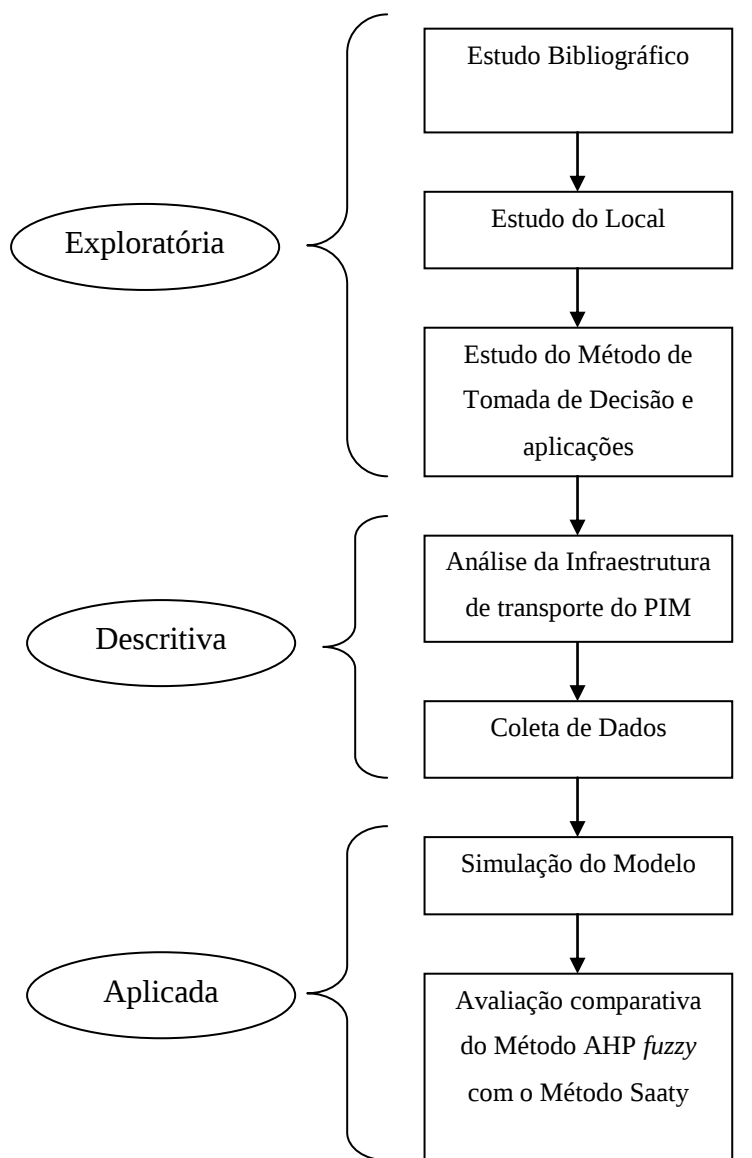
2) Analisar a situação atual da infraestrutura logística de transporte de carga do PIM: a análise foi realizada, tal qual o objetivo anterior, através de pesquisa bibliográfica, utilizando artigos, trabalhos acadêmicos e técnicos pertinentes ao tema, além de relatórios específicos, da SUFRAMA, da CNT, da INFRAERO e do PAC.

3) Aplicar o Método AHP *fuzzy* na tomada de decisão em projetos de infraestrutura de carga do PIM: Para aplicação do Método utilizou-se o *Software Excel* versão 2007. Os dados de entrada, critérios e alternativas para a simulação usados no Modelo foram extraídos da Tese Planejamento integrado do setor de transporte de carga na Amazônia: Metodologia de Análise e hierarquização de alternativas de investimentos em infraestrutura de transporte defendida por Nelson Kuwahara em 2008. O modelo AHP tradicional Kuwahara foi escolhido como base de dados por apresentar a aplicação do método tradicional para o PIM e também para o estado do Amazonas, não obstante, contém todos os dados necessários para a aplicação na versão *Fuzzy* em projetos de infraestrutura de transporte para o PIM.

4) Avaliar Comparativamente o Método AHP Tradicional com AHP *Fuzzy*: Neste objetivo realizou-se uma análise comparativa dos Métodos levando em consideração o resultado da aplicação do modelo *fuzzy* com o modelo tradicional evidenciando as principais diferenças dos mesmos e a principal contribuição do modelo *Fuzzy*.

Portanto, quanto à execução, o trabalho foi realizado obedecendo aos seguintes passos de acordo com a Figura 12:

Figura 12 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autor desta dissertação

O fluxo das etapas ocorre como se apresenta a seguir:

1º Etapa: Exploratória

- **Estudo Bibliográfico:** Nessa etapa foi feita a revisão da bibliografia em que está inserida a Dissertação, sobre os sistemas de transportes e o desenvolvimento socioeconômico, logística e infraestrutura de transportes.

- **Estudo do Local:** Estudo da Infraestrutura e logística de transporte no Brasil e no Amazonas, Zona Franca de Manaus e o Polo Industrial de Manaus. Os modelos e planos de investimentos em infraestrutura de transporte foram estudados o PNLT, os PPAs e o PAC.

- **Estudo do Método de Tomada de Decisão:** Nessa etapa foi realizado o estudo dos modelos e ferramentas aplicadas no planejamento, sendo focado na metodologia *Analytic Hierarchy Process Fuzzy* - AHP Fuzzy, modelo utilizado neste trabalho. Sendo feito antes um estudo sucinto sobre a AHP tradicional e da Matemática e lógica *fuzzy* e também os números *fuzzy* triangulares. Logo após foi estudada a experiência em aplicações realizadas por diversos autores.

2º Etapa: Descritiva

- **Análise da Infraestrutura de transporte do PIM:** Nesta etapa foi feita a análise da infraestrutura e logística de transporte de carga utilizada pelo PIM, nos modais utilizados pelas empresas e, foi realizada ainda uma análise comparativa do setor mais representativo em exportação, telefonia celular, com mercados produtores do mesmo item.

- **Coleta de Dados:** O estabelecimento dos critérios e alternativas a serem avaliados pelos *stakeholders* e sua importância relativa para as empresas do PIM, baseou-se na Tese cujo título é Planejamento integrado do setor de transporte de carga na Amazônia: Metodologia de Análise e hierarquização de alternativas de investimentos em infraestrutura de transporte defendida por Nelson Kuwahara em 2008.

Critérios, Alternativas e Dados de Entrada:

O Modelo AHP tradicional de Kuwahara (2008) utiliza seis critérios para aplicação método, são eles: Número de Empregos - NE, Atendimento as exigências Ambientais - AMB, Percentual de Crescimento de Faturamento - PCF, Faturamento Absoluto - FA, Investimentos Fixos – IF e Indicador de Importação/Exportação – IREI. Como o presente trabalho tem como objetivo principal demonstrar a aplicabilidade do Método AHP Fuzzy, para melhor compreensão foi utilizado na simulação somente os quatro critérios mais representativos da aplicação do AHP tradicional. São eles:

- Números de Emprego - NE;
- Atendimento das exigências ambientais de acordo com a ISO 14000 - AMB;
- Percentual de crescimento de faturamento - PCF;
- Faturamento Absoluto – FA.

O critério NE tem relação com a capacidade das empresas gerarem emprego na região. O critério AMB está relacionado com a verificação da existência da certificação ISO 14000. Já os critérios PCF e FA, objetivam a análise de desempenho econômico e financeiro, nos quais é possível obter informações sobre o crescimento das empresas. Os dois critérios diferenciam-se pela importância estratégica ou temporal. Enquanto o PCF visa às perspectivas de crescimento, o FA visa o crescimento atual das empresas.

As alternativas usadas no modelo AHP *Fuzzy*, são as mesmas presentes no modelo Kuwahara (2008):

1º Incremento e consolidação do Aeroporto de Cargas Eduardo Gomes;

2º Estrutura para incremento e/ou consolidação ro-ro (Roll on/Roll off), sendo necessário avaliações adicionais para definição da(s) rota(s) a ser(em) privilegiada(s);

3º Reestruturação e fortalecimento do modal cabotagem;

3º Etapa: Aplicada

- **Simulação do Modelo:** A simulação do modelo foi feita utilizando-se o *software* Excel versão 2007. Para a realização da simulação foi utilizado o Método AHP *Fuzzy* de Chang (1996). As etapas de aplicação do Modelo foram explanadas no Capítulo 2 na Seção 12. As matrizes *fuzzy* de comparação par a par foram montadas utilizando os dados *crisp* de Kuwahara (2008). O grau de *fuzzificação* utilizado neste trabalho foi 0,5. A matriz de Comparação dos critérios foi feita de forma direta, pois se tinha a matriz de comparação com dados de entrada, ao passo que as matrizes de comparação das alternativas frente aos critérios foi realizada baseada no desempenho das empresas frente as alternativas, pois a aplicação do AHP Saaty de Kuwahara (2008) hierarquiza de forma indireta as alternativas de infraestrutura de transporte.

- **Avaliação Comparativa do Método AHP *Fuzzy* com o AHP tradicional:** É realizada a análise comparativa levando-se em consideração as principais diferenças entre os dois métodos e os resultados obtidos na modelagem do AHP tradicional e AHP *Fuzzy*.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresenta a aplicação do modelo AHP *fuzzy*, realizando a descrição da simulação e avaliação de investimentos em infraestrutura de transporte de carga que atendem o Polo Industrial de Manaus. Para tanto no tópico seguinte é apresentado uma análise da infraestrutura de transporte de carga do PIM. E em seguida é realizada a simulação no modelo proposto, com as análises e avaliações do mesmo.

4.1 ANÁLISE DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

O presente capítulo apresenta a aplicação do modelo AHP *fuzzy*, realizando a descrição da simulação e avaliação de investimentos em infraestrutura de transporte de carga que atendem o Polo Industrial de Manaus. Para tanto no tópico seguinte é apresentado uma análise da infraestrutura de transporte de carga do PIM. E em seguida é feita a simulação no modelo proposto, com as análises e avaliações do mesmo.

4.1.1 Eixos do Sistema de Transporte Regional

De acordo com Rodrigues (2009) pelo Amazonas passam três eixos que integram o Estado à região Norte, são eles: ao Norte (BR-174), ao Noroeste (BR-319 e a Hidrovia do Madeira, em direção ao Acre e Rondônia e ligação com o restante do país) e o terceiro um corredor natural, o Rio Amazonas, que promove uma integração inter e intrarregional, que também dar acessos aos mercados internacionais. Estes eixos são projetos em uma perspectiva estruturante, promovendo o fornecimento de insumos e o escoamento da produção para o Brasil e o exterior.

Essa visão de eixos procura equacionar uma série de possibilidades de infraestruturas de transporte para a região capaz de minimizar as limitações e o alto custo logístico que atualmente afeta o PIM e a região Amazônica. Segundo o Centro da Indústria do Estado do Amazonas (CIEAM), as indústrias amazonenses enfrentam em média um custo logístico anual de 945 milhões de dólares. As opções de transporte das empresas do PIM limitam-se a se enquadrar dentro de uma estratégia logística integrada, onde o sistema de transporte multimodal assume importância relevante, principalmente para o transporte entre regiões.

Em relação à Amazônia Ocidental, o sistema de transporte apresenta um ponto central, localizado na cidade de Manaus, que, motivado pelas empresas industriais, concentra grande parte da atividade econômica convergindo grande parte dos fluxos de carga na região.

Dessa forma, estudos (PLANOAMAZON) apontam cinco eixos dentro do conceito de logística integrada do sistema de transporte. Estes sairiam de Manaus e sendo os seguintes:

I- O **Eixo Norte**, faria a ligação rodoviária através do BR-174 entre Manaus (AM), e Boa Vista (RR), podendo seguir para a Venezuela alcançando os portos marítimos de Caracas ou Puerto La Cruz; ou então desviando para a Guiana onde também alcançaria o porto marítimo de Georgetown. Em ambos os casos seria possível alcançar o Caribe, a América Central e os países do NAFTA.

II- O **Eixo Sul** contempla a ligação Manaus a Cuiabá (Mato Grosso) via Porto Velho (RO), podendo ser realizado via fluvial através do rio Madeira ligando Manaus a Porto Velho e deste a Cuiabá através da BR-364; ou via rodoviária ligando Manaus a Porto Velho através da BR-319 (em recuperação) e deste para Cuiabá. Deve-se considerar mais uma possibilidade de alcançar Cuiabá através da rota rodo-fluvial que partindo de Manaus via Santarém através do rio Amazonas e de Santarém para Cuiabá pela BR-163.

III- O **Eixo Leste** apresenta apenas uma via fluvial ligando Manaus a Macapá e a Zona de Livre Comércio de Santana no Amapá estabelecendo a partir deste ponto um corredor fluvial-marítimo alcançando portos do Atlântico Norte (NAFTA, UE) e do Atlântico Sul (Costa brasileira, Uruguai e Argentina) e por último o Atlântico Leste chegando aos países da África.

IV- O **Eixo Oeste** contempla o transporte fluvial a partir da cidade de Manaus, através do rio Amazonas e Marañon até Puerto América no Peru. A partir daí seguiria via rodoviária até os portos marítimos da Zona de Livre comércio de Paita no Peru acessando as rotas marítimas para o Chile, Alasca, Costa Oeste dos Estados Unidos, Japão e países do Pacífico como Nova Zelândia e Austrália.

V- A **Estrutura Radial** propõe a ideia de logística integrada de transportes no Estado composto de uma estrutura rodo-fluvial, onde seja possível estabelecer uma rede capaz de promover uma integração, não apenas interregional, proporcionado pelos eixos, como também intrarregional, ligando o centro dinâmico aos principais municípios do interior. Esta visão de

desconcentração, centrada no desenvolvimento e integração socioeconômica, pretende homogeneizar os padrões de vida das regiões do interior com os grandes centros. Isto é devido a grande distorção que ocorre na Amazônia, principalmente no estado do Amazonas.

Na avaliação das opções de Transporte não se deve descartar nenhuma opção, mesmo porque muitas vezes as alternativas mais viáveis economicamente não recebem a devida atenção. Exemplo desse fato está na pavimentação da BR-319 que ligará Manaus a Porto Velho, esperada com grande expectativa pelas empresas do Polo Industrial de Manaus, no entanto, a BR-080 que ligaria Manaus à Brasília e daí com o resto do país a um custo logístico menor foi descartado.

Neste sentido, estudos indicam que a construção de poucos quilômetros (360 Km) de estrada ligando os municípios de Autazes - AM e Itaituba-PA para que a capital amazonense estivesse interligada aos principais centros consumidores da produção local. Essa infraestrutura reduziria em até quatro dias o deslocamento dos produtos do PIM.

A estrada fora incluída nos Planos Nacionais de Viação (PNV) de 1964, 1973 e 1986 sendo parte dela (no trecho de Matogrosso) transformada em estrada estadual, ficando assim, limitada até Itaituba.

Ainda em relação aos eixos de escoamento dos produtos do PIM, a **IIRSA** - Iniciativa para a Integração Regional da Infraestrutura Regional Sul-Americana identificou o Eixo do Amazonas, identificando-se como um sistema multimodal de transporte que interliga os portos da região do Pacífico, tais como, Tumaco, na Colômbia; Esmeraldas, no Equador; e Paita, no Peru, com os portos brasileiros de Manaus, Belém e Macapá. Essa interligação do oceano pacífico com o atlântico daria através dos rios Huallaga, Marañon, Ucayali e Amazonas no Peru; Putumayo e Napo, no Equador; Putumayo, na Colômbia; e Iça, Solimões e Amazonas, no Brasil. Com seus mais de 6.000 km de vias navegáveis o escoamento ocorreria nos portos fluviais de El Carmen, na fronteira entre Equador e Colômbia, Guepi, na Colômbia e Sarameriza e Yurimaguas, no Peru.

4.1.2 Análise Comparativa da infraestrutura de transporte do Estado do Amazonas com outros Estados da região

Por meio de dados do Ministério dos Transportes, pôde-se verificar que a malha viária que circunda a região que atua as empresas do PIM, apresenta-se de forma heterogênea, podendo ser identificado pelo menos três sub-regiões tendo em vista a integração nacional que o mesmo proporciona.

A região mais ocidental da Calha Norte do Amazonas que pode ser considerada como um “vazio” rodoviário e ferroviário, apresenta os maiores desafios no que se refere a capacidade de integração logística. Devido à inexistência de outros modais de transportes os rios apresentam-se como a única forma de movimentação de cargas, o que dificulta a inserção da região no âmbito do PIM e também com o resto do país.

A região intermediária onde o processo de integração vem sendo concretizado por meio da expansão agrícola e a própria necessidade que os centros como Santarém, Porto Velho e principalmente Manaus tem efetuado para transpor as imensas distâncias do centro consumidor. As cargas nessa região utilizam o sistema multimodal efetuando parte dos trajetos em hidrovias como também em rodovias mesmo estando algumas por asfaltar.

A região mais oriental e, por conseguinte mais integrado a rede de transporte do país, onde as cargas nestas regiões são transportadas em hidrovias, rodovias e também por ferroviárias, mesmo que concentrado na região de Carajás ao porto de Itaquí. Os maiores índices de cobertura de transporte principalmente as rodovias asfaltadas se encontram nesta região que mesmo estando aquém do resto do país já são índices consideráveis quando comparado com a região do PIM.

- Modal Aéreo

No ano de 2012, o total de carga movimentada nos aeroportos da região, representou 18,48% do total de carga movimentada no país. O Estado do Amazonas é o terceiro colocado geral no uso do modal aéreo e representa 17,20% da carga movimentado no país em 2012, perdendo apenas para os aeroportos de Garulhos e Campinas em São Paulo, com participações de 28,90% e 22,22%, respectivamente.

Esse domínio é consequência do tipo da atividade econômica presente no PIM que

utiliza entre suas principais formas de escoamento e abastecimento, o modal aéreo. O Quadro 9 mostra a movimentação da carga nos aeroportos de alguns estados da região norte no ano de 2012.

Quadro 9 - Total de Carga movimentada em cinco Estados da Região Norte em 2012

Aeroportos/UF	Importação	Exportação	Carga Nacional	Courier	Total de Carga Movimentada	
Belém PA	199	698	4909	0	5806	0,58%
Boa Vista RR	601	0	0	0	601	0,06%
Manaus AM	53411	3741	116144	0	173296	17,20%
Macapá AP	33	0	0	0	33	0,00%
Porto Velho RO	0	0	6427	0	6427	0,64%
Total	54.244	4.439	127.480	0	186.163	18,48%
BRASIL	432.480	251.503	313.236	10.419	1.007.638	

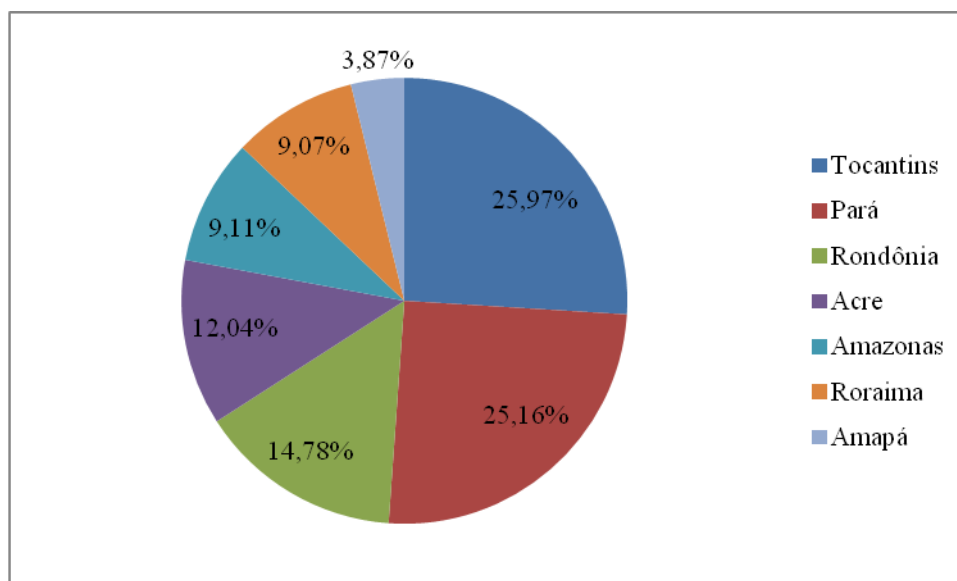
Fonte: INFRAERO (2012)

- Modal Rodoviário

O sistema de transporte rodoviário do PIM, de forma geral, é incipiente, conforme apresentado. Quando analisado detalhadamente percebe-se que mesmo rodovias consideradas asfaltadas pelos órgãos competentes, muitas vezes apresentam trechos de extrema precariedade dificultando consideravelmente o seu percurso causando maiores custos para as transportadoras que por sua vez repassam para as empresas do PIM. Porém nota-se que para aproveitar da melhor forma possível esse modal é importante se transportar uma quantidade maior de cargas, visando à redução do custo com fretes. Dessa forma, qualquer análise que busque identificar as condições das rodovias deve-se partir de dados reais adquiridas *in loco*, não se limitando apenas à informações dos bancos de dados.

Comparando o estado do Amazonas com estados vizinhos e outros também próximos do Amazonas, verifica-se que o estado responde apenas por 2% da malha rodoviária apesar de ser o maior estado da federação, como mostra a Figura 13:

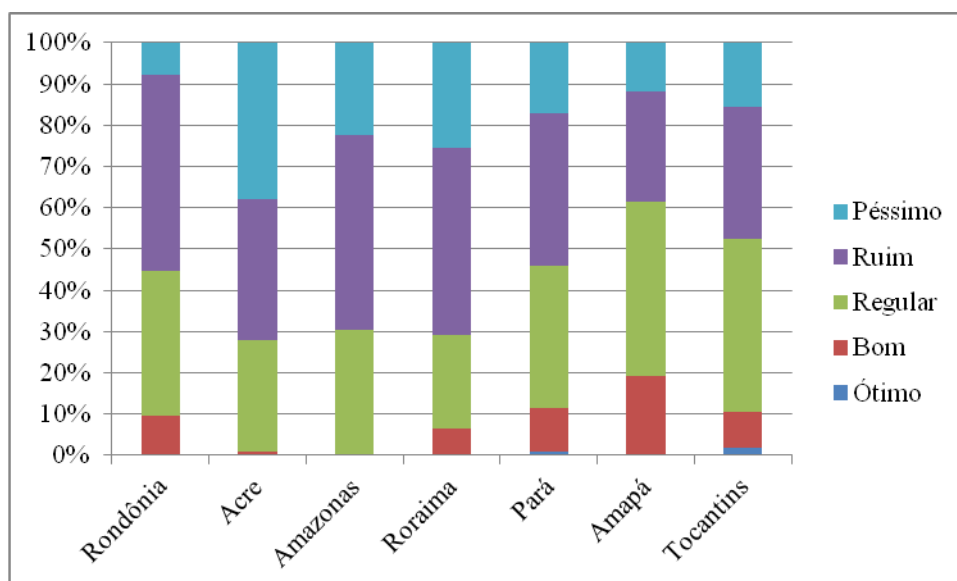
Figura 13 – Participação no Sistema rodoviário dos estados da Região Norte



Fonte: CNT (2012)

A classificação das rodovias pavimentadas também é um bom indicador que evidencia as limitações que a região enfrenta no que se refere ao transporte rodoviário; comprometendo o transporte de carga das empresas que atuam no PIM principalmente nos períodos chuvosos. O estado do Amazonas é o único dentre os estados da Região Norte que não tem rodovias conceituadas como bom ou ótimo, como mostra a Figura 14.

Figura 14 – Classificação das rodovias pavimentadas nos estados da Região Norte



Fonte: CNT (2012)

- Modal Hidroviário

Já no modal hidroviário a situação é uma das mais complexas, pois apesar da Região Amazônica ter elevadas extensões navegáveis, o maior rio em volume de água, todo esse potencial hidrográfico é subutilizado sendo pouco desenvolvido na região, apesar dos rios suportarem navios de grande calado, possui uma infraestrutura inadequada ao transporte de carga. Mesmo não utilizando todo o potencial hidroviário da região amazônica, o meio de transporte predominante, ocorre através dos rios respondendo por grande parte do fluxo de carga que chega às empresas do PIM. Apesar de grande parte dos rios já apresentarem condições naturais de navegabilidade, no período da estiagem, alguns trechos ficam comprometidos, demandando investimentos em sinalização, dragagem, monitoramento e regulação do setor.

No Quadro 10, encontra-se relacionado os principais rios do sistema Hidroviário da Amazônia que, segundo Sant'Anna (1998), num estudo financiado pelo IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, afirma que os principais rios que integram este sistema são navegáveis em grande parte de seu percurso. Eles formam a espinha dorsal que estrutura a rede viária da Amazônia.

Quadro 10 - Principais Rios da Amazônia

Principais Rios da Amazônia Ocidental		Principais Rios da Amazônia Oriental	
Amazonas, Acre, Negro, Purus, Javari, Nhamundá, Uatumã, Içá	Branco, Madeira, Juruá, Japurá, Jutai, Manicoré, Solimões, Jaú	Tapajós Xingu Jari Caxiuana	Tocantins Araguaia Trombetas Arapu

Fonte: Sant'anna (1998)

De acordo com a SUFRAMA (2003), não se pode considerar que a Amazônia tenha hidrovias que atendam o Polo Industrial, pois não existe sinalização adequada e estrutura onde haja características de hidrovias na região. O modal hidroviário deveria ser a melhor opção de transporte de carga, porém devido essas condições inadequadas, não é. O que torna essa modalidade de transportes uma das mais onerosas na região.

Para efeito de comparação agora no que diz respeito à fabricação de produtos do PIM, levando em consideração o setor de telefonia celular, o qual tem o maior percentual de exportação do PIM com uma participação de 49% em 2009 (SUFRAMA, 2010), é perceptível

a divergência dos custos anuais com infraestrutura se comparado aos México e a China, como se mostra o Quadro 11:

Quadro 11 - Comparativo dos custos anuais com infraestrutura (Milhões US\$)

Custos Anuais em Infraestrutura (Milhões US\$)			
	Brasil	México	China
Armazenagem e Manuseio	6,99	0,84	3,57
Infraestrutura	0,21	0,31	--
Seguro/Pessoal	0,94	1,05	1,5
Gerenciamento do Provedor Logístico	2,85	4,54	1,89
	10,99	6,74	6,96

Fonte: SUFRAMA (2010)

Com esta análise fica evidente o quanto essas deficiências afetam a competitividade e o desempenho das empresas do PIM que também é percebida quando se compara com as empresas do sul e sudeste do País. Nota-se que as empresas de outros estados do país, já estão trabalhando com estoque mínimo, onde na maior parte o estoque é no máximo de sete dias, enquanto que na Amazônia, em específico no Polo esse estoque é de vinte e dois dias, levando a um aumento nos custos de R\$ 40 bilhões ao ano (MANGABEIRA, 2003).

Essa deficiência na logística e na infraestrutura de transportes pode ser sentida no faturamento anual do PIM, segundo Mangabeira (2003), o custo com essa ruptura chega a ser responsável por cerca de 40% no faturamento anual. Só o tempo desperdiçado é altíssimo, novamente tomando como base o setor de telefonia celular vê-se que o Brasil apresenta um tempo considerável quando comparado com a China ou México, conforme mostrado no Quadro 12:

Quadro 12 - Desempenho Logístico no setor de telefonia celular

Variáveis	Tempo Médio (em horas úteis)		
	Brasil	México	China
Transporte Internacional	108	72	45
Manuseio	32	12	12
Desembaraço Aduaneiro	8	2	3
Armazenagem	2	2	1,5

Fonte: SUFRAMA (2010)

Todos esses problemas são recorrentes de uma superficial tomada de decisão em investimentos públicos, os planos e projetos estabelecidos para a região não condizem com a real necessidade do PIM. Como visto no PNLT, PAC, PPAs, a tomada de decisão não ocorre em conjuntos com os *stakeholders*. Que por muitas vezes, apesar de serem ouvidos tem uma grande divergência em suas avaliações e os modelos praticados podem realizar uma errônea tomada de decisão devido a dados e informações nebulosas. Precisando assim de um modelo que contemple todos os dados e informações imprecisas e as incertezas inerentes ao processo.

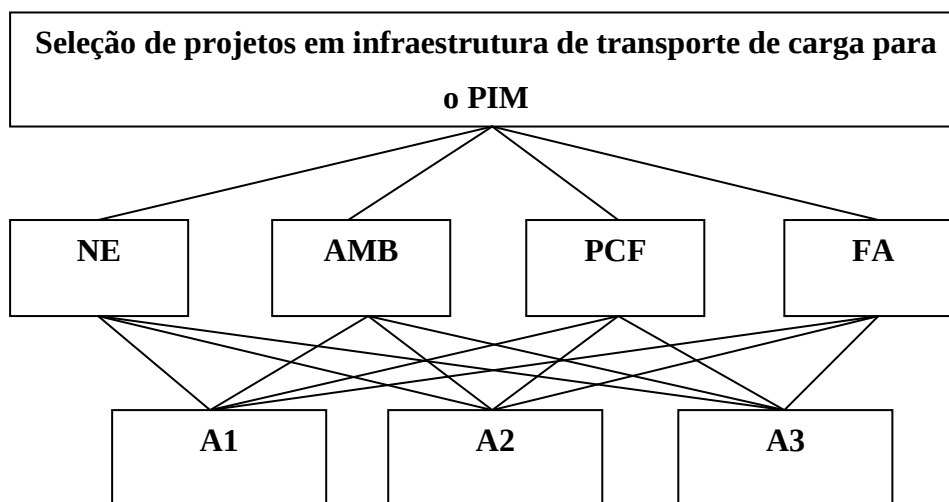
4.2 APLICAÇÃO DA AHP FUZZY NA SELEÇÃO DE PROJETOS EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DO PIM

A presente análise em como objetivo avaliar a aplicabilidade do método AHP *fuzzy*, na seleção de alternativas para atendimento das empresas do Polo Industrial de Manaus. Para tanto, como mencionado na metodologia, as alternativas, critérios e dados utilizados na simulação foram extraídos de Kuwahara (2008).

É válido ressaltar a importância da presença de gestores ou especialistas e da equipe técnica no envolvimento com o processo de tomada de decisão. Pois se tratando de uma simulação é necessário o conhecimento da metodologia na construção das matrizes de comparação, no caso utilizando o AHP *Fuzzy*. Daí a necessidade de um especialista analisar as intenções do tomador de decisão para confirmar se os valores obtidos dos cálculos dos pesos refletem essa intenção ao demonstrar coerência do julgamento.

Os critérios e alternativas adotados para a simulação passaram a compor a estrutura hierárquica da decisão conforme a Figura 15:

Figura 15 - Estrutura Hierárquica da Seleção de Projetos em infraestrutura de transporte de carga para o PIM



Fonte: Adaptado de Kuwahara (2008)

- Simulação do Modelo AHP *Fuzzy*

O modelo foi simulado obedecendo a três etapas. Na 1ª Etapa foi feita a comparação dos critérios em relação ao objetivo principal; na 2ª etapa a comparação realizada foi entre alternativas relativamente aos critérios; na 3ª etapa ocorreu a agregação dos resultados da 1ª etapa com a 2ª etapa de acordo com a equação 27 do método *Fuzzy AHP*.

- 1ª Etapa

Essa fase é composta a matriz de avaliação *fuzzy* dos critérios em relação ao objetivo principal. A partir da escala de comparação dos números *fuzzy* no Quadro 13, tem-se a matriz de comparação entre os critérios sendo considerada a relevância de um critério sobre o outro.

Quadro 13 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critérios x Objetivo Principal

MATRIZ DE AVALIAÇÃO FUZZY DOS CRITÉRIOS												
	NE			AMB			PCF			FA		
NE	1	1	1	0,67	1	1,50	1,50	2	2,50	1,50	2	2,50
AMB	0,67	1	1,5	1	1	1	0,67	1	1,50	0,67	1	1,50
PCF	0,40	0,50	0,67	0,67	1	1,50	1	1	1	0,67	1	1,50
FA	0,40	0,50	0,67	0,67	1	1,50	0,67	1	1,50	1	1	1

Fonte: Autor desta dissertação

Em seguida, os pesos dos critérios foram encontrados mediante as operações do modelo proposto AHP *fuzzy* proposto por Chang, já detalhadas no Capítulo 2 na Seção 12.

Por meio da equação 21 foi encontrado as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i):

$$S_1 = (4,67; 6; 7,50) \times (0,044776; 0,05882; 0,07614) = (0,20896; 0,35294; 0,57107)$$

$$S_2 = (3; 4; 5,50) \times (0,044776; 0,05882; 0,07614) = (0,13433; 0,23529; 0,41878)$$

$$S_3 = (2,7333; 3,5; 4,67) \times (0,044776; 0,05882; 0,07614) = (0,12239; 0,20588; 0,35533)$$

$$S_4 = (2,7333; 3,5; 4,67) \times (0,044776; 0,05882; 0,07614) = (0,12239; 0,20588; 0,35533)$$

Usando a equação 22 as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i) foram comparadas entre si:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1 \quad V(S_1 \geq S_3) = 1 \quad V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0,64074 \quad V(S_2 \geq S_3) = 1 \quad V(S_2 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0,49883 \quad V(S_3 \geq S_2) = 0,88255 \quad V(S_3 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1) = 0,49883 \quad V(S_4 \geq S_2) = 0,88255 \quad V(S_4 \geq S_3) = 1$$

Tirando o valor mínimo das comparações de cada critério com os outros vem:

$$D(C_{NE}) = V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4) = \text{MIN} (1; 1; 1) = 1$$

$$D(C_{AMB}) = V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4) = \text{MIN} (0,64074; 1; 1) = 0,64074$$

$$D(C_{PCF}) = V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4) = \text{MIN} (0,49883; 0,88255; 1) = 0,49883$$

$$D(C_{FA}) = V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3) = \text{MIN} (0,49883; 0,88255; 1) = 0,49883$$

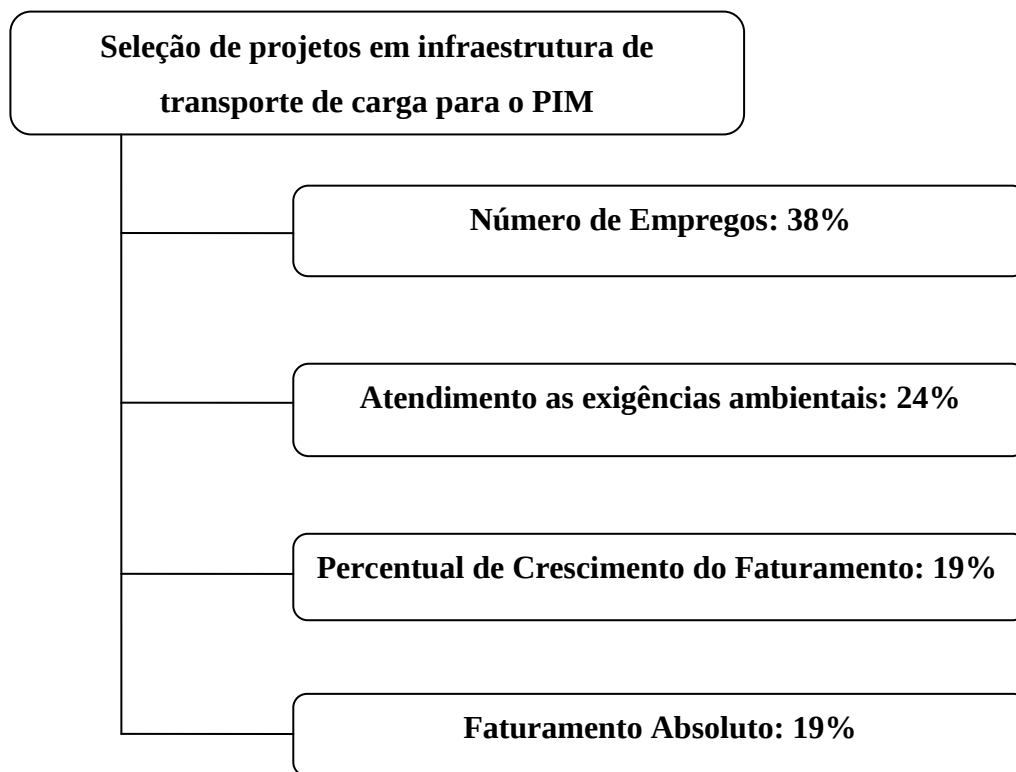
$$\text{Portanto } W' = (1; 0,64074; 0,49883; 0,49883)$$

Por meio da normalização tem-se o peso dos vetores com os respectivos critérios C_{NE} , C_{AMB} , C_{PCF} , C_{FA} :

$$W_C = (0,38; 0,24; 0,19; 0,19)$$

No resultado final da simulação da 1ª etapa, obteve-se a seguinte hierarquia conforme a Figura 16:

Figura 16 – Hierarquização dos Critérios em relação ao Objetivo Principal



Fonte: Autor desta dissertação

- 2ª Etapa

Ao dar prosseguimento no processo de tomada de decisão, as alternativas foram comparadas par a par frente a cada um dos critérios.

1) Número de Empregos - NE

No Quadro 14, tem-se a matriz de comparação das alternativas em relação ao critério NE:

Quadro 14 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério NE x Alternativas

	A1			A2			A3		
A1	1	1	1	0,49	0,6	0,82	0,6	0,85	1,77
A2	1,22	1,67	2,04	1	1	1	1,95	2,6	3,25
A3	0,56	1,18	1,67	0,31	0,38	0,51	1	1	1

Fonte: Autor desta dissertação

Por meio da equação 21 foi encontrado as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i):

$$S_1 = (2,09; 2,45; 3,59) \times (0,07657; 0,0973; 0,12297) = (0,16; 0,24; 0,44)$$

$$S_2 = (4,17; 5,27; 6,29) \times (0,07657; 0,0973; 0,12297) = (0,32; 0,51; 0,77)$$

$$S_3 = (1,87; 2,56; 3,18) \times (0,07657; 0,0973; 0,12297) = (0,14; 0,25; 0,39)$$

Usando a equação 22 as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i) foram comparadas entre si:

$$V(S_1 \geq S_2) = \mathbf{0,31} \quad V(S_1 \geq S_3) = \mathbf{0,97}$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \mathbf{1} \quad V(S_2 \geq S_3) = \mathbf{1}$$

$$V(S_3 \geq S_1) = \mathbf{1} \quad V(S_3 \geq S_2) = \mathbf{0,21}$$

Tirando o mínimo da comparação entre as alternativas no critério NE tem-se:

$$D(A_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3) = \text{MIN} (0,31; 0,97) = \mathbf{0,31}$$

$$D(A_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3) = \text{MIN} (1; 1) = \mathbf{1}$$

$$D(A_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2) = \text{MIN} (1; 0,21) = \mathbf{0,21}$$

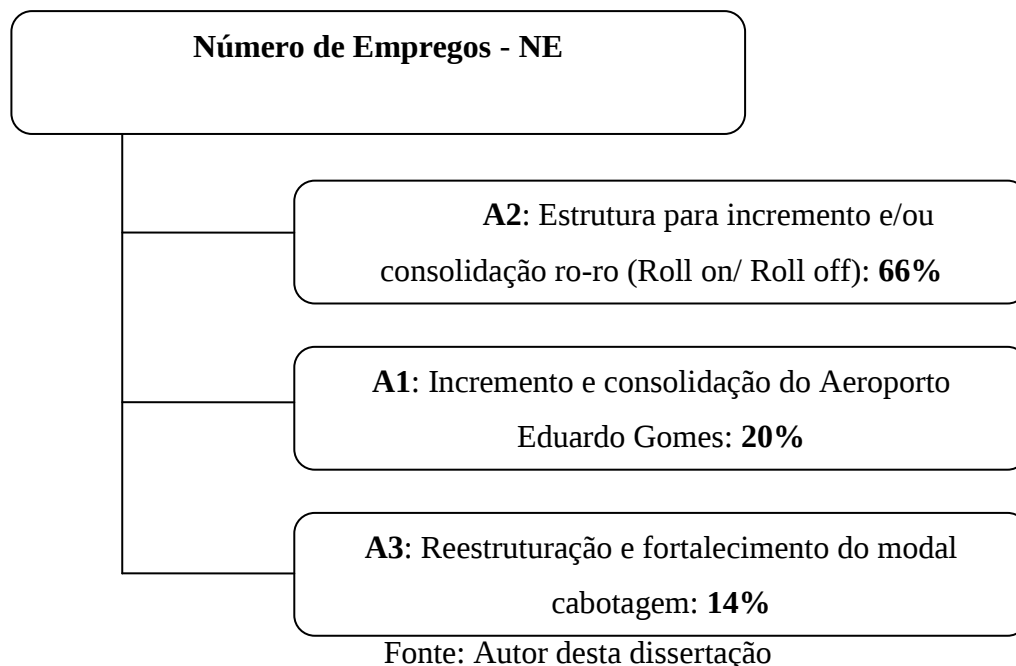
$$\text{Portanto } w' = (0,31; 1; 0,21)$$

Por meio da normalização tem-se o peso dos vetores com as respectivas alternativas A_1 , A_2 , A_3 :

$$WC = (0,20; 0,66; 0,14)$$

As alternativas em relação ao critério NE ficaram da hierarquizadas da seguinte maneira:

Figura 17 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério NE



2) Atendimento as exigências ambientais - AMB

No quadro 15, tem-se a matriz de comparação das alternativas em relação ao critério **AMB**:

Quadro 15 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério AMB x Alternativas

	A1			A2			A3		
A1	1	1	1	0,73	1	2,77	0,7	0,85	0,81
A2	0,36	1	1,37	1	1	1	2,5	3,1	3,6
A3	1,23	1,18	1,43	0,28	0,32	0,40	1	1	1

Fonte: Autor desta dissertação

Por meio da equação 21 foi encontrado as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i):

$$S_1 = (2,43; 2,85; 4,58) \times (0,07475; 0,0957; 0,11359) = (0,18; 0,27; 0,52)$$

$$S_2 = (3,86; 5,1; 5,97) \times (0,07475; 0,0957; 0,11359) = (0,29; 0,49; 0,68)$$

$$S_3 = (2,51; 2,50; 2,83) \times (0,07475; 0,0957; 0,11359) = (0,19; 0,24; 0,32)$$

Usando a equação 22 as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i) foram comparadas entre si:

$$V(S_1 \geq S_2) = 0,52 \quad V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1 \quad V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = \mathbf{0,81} \quad V(S_3 \geq S_2) = \mathbf{0,12}$$

Tirando o mínimo da comparação entre as alternativas no critério AMB tem-se:

$$D(A_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3) = \text{MIN} (0,52; 1) = \mathbf{0,52}$$

$$D(A_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3) = \text{MIN} (1; 1) = \mathbf{1}$$

$$D(A_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2) = \text{MIN} (0,81; 0,12) = \mathbf{0,12}$$

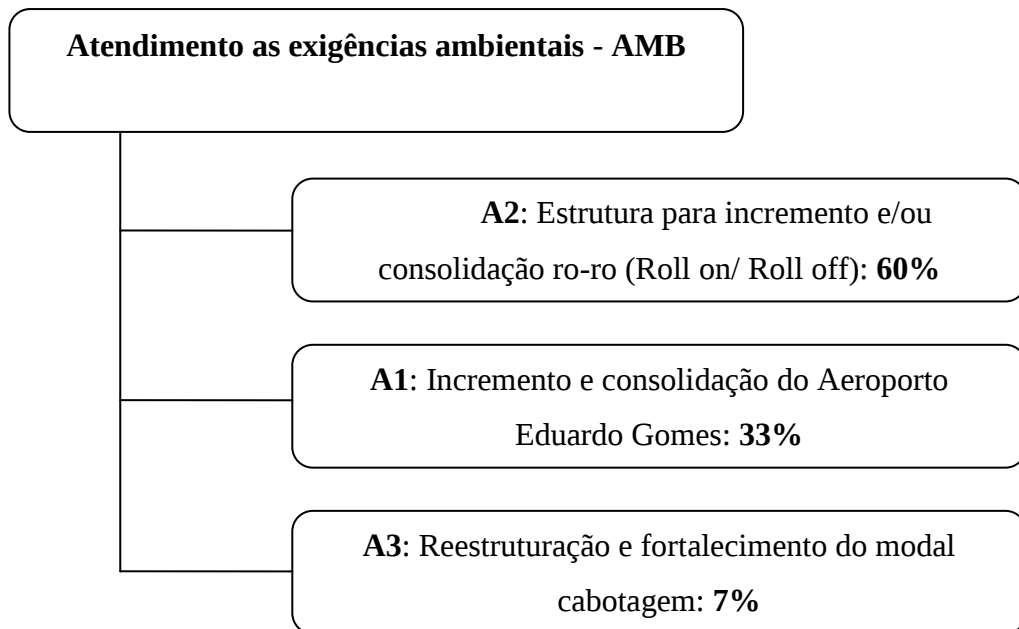
$$\text{Portanto } w' = (0,52; 1; 0,12)$$

Por meio da normalização tem-se o peso dos vetores com as respectivas alternativas A1, A2, A3:

$$WC = (0,33; 0,60; 0,07)$$

As alternativas em relação ao critério AMB ficaram da hierarquizadas segundo a Figura 18:

Figura 18 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério AMB



Fonte: Autor desta dissertação

3) Percentual de Crescimento do Faturamento - PCF

No Quadro 16, tem-se a matriz de comparação das alternativas em relação ao critério PCF:

Quadro 16 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério PCF x Alternativas

	A1			A2			A3		
A1	1	1	1	0,75	1	2,1	0,62	0,85	1,49
A2	0,48	1	1,33	1	1	1	1,9	2,6	3,3
A3	0,67	1,18	1,61	0,30	0,38	0,53	1	1	1

Fonte: Autor desta dissertação

Por meio da equação 21 foi encontrado as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i):

$$S_1 = (2,37; 2,85; 4,59) \times (0,07484; 0,09989; 0,12953) = (0,18; 0,28; 0,59)$$

$$S_2 = (3,38; 4,60; 5,63) \times (0,07484; 0,09989; 0,12953) = (0,25; 0,46; 0,73)$$

$$S_3 = (1,97; 2,56; 3,14) \times (0,07484; 0,09989; 0,12953) = (0,15; 0,26; 0,41)$$

Usando a equação 22 as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i) foram comparadas entre si:

$$V(S_1 \geq S_2) = \mathbf{0,66} \quad V(S_1 \geq S_3) = \mathbf{1}$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \mathbf{1} \quad V(S_2 \geq S_3) = \mathbf{1}$$

$$V(S_3 \geq S_1) = \mathbf{0,89} \quad V(S_3 \geq S_2) = \mathbf{0,43}$$

Tirando o mínimo da comparação entre as alternativas no critério PCF tem-se:

$$D(A_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3) = \text{MIN} (0,66; 1) = 0,66$$

$$D(A_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3) = \text{MIN} (1, 1) = 1$$

$$D(A_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2) = \text{MIN} (0,89; 0,43) = 0,43$$

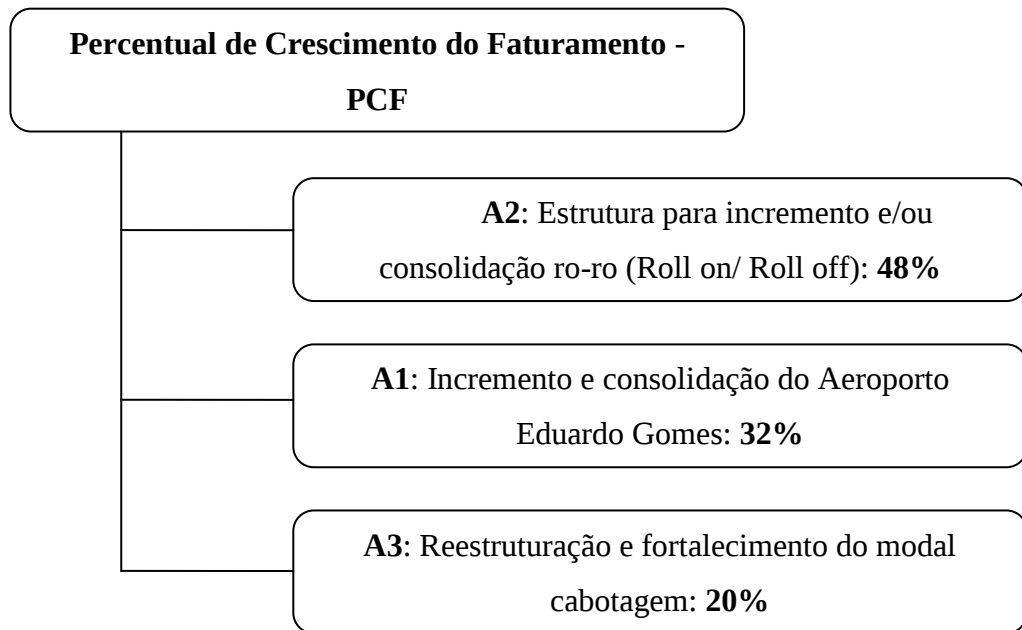
$$\text{Portanto } w' = (0,66; 1; 0,43)$$

Por meio da normalização tem-se o peso dos vetores com as respectivas alternativas A1, A2, A3:

WC = (0,32; 0,48; 0,20)

As alternativas em relação ao critério PCF ficaram hierarquizadas conforme a Figura 19:

Figura 19 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério PCF



Fonte: Autor desta dissertação

4) Faturamento Absoluto - FA

No Quadro 17, tem-se a matriz de comparação das alternativas em relação ao critério FA:

Quadro 17 - Matriz de Avaliação Fuzzy - Critério FA x Alternativas

	A1			A2			A3		
A1	1	1	1	0,49	0,85	1,8	0,43	0,51	0,72
A2	0,56	1,18	2,04	1	1	1	1	1,6	2,2
A3	1,39	1,96	2,33	0,45	0,63	1	1	1	1

Fonte: Autor desta dissertação

Por meio da equação 21 foi encontrado as Medidas Sintéticas Fuzzy (S_i):

$$S_1 = (1,92; 2,36; 3,52) \times (0,07642; 0,10286; 0,13663) = (0,15; 0,24; 0,48)$$

$$S_2 = (2,56; 3,78; 5,24) \times (0,07642; 0,10286; 0,13663) = (0,20; 0,39; 0,72)$$

$$S_3 = (2,84; 3,59; 4,33) \times (0,07642; 0,10286; 0,13663) = (0,22; 0,37; 0,59)$$

Usando a equação 22 as Medidas Sintéticas *Fuzzy* (S_i) foram comparadas entre si:

$$V(S_1 \geq S_2) = \mathbf{0,66} \quad V(S_1 \geq S_3) = \mathbf{0,68}$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \mathbf{1} \quad V(S_2 \geq S_3) = \mathbf{1}$$

$$V(S_3 \geq S_1) = \mathbf{1} \quad V(S_3 \geq S_2) = \mathbf{0,95}$$

Tirando o mínimo da comparação entre as alternativas no critério FA tem-se:

$$D(A_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3) = \text{MIN} (0,66; 0,68) = \mathbf{0,66}$$

$$D(A_2) = V(S_2 \geq S_1, S_3) = \text{MIN} (1; 1) = \mathbf{1}$$

$$D(A_3) = V(S_3 \geq S_1, S_2) = \text{MIN} (1; 0,95) = \mathbf{0,95}$$

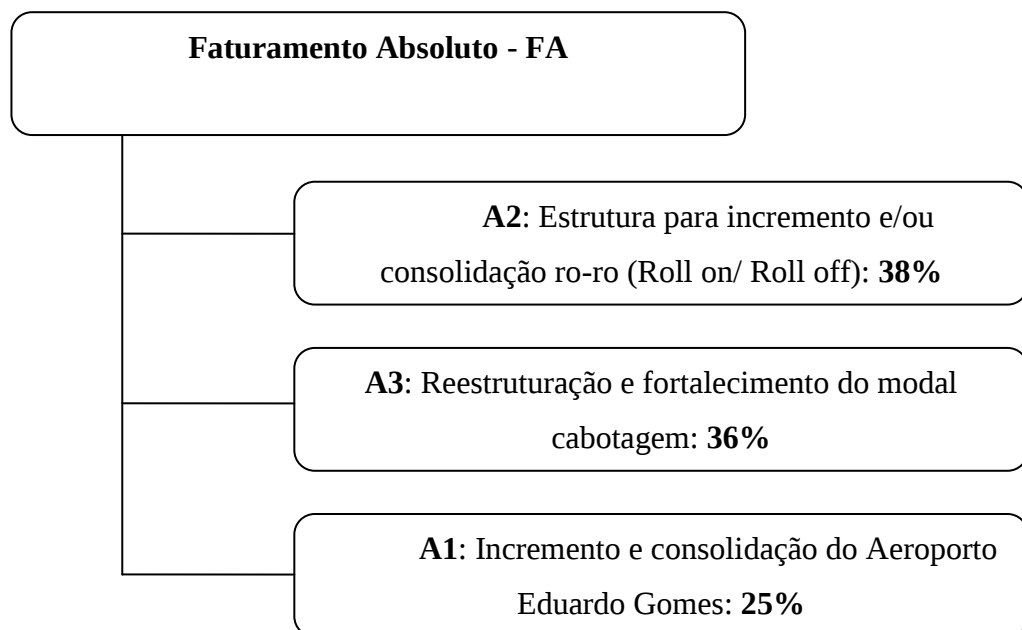
$$\text{Portanto } w' = (0,66; 1; 0,95)$$

Por meio da normalização tem-se o peso dos vetores com as respectivas alternativas A_1 , A_2 , A_3 :

$$WC = (0,25; 0,38; 0,36)$$

As alternativas em relação ao critério FA ficaram hierarquizadas de acordo com a Figura 20:

Figura 20 – Hierarquização das Alternativas em relação ao Critério FA



Fonte: Autor desta dissertação

- 3º Etapa

Na última etapa, para obtenção do resultado final da simulação é realizada a multiplicação do resultado percentual das alternativas em relação aos critérios com o resultado percentual dos critérios frente à meta principal:

	A1	A2	A3		W _C
C1	0,20	0,66	0,14	X	0,38
C2	0,32	0,60	0,07	X	0,24
C3	0,32	0,48	0,21	X	0,19
C4	0,25	0,38	0,36	X	0,19

Por meio da equação 27 vem:

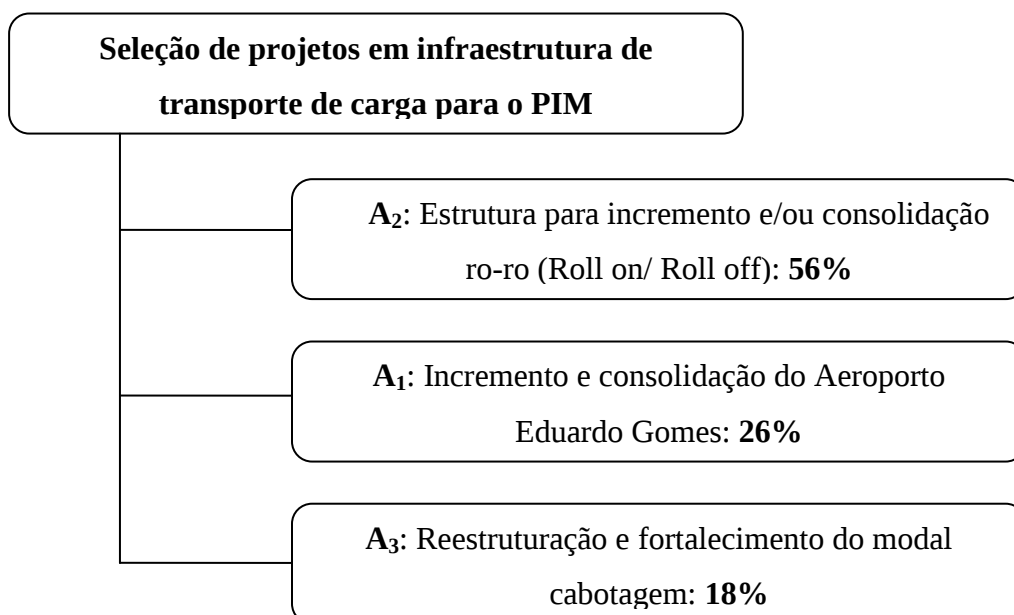
A ₁	0,07752	0,078	0,06004	0,04807
A ₂	0,25004	0,14472	0,09082	0,07277
A ₃	0,05244	0,01728	0,03914	0,06916

Com a adição de cada alternativa obteve-se os seguintes valores:

A ₁	0,26
A ₂	0,56
A ₃	0,18

E por fim os valores percentuais de cada alternativa frente ao principal objetivo (Figura 21):

Figura 21 – Hierarquização final das Alternativas



Fonte: Autor desta dissertação

O resultado da simulação no que se refere aos critérios mostra que há a preferência das empresas em alternativas em que há maior capacidade de geração de empregos, como visto o critério NE ficou em primeiro na hierarquização dos critérios apresentados na simulação do modelo com 38%. Logo em seguida vem o critério foi o Ambiental - AMB com 24% e por fim, os critérios, percentual de crescimento do faturamento - PCF e o faturamento absoluto - FA ficaram com 19% cada.

Com o resultado final da simulação do modelo verificou-se que os projetos priorizados pelo mesmo não estão consoantes aos apresentados pelos modelos políticos de investimentos, como o PAC e PNLT. Pois apesar do PIM apresentar necessidade de boa infraestrutura viária, portuária e aeroportuária, analisando os planos se verifica que não há uma posição concreta mediante a decisão de melhorar a infraestrutura de transporte da região que venha atender de forma satisfatória a demanda das empresas do PIM.

Como exemplo, o PIM necessita de um novo terminal de carga no Aeroporto Eduardo Gomes, tendo em vista que o mesmo opera no limite da capacidade, e a implantação de um *hub* no Aeroporto facilitaria o transporte de produtos manufaturados do PIM. O PIM também é carente de um novo porto industrial em curto prazo. Porém, a construção de um novo terminal de carga aeroportuário e a implantação de um *hub* e a construção de um novo porto industrial não se fizeram presentes no planejamento do PNLT do período 2008/2011, logo essas demandas não deverão ser atendidas em curto prazo. No período de 2012/2015 existem algumas provisões que estas demandas venham ser atendidas, porém são modestas. Apenas no período pós 2015 há previsões para o atendimento dos projetos hierarquizados na tomada de decisão do presente trabalho.

Dessa forma verificou-se que apesar da infraestrutura de transportes necessitar de urgentes intervenções, os projetos elencados na simulação só serão atendidos em longo prazo.

Portanto, com esta análise o modelo *AHP Fuzzy* mostrou-se factível e aplicável à região tendo em vista a absorção das características de incerteza e imprecisão do cenário em questão e por também não estarem coerentes com os planos já priorizados pelo Planejamento do Plano Nacional de Logística.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DO MÉTODO AHP SAATY E AHP FUZZY

De acordo com Özdağoğlu & Özdağoğlu (2007) a metodologia *AHP Fuzzy* pode ser visto como um método avançado na análise desenvolvido a partir do AHP Saaty. Apesar da conveniência da AHP Saaty na manipulação de critérios quantitativos e qualitativos multicriteriais na tomada de decisão, a imprecisão e indefinição em muitas tomadas de decisões podem contribuir para julgamentos imprecisos com as abordagens convencionais. O estudo e a aplicação do método *AHP fuzzy* mostra que o mesmo é eficiente e eficaz em tomada de decisão, onde a imprecisão e dados nebulosos se fazem presentes.

Em sistemas complexos, as experiências e julgamentos de seres humanos são representados por padrões linguísticos. A representação linguística pode ser eficientemente melhor se representada por dados quantitativos, e estes por sua vez em dados *fuzzy* por meio da avaliação da teoria dos conjuntos *fuzzy*. Em contrapartida o Método AHP Saaty utiliza na tomada de decisão dados quase crisp ou quase crisp, lidando com uma escala de julgamento muito desequilibrada. Principalmente por não levar em conta a incerteza inerente ao ambiente de tomada de decisão. O julgamento do subjetivo a preferência dos *stakeholders* tem grande influência sobre o sucesso do método, além da AHP Saaty poder ainda não traduzir o pensamento humano. Com base nesta característica pertencente ao AHP Saaty, o *AHP Fuzzy*, surgiu para suprir essa deficiência do método tradicional.

O *AHP Fuzzy* utiliza a operação de intersecção para avaliar os resultados da comparação. Apesar de na aplicação do método *fuzzy* para o PIM, não ter critérios avaliados com o resultado zero, algumas vezes o resultado desta comparação por intersecção pode ter esse valor, significando que tal critério não tem importância alguma. Com isso surge a pergunta? Esse critério é realmente importante na tomada de decisão? Isso deriva da lógica *fuzzy*, pois se um critério se comparado a outros não tem importância então relativamente o peso de tal critério é zero.

Já o método AHP Saaty, por trabalhar com valores determinísticos não permite critérios terem “peso zero”, sendo assim o resultado de um critério fosse avaliado como menos importantes mais que os outros, o resultado numérico deste critério seria perto de zero, podendo o peso descer até 0,01 significando que este critério não tem tanta importância na tomada de decisão em questão.

Nesse ponto o AHP *fuzzy*, deixa de lado o critério que é minimamente importante, enquanto que o AHP Saaty usa este mesmo critério com um peso muito pequeno. Isso é uma vantagem ao AHP *fuzzy*, pois não há diferença entre a existência ou não de tal critério, portanto concentra-se nos critérios mais importantes.

Ao fazer uma análise comparativa dos resultados finais dos dois modelos, verifica-se que o método AHP *Fuzzy* com a inserção dos números *fuzzy* triangulares, incorporou de forma eficiente as incertezas presentes no PIM, como mostra a Tabela 2:

Tabela 2 – AHP Saaty x AHP *Fuzzy*

AHP SAATY	AHP FUZZY
1) Incremento e consolidação do Aeroporto Eduardo Gomes	1) Estrutura para incremento e/ou consolidação ro-ro (Roll on/ Roll off)
2) Estrutura para incremento e/ou consolidação ro-ro (Roll on/ Roll off)	2) Incremento e consolidação do Aeroporto Eduardo Gomes
3) Reestruturação e fortalecimento do modal cabotagem	3) Reestruturação e fortalecimento do modal cabotagem

Fonte: Autor desta dissertação

Ao levar em consideração a imprecisão e a indefinição verifica-se a mudança na hierarquia das duas primeiras alternativas. Pode-se observar que a alternativa que ficou em 1º lugar na hierarquia, foi a do meio de transportes mais utilizado pelo Polo Industrial na logística de entrada de insumos e saídas de produtos acabados, ao passo que a mesma alternativa encontra-se na 2ª posição hierárquica do resultado final do modelo AHP Saaty. O objetivo principal deste trabalho é avaliar a aplicação do Método AHP *Fuzzy* como suporte à tomada de decisão em projetos de infraestrutura de transporte de carga no PIM, porém mesmo com este resultado preliminar, o Método AHP *Fuzzy* está mais coerente com a realidade do PIM.

É de suma importância deixar claro que o AHP Saaty e o AHP *Fuzzy* não são concorrentes. O importante é estabelecer quando devem ser usados, por exemplo, se as informações e dados são certos e não existe imprecisão no cenário, o AHP Saaty deve ser escolhido para a tomada de decisão, caso os dados e informações não sejam certos e a incerteza está presente no ambiente, como é o caso do PIM, é aconselhável a utilização do AHP *fuzzy*.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Na introdução deste trabalho foi estabelecido como objetivo geral avaliar a aplicação do Método AHP *Fuzzy* no processo de tomada de decisão em projetos de infraestrutura de transportes para o PIM, onde procurou-se responder as seguintes perguntas problematizadoras: Existem ferramentas técnicas que auxiliam no processo de definição dos investimentos em infraestrutura de transportes no Amazonas? Qual o modelo mais adequado para o problema discutido?

Neste sentido, pôde-se verificar o grande impacto e influência que a infraestrutura de transporte tem na logística e no desenvolvimento socioeconômico de uma região. Neste mesmo capítulo fez-se o estudo da infraestrutura de transporte do Brasil e do Amazonas, e também das políticas públicas adotadas no Brasil e em alguns países do mundo, no que se refere à seleção de projetos em infraestrutura de transporte. O estudo mostrou que a logística e infraestrutura de transporte tanto do Brasil como do Amazonas encontram-se inadequadas e ineficientes. Os projetos contidos nos planos não mostram coerência com a realidade local, deixando evidente a ampla necessidade de ferramentas adequadas para que a tomada de decisão seja feita de maneira satisfatória.

No estudo dos métodos de tomada de decisão foi evidenciado o Método AHP *fuzzy* e as diversas experiências da aplicação de diversos autores. O estudo mostrou que o Método AHP *Fuzzy*, uma versão do AHP tradicional, visa modelar levando em consideração as incertezas e dados imprecisos por meio da aplicação de números *Fuzzy* Triangulares, onde esses números carregam a imprecisão e a incerteza contida no processo de tomada de decisão, pôde-se verificar a ampla aplicabilidade por meio da experiência de diversos autores, como por exemplo, Li & Wang (2010) que utilizou o método para selecionar o modelo de decisão para financiamentos de projetos de infraestrutura.

No que diz respeito a análise da infraestrutura de transporte de carga que atende o PIM, o presente trabalho mostrou que a infraestrutura de transporte são insuficientes e muitas encontram-se em péssimo estado de conservação, causando um impacto negativo no desempenho econômico do PIM. Verificou-se que a inexistência de uma logística integrada e

uma infraestrutura de transportes adequada capaz de contrapor as limitações da localização do PIM representa um grande risco a competitividade e desempenho do Polo Industrial de Manaus. Exemplo deste risco, foi citado na página 79, onde o setor de telefonia celular, apresenta um custo de quase 70% maior que o custo de infraestrutura realizado no México e na China que também são fabricantes do mesmo produto, apresentando também um alto custo com manuseio e armazenagem nos terminais de carga do PIM.

No que se refere a aplicação do modelo *fuzzy* para o PIM, a análise e simulação dos critérios e alternativas mostrou-se eficiente. Mesmo com dados obtidos apenas na tese de Nelson Kuwahara (2008), mostrou-se satisfatório, pois o resultado da simulação do modelo apresentou-se coerente com as reais necessidades verificadas das principais empresas exportadoras do PIM.

O resultado do modelo evidencia a necessidade de investimentos em projetos de infraestrutura que atendam de fato o PIM, pois o projeto priorizado nesta análise o modal rodoviário é o mais utilizado como meio de transporte para exportação e provavelmente é de consenso entre as partes interessadas. O resultado mostra o contraste das prioridades de investimentos dos Planos do Governo para o Estado do Amazonas, em específico, projetos de infraestrutura que atenda o PIM, exemplo disso é necessidade em curto prazo da ampliação e implantação de um *hub* no aeroporto Eduardo Gomes, mas o projeto não se fez presente no Plano Nacional de Logística do período 2008/2011 e, somente existe alguma previsão para o período 2012/2015.

5.1 CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO

- O trabalho deixa evidente a importância de um método para tomada de decisão em projetos de infraestrutura de transporte que atendam o PIM, considerando as incertezas e imprecisões;
- Também deixa claro que o modelo AHP *Fuzzy* escolhido para aplicação do modelo de tomada de decisão é de fácil entendimento, flexível e robusto, pois é apropriado para tolerar os dados imprecisos e informações nebulosas e possibilita a modelagem de funções não-lineares e pode ser utilizada para absorver o capital intelectual dos analistas e decisores;
- O trabalho expõe as dificuldades que as empresas do PIM enfrentam com a

infraestrutura de transporte de carga da região e demonstra a difícil tarefa de equacionar as soluções para resolver o problema. Apontando que que muitas soluções poderão advir por meio de medidas simples, como a utilização do método adequado a tomada de decisão que contribua na redução dos custos melhorando no desempenho das empresas;

- O resultado da aplicação mostra a preocupação das empresas no atendimento de investimentos nos modais de maior utilização pelos mesmos nas exportações. Tomando com exemplo as alternativas que ficaram hierarquizadas, vê-se que há uma preocupação dos gestores da empresas por projetos de investimentos que priorizem o modal ro-ro, ficando com um percentual duas vezes maior do que as alternativas concorrentes.
- E por fim o trabalho demonstra que os métodos AHP *Fuzzy* e o AHP tradicional não são concorrentes, pois o importante é estabelecer quando devem ser usados. Por exemplo, se as informações e dados são certos e não existe imprecisão no cenário, o AHP tradicional deve ser escolhido para a tomada de decisão, caso os dados e informações não sejam certas e a incerteza está presente no ambiente, como é o caso do PIM é aconselhável a utilização do AHP *fuzzy*.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar do trabalho mostrar com sucesso a aplicabilidade do método AHP *Fuzzy* com dados e informações obtidas apenas no modelo AHP tradicional aplicado por Kuwahara (2008), recomenda-se:

- Em um trabalho mais abrangente, a aplicação de questionário com os principais atores envolvidos diretamente na decisão para uma tomada de decisão mais consistente;
- A aplicação também do método, não só de forma mais abrangente ao PIM, mas também para todo estado do Amazonas, pois o Estado também sofre com as divergências das tomadas de decisão dos planos e políticas públicas para investimentos em projetos de infraestrutura de transportes;

- Em trabalhos posteriores, a utilização de *software* específico para tomada de decisão, afim de possibilitar uma análise de sensibilidade entre os critérios e alternativas de investimentos em infraestrutura de transporte, e também porque esta ferramenta torna-se essencial no suporte a busca de melhores projetos em infraestrutura de transporte priorizados pelo PIM.

Sem dúvida, este trabalho talvez seja o ponto inicial para futuros estudos, principalmente por ainda ser incipiente o esboço de aplicações do método AHP *Fuzzy* em cenários públicos. Certamente, o modelo passará por decisões e avaliações entre as empresas do Polo Industrial de Manaus e órgãos da sociedade, na busca de um consenso em relação a melhor tomada de decisão em projetos de infraestrutura de transporte de carga para o PIM e consequentemente contribuir pra o desenvolvimento socioeconômico do Estado do Amazonas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Leonor Farias; BARON, Guilherme Daudt; SILVA, Vanina Macowski Durski; ROSA, Hobed; COELHO, Antônio Sérgio. *Panorama dos planos estratégicos de investimentos em infra-estrutura de transporte e logística para a Amazônia*. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 28, 2008, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos...Rio de Janeiro: ABEPRO. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_075_530_1103.pdf>. Acesso em 13 de Maio de 2011.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira. *A Utilização de Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão*. In: Aplicações com Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão. Editora Universitária UFPE, Recife, p.1-19: 2003.
- BALLI, Serkan; KORUKOĞLU, Serdar. *Operating System Selection Using Fuzzy AHP And Topsis Methods*. Mathematical and Computational Applications, Vol. 14, N. 2, p. 119-130; 2009. Disponível em: <http://asr.org.tr/>: Acesso em 10 de Setembro de 2011.
- BALLOU, Ronaldo H. *Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física*. Editora Atlas, São Paulo, SP: 2008.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDS. *Transportes na Amazônia*. Informe infraestrutura. Área de projetos de infraestrutura, n.22.1998.
- BARAT, Josef. *Logística, transporte e desenvolvimento econômico: a visão macroeconômica*. Vol. III. Editora CLA, São Paulo, SP: 2007.
- BARIN, Alexandre; CANHA, Luciane Neves; MAGNAGO, Karine Faverzani; ABAÍDE, Alzenira da Rosa. *Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na Lógica Fuzzy*. Revista Controle e Automação, v. 21 p. 477-486: 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/>. Acesso em 30 de Novembro de 2011.
- BATISTA, Eliezer. *Reordenando as peças da logística nacional*. Revista Custo Brasil, ano I, nº 3 – jun/jul 2006.
- BEVILACQUA, Maurizio; D'AMORE, Antonio; POLONARA, Fabio. "A Multi-Criteria Decision Approach to Choosing The Optimal Blanching-Freezing System", Journal of Food Engineering: Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>: 2004. Acesso em 03 de Setembro de 2011.
- BOWERSOX, Donald J; CLOSS, David J. *Logística Empresarial: O processo de Integração da Cadeia de Suprimento*. (1ª Ed.) – 5ª reimpr. Editora Atlas, São Paulo, SP: 2007.

BOTELHO, Antônio José. *Projeto ZFM: Vetor de Interiorização Ampliado*, Manaus, AM: 2001.

BRAZ, Márcio Alexandre de Lima. *Logística militar e o serviço de intendência: Uma análise do programa excelência gerencial do Exército brasileiro*. Dissertação de Mestrado da Escola Brasileira de Administração Pública e Empresas da Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, RJ: 2004.

CAIXETA-FILHO, José Vicente; MARTINS, Ricardo Silveira. *Logística, Transporte de Carga, Tomada de Decisão em Investimentos*. (1ª Ed.). Editora Atlas, São Paulo, SP: 2001.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. *Metodologia Científica*. Makron Books, São Paulo, SP: 1996.

CHANG, Dan Young. *Applications of The Extent Analysis Method on Fuzzy- AHP*. European Journal of Operational Research, Vol. 95, p. 649-655: 1996. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>. Acesso em 02 de Setembro de 2011.

CHENG, C. H., YANG, K. L., & WANG, C. L. *Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight*. European Journal of Operational Research, Vol. 116, p. 423-435, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>. Acesso em 03 de Setembro de 2011.

Confederação Nacional de Transportes – CNT. *Relatório Completo de Rodovias - 2012*. Disponível em: [http:// www.cnt.org.br](http://www.cnt.org.br). Acesso em 20 de Janeiro de 2013.

Confederação Nacional de Transportes – CNT. *Relatório Plano CNT de Logística: Brasil - 2012*. Disponível em: [http:// www.cnt.org.br](http://www.cnt.org.br): Acesso em 20 de Janeiro de 2013.

Confederação Nacional de Transportes – CNT / Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração - COPPEAD. *Transporte de Cargas no Brasil - Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País*. Centro de Estudos em Logística: Rio de Janeiro, RJ: 2002.

CHRISTOPHER, Martin. *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços*. Ed. Pioneira, São Paulo, SP: 1997.

ERHART, Sabrina; PALMEIRA, Eduardo Mauch. Análise do setor de transportes. *Observatório de la Economía Latinoamericana: Revista académica de economía*, n.71, p. 1-6: 2006. Acesso em 30 de Agosto de 2009.

FENLEY, Cláudio Augusto. *Aviação e desenvolvimento sustentável do Amazonas*. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ: 2007.

FONTANA, A.M; AGUIAR. *Logística, Transporte e Adequação Ambiental*. In: Gestão Logística do Transporte de Cargas/ José Vicente Caixeta-Filho e Ricardo Silveira Martins

(organizadores). 1. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2001.

GARCIA, Ronaldo Coutinho. *Reorganização do processo do planejamento do Governo Federal: O PPA 2000-2003*. Texto para discussão n. 726. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Brasília, 2000.

GIL, Antônio. Carlos. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 3. ed. São Paulo, Atlas, 1991.

GOMES, Hugo Miguel Oliveira. *Identificação e Análise dos critérios de decisão na escolha de transporte de carga das indústrias do PIM*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Faculdade de Estudos Sociais na Universidade Federal do Amazonas. Manaus, AM: 2009.

GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro; GOMES, Carlos Francisco Simões; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. (1ª Ed.). Editora Atlas, São Paulo, SP: 2002.

GOMIDE, Fernando A. C; GUDWIN, Ricardo R; TANSCHKEIT, Ricardo. *Conceitos Fundamentais da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e suas Aplicações*. (6ª IFSA Congress – Tutorials. São Paulo, SP, 1995.

Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO. *Boletim Logístico-B logis: Caderno de Movimentação – Dezembro 2012*. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/movimentacao-das-cargas/boletins-estatisticos.html>. Acesso em 11 de Março de 2013.

JARDIM, Sérgio Brião. *Aplicabilidade de Algumas Técnicas de Análise Multiobjetivo ao Processo Decisório no Âmbito de Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica*. Dissertação do Programa de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS: 1999.

JUNG, Carlos Fernando. *Metodologia para Pesquisa e Desenvolvimento: Aplicada a novas tecnologias, produtos e processos*. Axcel Books, Rio de Janeiro, RJ: 2004.

KAUFMANN, Arnold; GUPTA Madan M. *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, North Holland, Amsterdam: 1988.

KUWAHARA, Nelson. *Planejamento Integrado do Setor de Transporte de Carga na Amazônia: Metodologia de Análise e Hierarquização de Alternativas de Investimentos em Infra-Estrutura de Transportes*. Tese de Doutorado do Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ: 2008.

KUWAHARA, Nelson; MACHADO, Waltair Vieira; SANTOS, Márcio Peixoto de Sequeira. *Tomada de Decisão em Investimentos de Infra-Estruturas de Transportes: Estudo de Caso para o Pólo Industrial de Manaus*. Artigo apresentado no XXII Congresso de Pesquisa e

Ensino em Transportes, ANPET, Fortaleza, CE: 2008.

LAARHOVEN, P.J.M; PEDRYCZ, W. *A fuzzy extension of Saaty's priority theory*, *Fuzzy Sets and Systems*. Fuzzy Sets and Systems Vol.11 (1-3) p. 229–241: 1983. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/> Acesso em 14 de Agosto de 2011.

LI, Xiang Hua; WANG, Meng Jun. *Fuzzy AHP-based Decision Model for Infrastructure Project Financing*. Computer Application and System Modeling (ICCASM), Conferência International, vol.12, p.310-314; 2010.

LINHARES, Carla Guarino; GUSSEN, Clarissa Taciana Gabriel; RIBAS, José Roberto. *O método fuzzy ahp aplicado à análise de riscos de usinas Hidrelétricas em fase de construção*. Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa & Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – CLAIO – SBPO, Rio de Janeiro, RJ: 2012.

MANGABEIRA, Lorenzo. *Os Desafios Logísticos na Amazônia*. Disponível em: http://www.komintl.com/pub/eng/WPapers/reprints/200311_tocantins.: 2003. Acesso em 24 de Maio de 2009.

MEDAGLIA, Andrés L; HUETH, Darrel; MENDIETA, Juan Carlos; SEFAIR, Jorge A. *A Multiobjective Model for the Selection and Timing of Public Enterprise Projects*. Socio-Economic Planning Sciences, v. 42, n. 1, p. 31-45: 2008. Acesso em 14 de Julho de 2009.

MELO, Michele Nascimento. *Mapeamento Difuso no Auxílio da Redução dos Impactos Ambientais em uma Usina Hidrelétrica*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI. Itajubá, MG: 2009.

MENDEL, Jerry M. *Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial*. In: Proceedings of the IEE, v.83, n.3; 1995.

Ministério dos Transportes - MT, Ministério da Defesa - MD. Plano Nacional de Logística e Transportes. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/>: 2010.

NAKAMURA, H. *The economic evaluation of the transport infrastructure: Needs for international comparisons*. Transport Policy Vol. 7, p.3-6: 2000. Disponível em: www.elsevier.com/locate/tranpol; Acesso em 20 de Setembro de 2011.

NICOLETTI, Maria do Carmo & CAMARGO, Heloisa de A. *Fundamentos da Teoria de Conjuntos Fuzzy*., EdUFSCar, São Paulo, SP 2004.

NOGUEIRA, Claudino Lobo; MACHADO, Waltair Vieira. *Logística: um desafio a competitividade ao Pólo industrial de Manaus*. Artigo apresentado no Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, Florianópolis, SC: 2004.

NOVAES, Antonio Galvão *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: Estratégia*,

Operação e Avaliação. 3ª ed. rev. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ: 2007

OLIVEIRA, Fabiana Lucena. *Estratégias Logísticas de Transporte Aplicadas a Pólos Econômicos Regionais: uma abordagem exploratória sobre o Pólo Industrial de Manaus (PIM)*. In: Estudos de Transporte e Logística na Amazônia. Novo Tempo: Manaus, AM: 2006.

ÖZDAĞOĞLU, Aşkın; ÖZDAĞOĞLU, Güzin. *Comparison Of Ahp And Fuzzy Ahp For The Multicriteria Decision Making Processes With Linguistic Evaluations*. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl; p. 65-85: 2007. Disponível em: <http://www.iticu.edu.tr/uploads/Kutuphane/dergi/f11/M00178.pdf>. Acesso em 03 de Setembro de 2011.

PASSOS, Paulo Sérgio. *Plano Nacional de Logística de Transportes*. Ministério dos Transportes: 2007 Disponível em: www.pnlt.gov.br.

Plano de Aceleração de Crescimento – PAC. *Cartilha Estadual - Amazonas (6º Balanço PAC 2/outubro-dezembro 2012 - ano 2)*. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac/publicacoesregionais>; Acesso em 22 de Outubro de 2012.

PORTAL BRASIL. *Investimentos em infraestrutura para o desenvolvimento Econômico e Social. Programa de Aceleração do Crescimento – PAC*. Disponível em: www.brasil.gov.br. Acesso em 06 de Janeiro de 2012.

PORTUGAL, Licínio da Silva. *O Conhecimento e o Planejamento dos Transportes para uma Amazônia Sustentável*. In: Estudos de Transporte e Logística na Amazônia. Editora Novo Tempo, Manaus, p. 09-32: 2006.

RABANNI, Simin J. R. e RABANNI, Soheil R. *Decisions in transportation with the analytic hierarchy process*. UFPB/CCT, Campina Grande, 1996.

RODRIGUES, Rafael Gaspar. *Aplicação da Matemática Fuzzy à Gestão de Competências por Processos* 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ: 2008.

RUS, Ginés de; CAMPOS, Javier; NOBELA, Gustavo. *Economía del Transporte*. António Bosch editor S.A, Barcelona, 2003.

SAATY, Thomas L. *Método de Análise Hierárquica*. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva. Editora McGraw – Hill, São Paulo, SP: 1991.

SANT'ANNA, José Alex. *Rede Básica de Transporte. Texto para discussão N. 562*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, Ministério do Planejamento e Orçamento, Brasília: 1998.

SAXENA, Vaibhav; JAIN, Madhurin; SINGH, Preetvanti & SAXENA, P. K. *Fuzzy Delphi*

Hierarchy Process and its Application to Improve Indian Telemedical Services. Disponível em: http://www.isahp.org/2009Proceedings/Final_Papers/77_Saxena_FuzzyDelphiHierarchyProcessIndianTelemedicine_REV_FIN.pdf: 2010. Acesso em 02 de Setembro de 2011.

SHEU, Juih-Biing. *A hybrid fuzzy-based approach for identifying global logistics strategies*. Transportation Research Part E Vol. 40 p. 39-61. Disponível em: www.elsevier.com/locate/tre: 2004. Acesso em 25 de Agosto de 2011.

Superintendência da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA. *SUFRAMA Hoje. Informativo*. Ano IV, nº 21, Manaus, AM: 2003.

Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA. *SUFRAMA Hoje. Informativo*. Ano XI, nº 48, Manaus, 2010.

Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA. *Relatório de Desempenho do Polo Industrial de Manaus 2007-2012*, Manaus, AM: 2012. Acesso em 07 de Fevereiro de 2012.

TANG, Yu-Cheng & BENYNON, Malcolm J. *Application and Development of a Fuzzy Analytic Hierarchy Process within a Capital Investment Study*. Journal of Economics and Management, Vol. 1 N.2 p. 207-230. Disponível em: <http://www.jem.org.tw/>: 2005. Acesso em 02 de Setembro de 2011.

THE GLOBAL COMPETITIVENESS. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2010-11/: 2011. Acesso em 06 de Fevereiro de 2012.

TSAMBOULAS, Dimitrios A. *A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments*. Transport Policy Vol. 14, p.11-26: 2007. Disponível em: www.elsevier.com/locate/transport. Acesso em 16 de Abril de 2010.

VAN DE VOOREN, F.W.C.J. *Modelling Transport in interaction with the economy*. Transportation Research Part E Vol 40 p.417-437. Disponível em: www.elsevier.com/locate/tre: 2004. Acesso em 14 de Abril de 2010.

VERGARA, Sylvia Constant. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 11º ed. Atlas, São Paulo, SP: 2009.

WANG Tien-Chin; CHENG Yueh-Hsiang. *Applying fuzzy linguistic preference relations to the improvement of consistency of fuzzy AHP*. Information Sciences n.178 p. 3755–3765. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ins: 2008. Acesso em 02 de Setembro de 2011.

WANKE, Peter; FLEURY, Paulo Fernando. *Transporte de cargas no Brasil: Estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos*. Disponível em:

http://desafios.ipea.gov.br/sites/000/2/livros/estruturadinamica/capitulo%2012_transportes.pdf: 2006.

YU, Chian-Son. *A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems*. Computers & Operations Research, Vol. 29 p. 1969-2001: 2002. Disponível em: www.elsevier.com/locate/dsw: Acesso em 02 de Setembro de 2011.

ZADEH, Lotfi Asker. *Fuzzy Sets*. Information Control, 8, 338–353. Disponível em: <http://www-bisc.cs.berkeley.edu/Zadeh-1965.pdf>: 1965. Acesso em 25 de Agosto de 2011.

ZHU, Ke-Jun; JING, YU; CHANG, Da-Yong. *A discussion on Extent Analysis Method and applications of fuzzy AHP*. European Journal of Operational Research n.116 p. 450-456: 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221798003312>. Acesso em 26 de Agosto de 2011.