

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

*AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO DE
GRANDE PORTE COM ENFOQUE MULTICRITÉRIO*

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do
Título de Doutor em Engenharia de Produção.

Adolfo René Santa Cruz Rodriguez



0.233.849-4


UFSC-BU

Florianópolis, dezembro de 1994

AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO DE
GRANDE PORTE COM ENFOQUE MULTICRITÉRIO

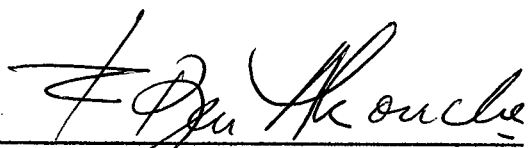
ADOLFO RENÉ SANTA CRUZ RODRIGUEZ

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.



Prof. Osmar Possamai, Dr.
Coordenador do Curso


BANCA EXAMINADORA:



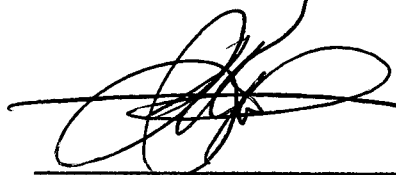
Prof. Rabah Benakouche, Docteur D'État
Orientador




Prof. Bruno Kopittke, Dr.Ing.



Prof. Marcel Bursztyn, Dr.
Examinador Externo



Prof. Peter May, Ph.D.
Examinador Externo



Prof. Pierre Ohayon, Dr.
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Manifesto meus sinceros agradecimentos:

- Ao Prof. Rabah Benakouche, pela valiosa orientação e sincera amizade no desenvolvimento do presente trabalho;
- à Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de realizar o Curso de Doutorado em Engenharia de Produção;
- à CAPES pelo apoio financeiro;
- aos professores: Peter May, Bruno Kopittke, Pierre Ohayon, e Marcel Bursztyn, pelas sugestões que permitiram enriquecer e aprimorar o presente trabalho;
- a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese.

RESUMO

Para implementar um projeto de grande porte é preciso passar por sua formulação, elaboração e execução, visando a alcançar determinados objetivos. Na abordagem tradicional, a avaliação de projetos caracteriza-se pela predominância de um critério (o da rentabilidade) como elemento da decisão. Essa ótica monocritério faz com que um indicador, geralmente econômico, seja o responsável exclusivo por sua aprovação e posterior execução.

No presente trabalho, propõe-se um modelo lógico-matemático de avaliação de complexos projetos de investimento que ultrapassa essa concepção. Adota-se uma abordagem multicritério (sob uma ótica multiatributo) para levar em consideração uma multiplicidade de critérios e uma multiplicidade de decisores. Tendo em vista a imperfeição da informação e as preferências dos decisores, o modelo utiliza a linguagem natural (i.é., variáveis lingüísticas) para captar e modular as variáveis revestidas de incerteza e ambigüidade. O processo de agregação dessas preferências expressas em palavras (variáveis lingüísticas) é baseado em técnicas de conjuntos difusos.

Assim sendo, é formulado um modelo multicritério difuso, cujas características são complexas do ponto de vista matemático. Por esse motivo, recorre-se às ferramentas computacionais para sua operacionalização, ou seja, construímos esse modelo sob a forma de "software" aplicativo desenvolvido em C++ para Windows.

ABSTRACT

Before implement a great and complex project it's necessary their formulation, preparation and execution to attain determined objective. According to traditional approach the project evaluation is distinguished for predominance of one criteria (the rentability) as unique element of decision. That monocriteria viewpoint makes the economic indicator exclusive responsible of their approval and subsequent execution.

This work propose a logic-mathematical model for evaluation great and complex investments projects, overcoming the monocriteria conception. The multicriteria approach is adopted for considerate the multiplicity of criteria and decisors. Since imperfections of information and preferences of decisors. the model use natural language (linguistics variables) for capture and modulate variables with uncertainty and ambiguity. The agregation of preferences (linguistics variables) is based in fuzzy set techniques.

Thus, a complex fuzzy multiattribute mathematical model is formulated. A interactive software for complex investments projects evaluation is developed in C++ for Windows.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Lista de Abreviaturas

Introdução Geral

*Capítulo I: Problemática de avaliação de
projetos de investimento*

Capítulo II: Avaliação Multicritério

Capítulo III: Teoria de Conjuntos difusos

*Capítulo IV: Modelo Multicriterial Difuso
de Avaliação de Projetos de
Investimento.*

Conclusões e recomendações

Anexo

Referência Bibliográfica

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Tipologia de métodos de avaliação.
- Tabela 2: Contribuição dos métodos de avaliação no planejamento empresarial.
- Tabela 3: Principais tópicos da avaliação financeira.
- Tabela 4: Indicadores utilizados como critério principal e secundário.
- Tabela 5: Principais métodos multicritério.
- Tabela 6: Formas de agregação da utilidade.
- Tabela 7: Escala de referência do método AHP.
- Tabela 8: Principais operações com números trapezoidais difusos.
- Tabela 9: Autovalores máximos segundo a dimensão da matriz.
- Tabela 10: Valores máximos para λ' .
- Tabela 11: Julgamentos de decisores.
- Tabela 12: Resultado da avaliação.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Projeto como parte integrante do processo de planejamento.
- Figura 2: Classificação de projetos do ponto de vista econômico.
- Figura 3: Ciclo de desenvolvimento de projeto.
- Figura 4: Cálculo de rentabilidade de um projeto industrial.
- Figura 5: Hierarquia de atributos.
- Figura 6: Classificação dos métodos multiatributo.
- Figura 7: Funções de preferência do Método Promethee.
- Figura 8: Representação vertical e horizontal de conjuntos difusos.
- Figura 9: Centro de gravidade de um conjunto difuso.
- Figura 10: Índice de ordenamento.
- Figura 11: Índice de ordenamento para corte de nível α .
- Figura 12: Representação difusa da variável linguística.
- Figura 13: Representação linguística como distribuição de possibilidade.
- Figura 14: Níveis de corte α de dois números difusos.

- Figura 15: Desenvolvimento de um projeto.
- Figura 16: Estrutura proposta.
- Figura 17: Estrutura lógica do modelo.
- Figura 18: Conjunto de critérios definidos pelo decisor.
- Figura 19: Estrutura de comparação de critérios.
- Figura 20: Função de pertinência da TIR.
- Figura 21: Estrutura do modelo linguístico.
- Figura 22: Exemplos de termos linguísticos.
- Figura 23: Termos linguísticos para modelagem de preferências.
- Figura 24: Termos linguísticos utilizados no modelo.
- Figura 25: Teste de consistência.
- Figura 26: Mapeamento do índice de consistência nas funções de pertinência das variáveis linguísticas.
- Figura 27: Correlação entre utilidade global e termo linguístico.
- Figura 28: Estrutura do sistema.
- Figura 29: Tela principal do software de avaliação.
- Figura 30: Apresentação de resultados.
- Figura 31: Formulário de Avaliação do Projeto.
- Figura 32: Formulário de avaliação de critérios.
- Figura 33: Preferências pelos critérios.

Lista de abreviaturas

- AHP : "Analytical Hierarchy Process".
- BID : Banco Interamericano de Desenvolvimento.
- BNDES : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
- CAE : Custo Anual Equivalente.
- CEPAL : Comissão Econômica para América Latina.
- CPE : "Centre de Prospective et d'Evaluation".
- CPM : "Critical Path Method".
- EIRMA : "European Industrial Research Management".
- ELECTRE: "Elimination et Choix Traduisant la Réalité".
- GAIA : "Geometrical Analysis for Interactive Aid".
- ICEPS : "Interactive Cross Evaluation and Projects Selection".
- ILPES : Instituto Latino-Americano de Planejamento Econômico e Social.
- INPES : Instituto de Pesquisas.
- IPEA : Instituto de Planejamento Econômico e Social.
- LAM : "Linear Assignment Method"
- MAUT : "Multiple Attribute Utility Theory".
- MEA : Método de Eliminação por Aspectos.

- ML : Método Lexicográfico.
- MSD : "Multidimensional Scaling".
- P.I. : "Potencial Innovation".
- PATTERN: "Planning Assistance through Technical Evaluation of Relevance".
- PERT : "Program Evaluation and Review Technique".
- PROFILE: "Programed Functional Indices for Laboratory Evaluation".
- PROMETHEE: "Preference Ranking Organisation Method of Enrichment Evaluation".
- QUEST : "Quantitative Utility Estimates for Science and Technology".
- SAW : "Simple Additive Weighting".
- TEAL : Modelo da Texas Instruments.
- TIR : Taxa Interna de Retorno.
- TOPSIS : "Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Scaling".
- TRADE-OFF: Taxas de substituição.
- UNIDO : Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.
- VP : Valor Presente.
- VPL : Valor Presente Líquido.

INTRODUÇÃO GERAL

A formação de capital e a de investimento são questões muito importantes no crescimento de uma organização. O desenvolvimento sócio-econômico implica necessariamente na formulação, elaboração, avaliação e execução de projetos, visando-se a alcançar determinados objetivos.

Os projetos de investimento visam, em parte, obter benefícios com a aplicação de recursos (quer sejam econômicos ou não). Para tanto, antes de implementar um empreendimento, procura-se identificar e mensurar seus resultados, impactos benéficos e limitações, ou seja, proceder-se-á sua avaliação para, dessa maneira, extrair elementos de juízo para a tomada de decisão referente a sua implementação.

Sabe-se que materializar um empreendimento não é uma tarefa fácil. Ela implica cumprir toda uma série de passos que vão desde a concepção da própria idéia até a fase de exploração do empreendimento, isto é, de seu funcionamento. Assim, vários aspectos norteiam a elaboração e a posterior avaliação de um projeto; uma série de situações distintas caracterizam o que seriam as fases de antes, durante e depois da concepção de um empreendimento.

Tem-se notado também, uma tendência a associar a palavra *projeto* ao desenho e desenvolvimento de novas tecnologias, de sistemas de produção ou de produtos resultantes de atividades de engenharia pura (no sentido restrito de "hardware"). No entanto, a palavra *projeto* é empregada, também, para referenciar o documento em que são especificados, delineados, analisados e justificados os recursos, os meios e os problemas implícitos no manejo de fatores, visando a alcançar objetivos pré-determinados. Isso permite observar que existe associação da palavra "projeto" com uma determinada ação bem como com o documento em que essa ação é apresentada, especificada e justificada.

Geralmente, os projetos (no sentido de qualquer propósito de ação definido e organizado de forma racional) são elaborados por uma pessoa ou uma equipe de trabalho e posteriormente analisados e avaliados por outras pessoas. Tal é o caso da avaliação de projetos por organismos de financiamento que verificam a pertinência dos empreendimentos conforme seus requerimentos, ou a avaliação de empreendimentos pelos organismos governamentais para a concessão de licenciamentos.

Assim, um projeto (incluídos os de investimento), quer seja público ou privado, tem sido submetido basicamente a duas categorias de avaliações: a financeira e a econômica¹. A primeira visa, fundamentalmente, a determinar a rentabilidade do projeto, e a segunda, a detectar e a apreciar seus impactos diretos e indiretos nas atividades econômicas e na economia nacional, ou seja, seus efeitos num contexto macroeconômico e não microeconômico.

No entanto, a avaliação de projetos nos termos acima referenciados caracteriza-se pela predominância de um único critério (econômico-financeiro) como elemento da decisão, ou seja, esse indicador é, geralmente, exclusivo na aprovação e na posterior execução de empreendimentos, de modo que ele se torna um instrumento de legitimação da decisão tomada.

¹ Atendendo diferenciação estabelecida pela UNIDO.

As ferramentas incluídas no perfil de avaliação tradicional de projetos de investimento tem levado em consideração um conjunto de variáveis, em princípio diferentes, mas reduzidas à dimensão econômica. Variáveis tais como "mercado", "tecnologia e engenharia" e "recursos humanos", entre outras, são geralmente transformadas numa unidade comum (valores econômicos) para serem apreciadas [WOILER, 1975]. Entretanto, como se mostra no presente trabalho, não é possível reduzir todas essas variáveis representativas de um projeto à dimensão econômica, em especial quando se trata de um projeto muito complexo envolvendo uma multiplicidade de dimensões.

Saliente-se, no entanto, que em alguns projetos as ferramentas tradicionais de avaliação são suficientes. Tratam-se de projetos específicos, pequenos ou que simplesmente não envolvem muitas variáveis na tomada de decisão, de forma que a incorporação de mais elementos de análise não melhora substancialmente a qualidade da decisão tomada, ou simplesmente porque a relação esforço/benefício não se justifica.

Para que esse cenário seja completo, ou pelo menos, muito mais próximo da realidade, é importante destacar uma outra característica fundamental que geralmente norteia esse tipo de problema. Trata-se da incorporação das variáveis de incerteza, ambigüidade e imprecisão no processo de avaliação.

A integração dessas variáveis no mesmo espaço lógico-matemático conduz, inevitavelmente, a formular um modelo que ultrapasse a visão monocriterial e que leve em consideração uma pluralidade de decisores. Por isso, recorre-se à abordagem multicriterial, mostrando que, por suas características, ela permite cobrir as deficiências do enfoque monocriterial quando da avaliação de complexos projetos de investimento.

Entende-se por projeto de investimento complexo aquele que apresenta, fundamentalmente, três características: i) uma multiplicidade de aspectos (econômicos, tecnológicos,

sociais, entre outros), ii) estes aspectos revestem grandes dimensões e, iii) os grandes impactos sócio-econômicos e/ou ambientais. Neste sentido, pode-se citar, a título de exemplo, grandes projetos nacionais, como Itaipu e Carajás, ou projetos como a construção de uma represa para abastecer uma usina elétrica ou a implantação de um pólo tecnológico.

Assim sendo, neste trabalho apresenta-se um modelo lógico-matemático (multicritério difuso) para o auxílio na tomada de decisão na avaliação de complexos projetos de investimento.

Para entender este modelo e, portanto, o conteúdo deste trabalho, resolveu-se dividi-lo em quatro capítulos.

O Capítulo I é dedicado ao estudo da problemática da avaliação de projetos de investimento. Estuda-se a formulação de projetos em geral, a problemática de projetos de investimento e a avaliação de projetos, considerando-se seus principais tipos e características, bem como a visão dos organismos de financiamento de projetos no tocante a seus requerimentos normativos (exemplo, os do BRDE e do BNDES). Verificou-se que a problemática da avaliação convencional de complexos projetos de investimento apresenta seríssimas limitações.

No Capítulo II, tenta-se reduzir essas limitações recorrendo-se aos modelos multicritérios. Apresentam-se, inicialmente, características principais desses métodos. É dada uma especial ênfase aos métodos multiatributo por entender que eles se ajustam melhor à problemática aqui sustentada. Com efeito, as vantagens oferecidas pela abordagem multicritério se traduzem na capacidade de levar em consideração uma multiplicidade de critérios e uma pluralidade de decisores com pontos de vista diferenciados e/ou contraditórios. Esta situação "realista" é aquela que ocorre quando uma equipe de especialistas ou decisores avaliam um determinado projeto de grande porte.

O Capítulo III é dedicado aos conjuntos difusos. Isso se deve ao fato de, no processo de avaliação, outras variáveis (tais como a incerteza, a ambigüidade e a imprecisão) fazerem-se presentes, notadamente, quando da tomada de decisão. Essas variáveis são tratadas de maneira mais adequada e eficiente com as técnicas de conjuntos difusos. Para entender isso, resolveu-se apresentar as principais definições, os métodos de mensurar a incerteza, as formas de agregação de conjuntos difusos e o fundamento teórico da representação de variáveis lingüísticas como números trapezoidais difusos.

O Capítulo IV, baseando-se nessas ferramentas, é dedicado à formulação de um modelo multicritério difuso para a avaliação de complexos projetos de investimento. Após uma apresentação do escopo e das características do modelo, define-se a estrutura lógica do modelo em termos matemáticos. Diante da complexidade da formulação matemática desse tipo de problema, considerou-se que sua operacionalização seria mais factível com o uso de ferramentas computacionais sob a forma de "software" aplicativo, cujas principais telas são apresentadas.

Finalmente, são apresentadas as conclusões e as recomendações para futuros trabalhos.

CAPÍTULO I
PROBLEMÁTICA DE AVALIAÇÃO
DE PROJETOS DE INVESTIMENTO

SUMÁRIO

1. Formulação de Projetos

- a) Definições de Projeto
- b) Classificação de Projetos
- c) Componentes de um Projeto
- d) Projetos de Investimento

2. Avaliação de Projetos

- a) Definições de Avaliação
- b) Tipos de Avaliação
- c) Métodos de Avaliação
- d) Avaliação de Projetos de Investimento
- e) Principais Limitações da Análise
Custo/Benefício
- f) Visão dos Financiadores de Projetos

3. Conclusão

A formação de capital e a de investimento são questões muito importantes no crescimento de uma organização. O desenvolvimento em todos os aspectos, quais sejam, econômico, social, político e humano, implica, necessariamente, formulação, elaboração, avaliação e execução de projetos visando alcançar determinados objetivos.

Um projeto de investimento visa obter benefícios com a aplicação de recursos. Para tanto, antes que um empreendimento seja implementado procura-se identificar e ressaltar seus resultados, impactos benéficos e limitações, ou seja, proceder-se-a a sua avaliação para, desta forma, extrair elementos de juízo para a tomada de decisão que diz respeito à sua implementação./

No entanto, concretizar um empreendimento não é uma tarefa fácil. Com efeito, implica cumprir toda uma série de passos que vão desde a concepção da própria idéia até a fase de exploração, isto é, de funcionamento. Assim, são vários os aspectos que norteiam a elaboração e a posterior avaliação de um projeto, ou seja, existe uma série de situações distintas que caracterizam o que seriam as fases de antes, durante e depois da concepção de um projeto.

Nesta perspectiva, faz-se necessário descrever toda essa problemática, suas características, os meios e as atividades envolvidas na concepção, na elaboração e na avaliação de um projeto. Para cumprir essa meta, o presente capítulo é dedicado, fundamentalmente, ao estudo dessa problemática, estruturado em duas seções.

A primeira é dedicada ao estudo da formulação de projetos¹, isto é, suas principais definições, seus elementos, sua classificação e as variáveis em torno dos projetos de investimento.

A segunda seção concentra-se na avaliação de projetos, mostrando seus principais tipos e características. Especial atenção é dada a projetos de investimento sob a ótica econômica como um instrumento de análise de decisão. Seu estudo permite mostrar as principais limitações da análise econômico-financeira como única ferramenta de apoio (ou auxílio) na tomada de decisão de investimentos.

Diante dessas limitações e da complexidade de dimensões presentes num problema com essas características, a segunda seção mostra, somente a título de exemplo, a visão dos organismos de financiamento de projetos de investimento, ou seja, os requerimentos dos órgãos de avaliação e os principais critérios por eles considerados fundamentais. No final do Capítulo, são levantadas as principais implicações da problemática da avaliação de projetos de investimento.

1 - Formulação de Projetos

Quando se faz referência a determinado projeto, há, em geral, uma tendência a associar essa palavra ao desenho e ao desenvolvimento de novas tecnologias, de sistemas de produção ou de produtos resultantes de atividades de engenharia, isto é, num sentido restrito de "hardware". No entanto, a palavra "projeto" é empregada, também, para referenciar o documento

¹ Refere-se, daqui em diante, exclusivamente a projetos de investimento.

em que são especificados, delineados, analisados e justificados os recursos, os meios e os problemas implícitos no uso de fatores, visando alcançar objetivos predeterminados. Equivale a dizer que um projeto engloba tanto a ação (por exemplo, produção de bens e serviços) como o documento em que o empreendimento é apresentado, especificado e justificado².

Neste sentido, um projeto pode ter atuação em diferentes ambientes, abranger uma diversidade de atividades e cumprir uma infinidade de objetivos.

a) Definições de Projeto

Um projeto é, num sentido lato, "qualquer propósito de ação definido e organizado de forma racional". Constitui um comprometimento de recursos com o objetivo de obter benefícios futuros, ou seja, "corresponde a um conjunto de informações sistemática e racionalmente ordenadas, permitindo estimar custos e benefícios de determinada ação" [HOLANDA, 1987].

Do ponto de vista social, um projeto considera custos e benefícios sociais na utilização de recursos da comunidade³. Do ponto de vista privado, o projeto é um instrumento que permite avaliar as vantagens relativas de uso de seus recursos. Neste sentido, ele detém dois papéis fundamentais: primeiro, como justificativa de um determinado programa de ação; segundo, como mecanismo técnico, administrativo e político para a tomada de decisão, isto é, um instrumento de negociação.

² Para evitar possíveis confusões decorrentes dessa dupla significação, usa-se, no presente trabalho, a palavra "projeto" para indicar principalmente o documento contendo as informações para a tomada de decisão.

³ No sentido estrito da palavra.

Segundo o Instituto Latino-Americano de Planificação Econômica e Social, um projeto é definido nos seguintes termos:

"... o plano prospectivo de uma unidade de ação capaz de materializar algum aspecto de desenvolvimento econômico ou social ... pressupõe um investimento, ou seja, uma utilização de recursos com a preterição do consumo imediato de algum bem ou serviço para obter um consumo incrementado dos mesmos ou de outros bens e serviços que serão produzidos com esse investimento; ... o projeto é, portanto, a abordagem da unidade elementar no processo sistemático de racionalização de decisões, em se tratando de temas de desenvolvimento econômico e social ...". [ILPES, 1975].

Em termos de planejamento, um projeto é considerado como a menor unidade de investimento⁴ (ver Figura 1). Assim, qualquer que seja o objetivo da estrutura de planejamento pública ou privada, os planos mais detalhadamente elaborados incluem programas e cronogramas de investimentos que englobam projetos, geralmente, na etapa final⁵ [CONTADOR, 1981].

Quer se trate de planejamento, ou não, os projetos são classificados em vários grupos, atendendo a diferentes pontos de vista, tal como se apresenta a seguir.

⁴ Holanda, op. cit., p.96.

⁵ Segundo Contador, é comum os projetos de desenvolvimento serem elaborados sem integrá-los em planos globais, que por sua vez, não são suficientemente detalhados a nível de projetos.

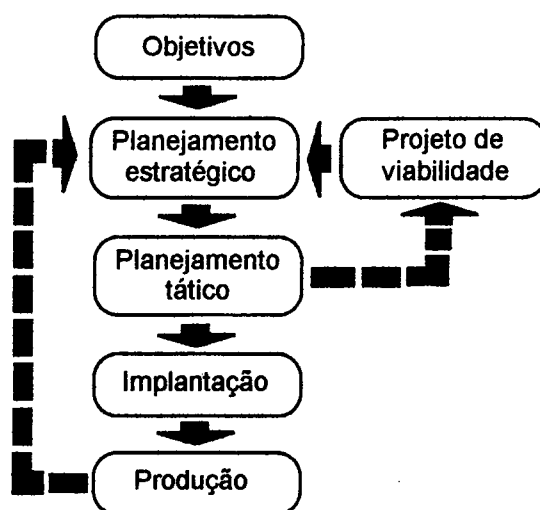


Figura 1: Projeto como parte integrante do processo de planejamento

b) Classificação de Projetos

Da observação das principais áreas de atuação de projetos, isto é, onde eles são formulados e implementados, identifica-se a seguinte classificação de projetos [ROMAN, 1986]:

Projetos dedicados a:

- experimentação e observação de novos conhecimentos;
- estudo do potencial tecnológico, de mercado, de restrições de tempo, de custo para melhor alocação de recursos;
- desenvolvimento de novos produtos;
- aprimoramento de produtos existentes;
- redução de custos;
- aprimoramento dos processos de produção;
- pesquisas de novos usos para produtos existentes;
- pesquisas de usos potenciais para materiais ou produtos considerados refugo ou lixo dos sistemas de produção;
- análise e estudo de produtos da concorrência;
- implementação e construção de obras;
- fornecimento de serviço técnico para os departamentos funcionais de uma organização;
- viabilizar investimentos em empreendimentos de desenvolvimento;
- implementar atividades sociais diretas;

- aprimoramento do funcionalismo em campos tais como "marketing", finanças, pessoal, produção e engenharia;
- desenvolvimento de programas de educação e treinamento dentro ou fora do sistema organizacional, em resposta a suas necessidades;
- definição e acompanhamento de objetivos de pessoal, incluindo o desenvolvimento de atividades, tais como, por exemplo, funções sociais, viagens, manutenção, entre outras.

Considerando-se sua origem, os projetos são classificados em dois grupos: os projetos privados e os públicos⁶. Os primeiros, referidos também na literatura como de caráter econômico, surgem em resposta à demanda insatisfeita, a um mercado amplo em crescimento, ou a estímulos financeiros, fiscais e cambiais criados pelo próprio Governo, e em benefício direto de certas áreas preferenciais de investimento⁷, ou seja, sua viabilidade depende da existência de uma demanda real no mercado do bem ou serviço a produzir. Já os segundos, ditos também de caráter social, surgem como resultado de planos globais, regionais ou setoriais de desenvolvimento, cujo interesse é mais social e estratégico que financeiro, ou seja, sua viabilidade não depende da capacidade de remuneração dos usuários potenciais, mas, sim, do bem-estar da comunidade como resposta à satisfação de uma necessidade social.

Do ponto de vista econômico, os projetos são classificados em função da divisão da economia em setores de produção formando cinco grupos principais⁸ (ver Figura 2).

São eles: i) projetos agropecuários, que lidam com a produção animal e vegetal junto às atividades de extensão, colonização e reforma agrária; ii) projetos industriais, que abarcam todas as atividades manufatureiras e extrativas;

⁶ Retoma-se a classificação adota por Holanda, op. cit., p.98.

⁷ Quer por motivos estratégicos, de desenvolvimento, quer para estimular investimentos em determinada região ou setor econômico.

⁸ ILPES, 1975, op. cit., p. 9-12.

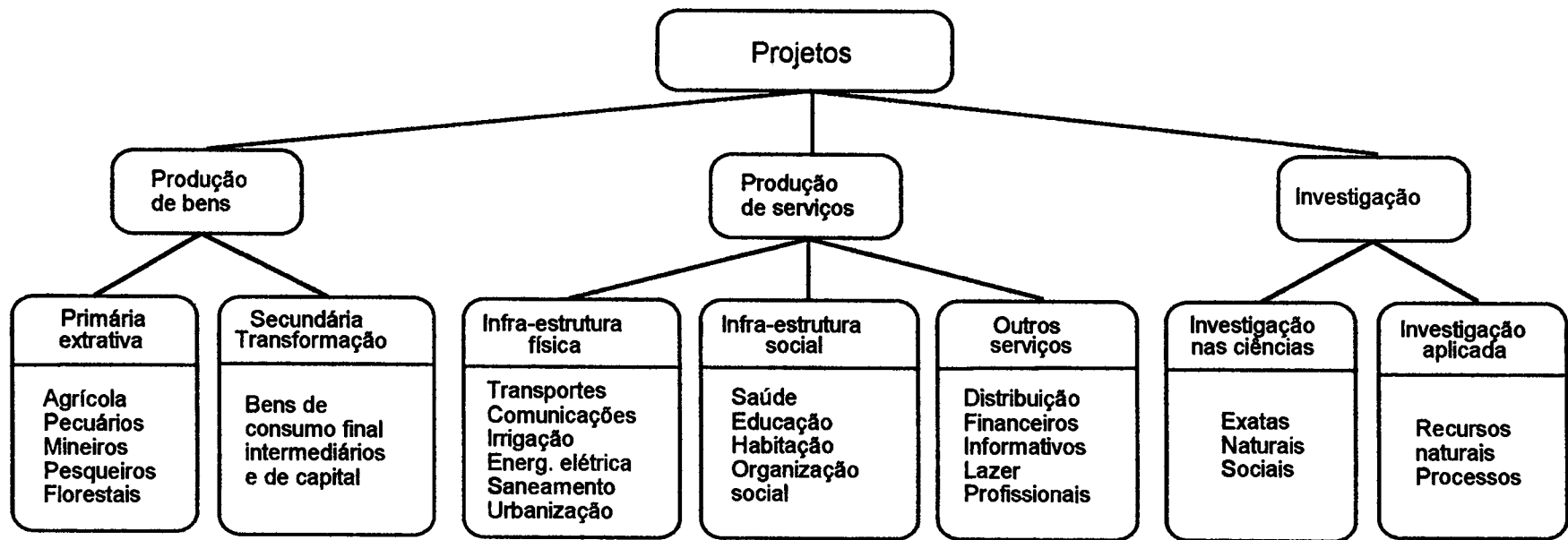


Figura 2: Classificação dos Projetos do ponto de vista econômico [MAGALHÃES, 1987, p.16].

iii) projetos de infra-estrutura social, que são dedicados a atender às necessidades básicas da comunidade (saúde, educação, habitação, organização espacial e comunitária e saneamento do meio ambiente); iv) projetos de infra-estrutura econômica, direcionados ao fornecimento de insumos, bens ou serviços (energia, transportes e comunicações); v) projetos de serviços⁹, cujo objetivo é prestar serviços em todos os campos da atividade econômica (pessoais, materiais, técnicos e institucionais).

Do ponto de vista microeconômico, os projetos são classificados em quatro grupos básicos¹⁰. São eles:

i) Projetos de implantação, cujo objetivo é criar uma unidade produtiva, quer seja pioneira, nova ou tradicional.

ii) Projetos de modernização, que visam, fundamentalmente, a atualização sob vários aspectos, tais como a tecnológica, a de processos, a de gestão, entre outras, com a conseqüente melhoria, por exemplo, de qualidade, produtividade e competitividade.

iii) Projetos de ampliação ou expansão, cujo objetivo é aumentar o nível de atividade econômica atualmente existente.

iv) Projetos de realocização, que visam, fundamentalmente, escolher, entre várias alternativas, um determinado local, área ou região em conformidade com determinados requerimentos e limitações.

No entanto, quer seja um projeto privado ou social, econômico ou não, ele envolve uma seqüência de passos previamente estabelecidos, ditos de elementos de um projeto, descritos a seguir.

⁹ Aqui estão incluídos os projetos de pesquisa e desenvolvimento.

¹⁰ Magalhães, 1987, op. cit., p.14.

c) Componentes de um Projeto

Um projeto pode ser simples, envolvendo poucas fases, ou complexo, envolvendo diversidade de passos. Em ambos os casos, identificam-se elementos comuns que são resumidos em quatro grupos:

- Tarefas, referentes a necessidades, justificativas, soluções possíveis, valor do produto final, custo e benefício e restrições de tempo;
- métodos, que dizem respeito aos objetivos técnicos, às alternativas, à organização do projeto, ao planejamento, à implementação e operação, ao controle de funções de retroalimentação;
- recursos, sejam humanos, de materiais, de informação, de tempo e de capital;
- "ambiente" (arredores), tais como a equipe de trabalho, os clientes ou usuários, as funções de suporte, o entorno social, legal, político e ambiental.

Esses quatro grupos representam, de maneira geral, os principais componentes de um projeto. Com efeito, observam-se as tarefas ou atividades que são desenvolvidas visando alcançar os objetivos do projeto; os métodos que são utilizados para obter resultados, ou seja, que representam o como fazer; os recursos, que permitem a materialização dos objetivos; e seus arredores, ou seja, tudo aquilo que não está diretamente sob controle do projeto, mas que tem influência direta sobre ele. Cabe destacar, neste último ponto, o meio ambiente propriamente dito, isto é, os benefícios e danos decorrentes das atividades do projeto que possam vir a afetar o equilíbrio da natureza¹¹.

No que diz respeito aos projetos de investimento, estes quatro componentes são claramente identificados, como segue.

¹¹ Especial atenção está sendo direcionada cada vez mais à problemática da poluição ambiental, aos mecanismos de diminuição e de controle e às políticas da melhoria de qualidade de vida.

d) Projetos de Investimento

Um *investimento* é o comprometimento de recursos visando à obtenção de benefícios futuros durante um período determinado de tempo. Já um *projeto de investimento* é um conjunto de informações, sistemática e racionalmente ordenadas que permite estimar custos e benefícios de um empreendimento¹².

Quanto à origem, os projetos de investimento são classificados em cinco grupos principais¹³: i) os derivados de planos de desenvolvimento de caráter nacional, setorial, regional ou local; ii) os decorrentes de estudo de mercado local, regional, nacional ou internacional; iii) os de oportunidades para exploração de recursos ociosos; iv) as de inovações tecnológicas; e v) os decorrentes de pressões administrativas, políticas ou estratégicas.

Em quaisquer dessas situações, os governos, as instituições autônomas e de serviço, as prefeituras, as empresas, os organismos de financiamento, (isto é, as organizações em geral), implementam com frequência projetos que, de uma maneira ou de outra, foram avaliados antes de serem implementados. Assim, a finalidade de um projeto, como documento público ou privado, é analisar um conjunto de informações e fornecer elementos de juízo para o tomador de decisão. As informações a serem avaliadas são estruturadas seguindo etapas específicas que permitem analisar sua viabilidade sob todos os aspectos (principalmente econômica e financeira) [WOILER & MATHIAS, 1985]. Este processo de elaboração compreende basicamente as seguintes etapas¹⁴:

i) A identificação da idéia principal sobre o assunto que vai ser estudado, ou seja, o conhecimento das características do produto ou serviço a ser oferecido; levantamento de informações preliminares que dizem respeito

¹² Holanda, 1987, op. cit., p.95.

¹³ Holanda, 1987, op. cit., p 100.

¹⁴ ILPES, 1975, op. cit., p. 38-42.

às características de oferta e demanda desse produto ou serviço bem como dos recursos financeiros a serem utilizados;

ii) a fase dedicada aos problemas técnicos referentes à determinação da capacidade de produção, dos processos técnicos utilizados e das obras civis que serão contempladas no empreendimento, bem como sua organização em termos de programação;

iii) o detalhamento das projeções de receitas e despesas, das formas de financiamento e do orçamento para a execução e operação do projeto;

iv) a avaliação financeira indicando as necessidades de recursos para enfrentar os gastos do projeto. Indicam-se também as necessidades de capital fixo e circulante, a parcela de recursos próprios e os financiamentos em moeda nacional e/ou estrangeira, a capacidade de investimento e as projeções financeiras, ou seja, as receitas e despesas. Com isso, a avaliação contempla o cálculo dos indicadores e índices que caracterizam os resultados financeiros como, por exemplo, a taxa interna de retorno, o valor atualizado das entradas líquidas, o lucro por unidade de capital e o período de recuperação dos investimentos. Em suma, verifica-se se o empreendimento é, ou não, rentável;

v) a avaliação econômica referente à comparação dos benefícios e custos do projeto à luz do desenvolvimento econômico e social da sociedade. Estes benefícios e custos sociais são apreciados com base em índices calculados com técnicas como as de análise marginal e as do excedente do consumidor;

vi) o plano de execução elaborado com base em dados técnicos, organizacionais e administrativos do projeto.

Instituições e organismos internacionais, como por exemplo, a Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL), o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Instituto Latino-Americano de Planejamento Econômico e Social (ILPES),

a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNIDO), têm indicado e publicado, nas últimas décadas, documentos com sugestões, diretrizes e guias para a elaboração e avaliação de projetos, visando a facilitar a análise e posterior avaliação de projetos de investimento.

No Brasil, muitas instituições, organismos de financiamento e bancos têm também adotado essas diretrizes para a elaboração e avaliação de projetos, com pequenas modificações (resultantes de sua adaptação à realidade nacional) [IPEA, 1974]. Elas enquadram o ciclo de desenvolvimento de projetos de investimento em três fases: a de pré-investimento, a de investimento e a fase operacional, como mostra a Figura 3 [UNIDO, 1987].

		Atividades de promoção do investimento	Planejamento de implementação
Fase de pré-invest.	Identificação de oportunidades		
	Estudo de pré-viabilidade		
	Formulação do projeto		
	Avaliação e decisão		
Fase de invest.	Negociação e contratação		
	Concepção do projeto		
	implementação construção		
	Colocação em marcha		
Fase operac.			

Figura 3: Ciclo de desenvolvimento do projeto [UNIDO¹⁵]

¹⁵ Op. cit., 1987.

A primeira fase do ciclo de desenvolvimento de um projeto (ver primeira coluna), isto é, a de pré-investimento, é formada por quatro passos (descritos na segunda coluna): a identificação de oportunidades de investimento; o estágio da seleção preliminar, ou seja, o estudo de pré-viabilidade; o estágio da formulação do projeto ou estudo de viabilidade; e o estágio de avaliação e tomada de decisão; todas elas ligadas a atividades de promoção, planejamento e implementação (representadas pelas linhas verticais da terceira e quarta coluna, respectivamente), sendo muito mais intensas na avaliação e tomada de decisão (esse efeito é representado pela deformação irregular das linhas verticais).

A segunda fase, ou seja, a do próprio investimento, é constituída por quatro estágios: o de negociação e contratação; o de concepção do projeto em si; o do processo de construção ou implementação; e de colocação em marcha, ou seja, o início das atividades.

A última fase, a operacional, é ligada aos problemas após o início das atividades do projeto, ou seja, aos detalhes decorrentes da implementação do projeto, que exigem que uma série de medidas corretivas sejam adotadas. Em seguida, ela se dedica à manutenção das atividades, isto é, a seguir o cronograma estabelecido e a cumprir os objetivos almejados.

Deve-se destacar a importância da fase de pré-investimento, porque é quando é tomada a decisão de implementação do projeto de investimento. Esta tomada de decisão é baseada na avaliação dos estudos funcionais ou de suporte que constituem parte principal do estágio de formulação de projetos.

O presente trabalho situa-se precisamente no último estágio da fase de pré-investimento, ou seja, avaliação e tomada de decisão de implementação de um projeto de investimento, ou mais especificamente, análise do pré-projeto, ou anteprojetos, ou do estudo de pré-viabilidade. É

neste sentido que apresenta-se, a seguir, a problemática da avaliação de projetos¹⁶.

2 - Avaliação de Projetos

É muito comum, em todas as atividades, ouvir falar sobre avaliação de projetos como uma simples verificação da viabilidade de um empreendimento. No entanto, a palavra "avaliação" vai muito além de uma simples verificação, ou constatação. Ela tem três conotações principais diferentes, como indicam as seguintes definições.

a) Definições de Avaliação

O termo "avaliação" engloba três sentidos subjacentes que são: como medida, como congruência e como julgamento.

i) Avaliação como medida

Refere-se ao ato ou efeito de medir ou mensurar atributos e características específicas, consideradas representativas, de uma determinada situação analisada. Objetiva-se expressar atributos em unidades de medida sem considerar o processo que os gerou, nem estudar suas implicações ou correlações diretas ou indiretas.

Assim, atribui-se um valor a uma determinada situação, ação ou bem em função de uma unidade de medida específica, geralmente de natureza quantitativa. Esse valor é resultante da comparação de cada atributo com uma escala predeterminada de valores devidamente calibrada.

A avaliação limita-se a apreciar o "status", ou o desempenho, de um atributo com base nessa escala fixa de valores, permitindo visualizar sua grandeza ou magnitude. Dessa forma, o valor lido na escala utilizada passa a ser

¹⁶ No presente trabalho, este estágio é referenciado genericamente como avaliação de projetos.

considerado como o elemento suficiente que descreve o estado da ação ou da situação analisada. Equivale a dizer que um determinado número expresso em uma unidade de medida representa o valor desse atributo. Esse conceito é observado desde o mundo das ciências técnicas e experimentais até as ciências sociais e comportamentais.

A principal característica é a tendência na definição de um atributo em termos do instrumento usado para medi-lo. Determinar, por exemplo, o volume de instruções ou comandos que é capaz de executar um computador por unidade de tempo, ou seja, a velocidade em MHz de seu processador central; avaliar o custo de fabricação de um bem considerando seu consumo de energia elétrica medidos em Kw/h; avaliar a poluição de um rio determinando a concentração em gr/l de substâncias tóxicas despejadas em seu leito, ou avaliar o QI de um grupo de pessoas, leva a lidar com escalas de valores predeterminados e com instrumentos de medição especificamente desenvolvidos para esses fins.

Assim sendo, avaliar um atributo é simplesmente apreciar seu valor expresso em alguma unidade de medida, obtido de leitura ou comparação com algum instrumento auxiliar de medição. Esse instrumento pode ser um equipamento simples ou sofisticado ou uma escala de valores que permita apreciar o valor de uma ação ou situação. Resumindo, um atributo é ligado, geralmente, a um valor observado.

ii) Avaliação como congruência

Avaliar é apreciar a correlação entre os indicadores de performance e os objetivos almejados. É um processo muito mais abrangente do que simplesmente medir ou mensurar uma variável em particular. Assim, o interesse não se concentra unicamente no estudo de um determinado atributo, mas, sim, em seu conjunto, vale dizer, em correlações que permitam, de alguma maneira, exprimir um conceito ou um valor para compará-lo com as metas estabelecidas.

Avaliar uma situação implica desenvolver todo um processo que se inicia com a definição das variáveis a serem consideradas, as formas de apreciá-las e os objetivos que servirão de parâmetros de comparação. Em seguida, é feita a comparação entre o atual desempenho e o nível planejado, ou seja, "de como é agora e de como ele deveria ser" (ou pelo menos se espera que seja). O resultado assim obtido permite mostrar a proximidade ou o distanciamento entre a situação real e a planejada.

No entanto, neste processo comparativo, faz-se necessária a definição clara e explícita dos indicadores ou critérios de desempenho e de seus respectivos objetivos ou valores ideais. Quer sejam objetivos a curto, a médio ou a longo prazos, sua definição implica procurar alguma coisa que seja quantificável e que permita fazer comparações com valores definidos de indicadores de desempenho. Isso motiva a procura de resultados parciais ou de comportamentos que possam explicar o desempenho da situação que está sendo analisada.

Os resultados identificados no processo avaliatório se tornarão critérios para cada ação organizacional ou de decisão, sendo estes observados como indicadores de desempenho. Com base nesses indicadores, descreve-se e explica-se a situação atual e compara-se com as metas ou objetivos almejados. Há possibilidade, em função dos resultados obtidos, de corrigir qualquer desvio na situação ou no processo analisado, ou seja, é possível uma retro-alimentação visando ajustes necessários para atingir o planejado.

Nesse sentido, avaliar os resultados de um projeto de treinamento de recursos humanos implica, por exemplo, comparar o estágio atual com os níveis previstos ou desejados; ou apreciar a produtividade de um setor econômico observando o comportamento de outros setores da economia ou de outras economias. Observe-se que, em ambos os casos, os objetivos a curto, a médio e a longo prazo, bem como os

indicadores ou critérios utilizados para sua avaliação, deverão ser perfeitamente definidos e quantificados.

iii) Avaliação como julgamento

Sob este ponto de vista, avaliar é formar uma opinião ou um conceito da situação analisada. Esta talvez seja a forma mais comum de indicar o processo de avaliação, ou seja, expressar julgamentos que de certa maneira cobrem o espaço não preenchido pelas duas definições anteriores. No entanto, a avaliação assim definida se sustenta numa certa parcela de subjetividade, porque podem ser feitos julgamentos sobre atributos perfeita ou parcialmente definidos ou sobre critérios de natureza qualitativa ou quantitativa, variando de acordo com as preferências dos decisores, como por exemplo, o julgamento de um especialista acerca de determinada situação, que pode contrastar com a de outro especialista. Essa divergência na apreciação da questão analisada será resultante do conhecimento dos especialistas, da experiência adquirida através de longos anos de trabalho ou, simplesmente, da forma como eles enxergam o problema.

Dado o caráter subjetivo, a avaliação como julgamento é muito ampla e pode-se levar em consideração quase a totalidade das variáveis observadas. Geralmente, os julgamentos são feitos de forma simples, sem necessidade de ferramentas sofisticadas, tendo como base indicadores ou critérios bem definidos ou parcialmente definidos e indicadores de natureza qualitativa e quantitativa. Isso faz com que um processo de avaliação envolvendo julgamentos seja de certa forma rápido, isto é, sua implementação não é complexa nem trabalhosa.

No entanto, a objetividade da avaliação pode ser comprometida porque ela se baseia unicamente em julgamentos subjetivos, que podem não corresponder à realidade observada e descrita do ponto de vista do avaliador e, por conseguinte, ser influenciada por seus interesses, suas preferências, por desconhecimento, desinformação ou, até mesmo, ignorância. Em

suma, o avaliador pode influenciar, conscientemente ou não, seus julgamentos, distanciando-se do que seria considerado real e objetivo.

b) Tipos de avaliação

Suponha-se uma situação geral constituída por unicamente três estágios: as entradas, que são os recursos necessários; o processo, que é tudo o que transforma essas entradas em resultados; e as saídas, que constituem os resultados desse processo. Num projeto de investimento industrial, por exemplo, as entradas são todos os recursos financeiros, humanos, matérias primas, insumos, energia etc; o resultado, os produtos, a rentabilidade, o retorno; e o processo, as formas de fabricação, comercialização, gerenciamento. Com esse cenário e visando definir uma tipologia de avaliação, em função do quê, de quando e de como avaliar, são identificados vários tipos de avaliação (não exclusivos) divididos em três grupos. São eles:

i) Segundo o quê avaliar

Retoma-se aqui a tipologia desenvolvida por [SUCHMAN, 1967], que identifica cinco tipos ou níveis de avaliação, descritos da seguinte maneira:

- Avaliação do esforço

Objetiva-se avaliar uma determinada situação apreciando o esforço necessário para transformar as entradas em saídas. A análise se concentra especificamente nas entradas, ou seja, em tudo o que se faz necessário para alcançar os objetivos desejados. Aprecia-se o valor dessas entradas (insumos, recursos econômicos, recursos humanos, ...), que passam a ser elementos fundamentais e suficientes da análise. Seguindo essa ótica, pode-se avaliar, por exemplo, um projeto de construção de uma usina elétrica apreciando-se o valor dos recursos necessários para gerar energia.

- *Eficácia*

A avaliação é feita unicamente sobre os resultados obtidos, ou seja, a análise se concentra nas saídas. Assim sendo, avaliar uma determinada situação implica em apreciar resultados determinando seu valor. Seguindo essa ótica e retomando o exemplo anterior, o projeto de construção de uma usina de energia elétrica será analisado considerando-se simplesmente a quantidade de energia que será possível gerar, ou seja, quantos watts de energia representa o investimento.

- *Suficiência*

A análise é voltada a apreciar a relação entre os resultados obtidos e sua razão de ser, ou seja, sua real necessidade. O interesse, nesse tipo de avaliação, se concentra na análise das razões que justificam ou não os resultados obtidos. Dito em outras palavras, verificar-se-á se os resultados cobrem alguma necessidade específica. Usando o exemplo da construção de uma usina elétrica, a avaliação, neste caso, implica verificar se há necessidade de gerar energia, ou seja, se ela é indispensável ou não.

- *Eficiência*

Este tipo de avaliação é uma análise mais ampla, porque considera tanto as saídas como as entradas. O interesse reside na relação entre os resultados obtidos e os recursos utilizados, observando sua proporcionalidade. Assim, aprecia-se a quantidade de recursos que são utilizados para produzir uma unidade do produto final. No exemplo do projeto de construção da usina elétrica, essa avaliação permite identificar o volume de recursos necessários para gerar uma certa quantidade de energia.

- *Processo*

Considerando-se um processo como a função que transforma as entradas em saídas, ou seja, o que leva os recursos e insumos a formar os produtos ou resultados e analisar a forma

de como se dá essa transformação e quais são suas características é o interesse deste tipo de avaliação. Retomando o exemplo anterior, o projeto da usina elétrica será avaliado observando-se como se gera energia, ou seja, quais são as formas utilizadas para transformar os insumos em energia elétrica.

ii) Quando avaliar

Retoma-se aqui a tipologia desenvolvida por [STUFFLEBEAM, 1971] que, em função do momento em que é feita a avaliação, identifica quatro níveis de avaliação: no início, no final, no processo e no contexto.

- Avaliação no início

A análise tem lugar no início do processo e objetiva apreciar as necessidades de recursos e a forma como eles serão utilizados para alcançar os objetivos estabelecidos.

- Avaliação no final

O interesse reside em identificar e analisar os resultados obtidos e verificar se foram atingidos os objetivos. Se os resultados não são satisfatórios, estabelecem-se linhas de retro-alimentação visando possíveis ajustes que se fizerem necessários para corrigir os desvios que porventura ocorreram.

- Avaliação no processo

A análise se concentra na forma como são produzidos os resultados e os controles que serão necessários para garantir o uso adequado dos recursos. A avaliação permite realizar modificações de forma a melhorar o desempenho do processo de transformação.

- *Avaliação no contexto*

Visa identificar os objetivos e as metas que serão alcançadas. Ela considera a situação analisada, mais seu entorno, observando quais e como serão cumpridos os objetivos, quais as dificuldades, os meios, as facilidades, as vantagens e desvantagens. Constitui uma visão mais ampla, uma vez que considera não somente a situação analisada, mas também seu entorno, vale dizer o contexto no qual se insere.

iii) Como avaliar

Em função das características do processo de avaliação, das variáveis consideradas e da abordagem utilizada, são identificados quatro tipos de avaliação. São eles:

- *Avaliação Monocritério*

A característica fundamental diz respeito à obtenção de resultados baseados num único critério. Há situações nas quais um único atributo (na qualidade de critério) é utilizado para explicar o comportamento de uma determinada situação e é com base nesse critério que são feitas as medições, os julgamentos e as comparações.

Utiliza-se um único critério pelas mais variadas razões, como, por exemplo, para simplificar a análise, ou porque esse atributo é fundamental e descreve perfeitamente a situação analisada; ou porque o ganho de levar em consideração outras variáveis não justifica o esforço necessário para seu processamento, entre outras.

- *Avaliação Multicritério*

Nesse tipo de avaliação leva-se em consideração uma multiplicidade de critérios. Uma determinada situação é descrita usando vários atributos de dimensões distintas sem necessidade de reduzi-las a uma única dimensão. Passam a ser vários os pontos de referência utilizados no processo de

avaliação e muitas são as formas de agregar as preferências ou julgamentos para obter uma solução.

- Avaliação "ex ante"¹⁷

Como seu próprio nome indica, este tipo de avaliação tem como característica apreciar as variáveis antes de executar uma ação. Trata-se de uma abordagem "a priori" em que são estudados os possíveis efeitos ou conseqüências das ações a serem implementadas. Analisar, por exemplo, a pertinência de um complexo industrial antes de sua construção segue esta abordagem. A avaliação de projetos de investimento constitui também um bom exemplo.

- Avaliação "ex post"

Dita também de avaliação "a posteriori", se caracteriza por ser feita após a execução de uma determinada ação (planejada ou não): Assim sendo, são estudadas as conseqüências geradas pelos acontecimentos. Estudar, por exemplo, o impacto ambiental ou o dano ao meio ambiente provocado pelo derramamento de petróleo num acidente no mar ou a mudança do comportamento das pessoas após a implementação de uma nova tecnologia constituem exemplos desta abordagem.

c) Métodos de avaliação

Há na literatura, mais de uma centena de métodos desenvolvidos para a avaliação de projetos nas mais diversas áreas [DANILA, 1989]. Segundo pesquisas deste autor¹⁸, podem ser identificadas oito classes de métodos de avaliação selecionados segundo critérios tais como: métodos que

17 Observe-se que a avaliação "ex ante" é muito parecida com a "avaliação no início" e a "ex post" com a "avaliação no final". A diferenciação entre ambas obedece, simplesmente, à forma de apresentação aqui adotada.

18 Retoma-se, aqui, os resultados das pesquisas desenvolvidas por DANILA, que visam analisar as estratégias de avaliação e seleção de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Este autor, no levantamento e estudo exaustivo de métodos de avaliação de projetos de P&D, indica que a maioria deles são métodos de aplicação genérica que foram adaptados para a avaliação desse tipo de projetos.

ênfatizam a formalização do problema, em função do grau de quantificação, do ponto inicial ou ponto de partida (para cima ou para baixo), do nível de análise (micro ou macroeconômico), do tipo de conceitualização (analítica, sintética ou híbrida), do número de critérios (unidimensional ou multidimensional) e da abrangência da avaliação (individual ou de portfólio). No entanto, levando-se em consideração a maneira como são obtidos e apresentados os resultados da avaliação, DANILA¹⁹ identifica como sendo treze os principais tipos de métodos de avaliação²⁰, como mostra a Tabela 1. A esse respeito, um estudo bastante detalhado de critérios e métodos de avaliação e seleção de projetos de P&D pode ser encontrado em [OHAYON, 1983; 1985].

A primeira família de métodos (i.e., de "ratios") caracteriza-se pelo cálculo de uma relação de proporcionalidade (razão) entre os benefícios e os custos do projeto. É com base nesse valor numérico que o projeto é apreciado. Os métodos dos índices visam apreciar um projeto em função de um índice obtido da relação de proporção entre o valor esperado de seus benefícios e custos. São divididos em três grupos: os econômicos, que consideram os benefícios e custos associados a funções de probabilidade²¹; os financeiros, principalmente baseados nos métodos do Valor Presente, da Taxa Interna de Retorno e da Taxa de Retorno sobre o Investimento e os híbridos, que sendo uma mistura dos anteriores usam fluxos de caixa descontados para calcular os benefícios e os custos do projeto.

Os métodos baseados em programação matemática objetivam determinar a melhor forma de alocar os recursos disponíveis, visando maximizar os benefícios do projeto. Constituem, geralmente, sofisticados algoritmos matemáticos em que se define uma função a ser maximizada (dita função objetivo)

¹⁹ Op. cit.

²⁰ Limita-se aqui a apresentar, de forma bastante resumida, os principais métodos de avaliação de projetos, já que o estudo detalhado de todos eles ultrapassa os objetivos do presente trabalho.

²¹ A análise se concentra nos valores esperados de benefícios e custos do projeto.

sujeita a um conjunto de restrições que delimitam seu espaço solução.

Tipo	Principais métodos
"Ratios"	"Ratios"
Índices	Econômico (tipo Pacifico) Financeiro (tipo VP, TIR) Misto (tipo TEAL, ANSOFF)
Programação	Linear (tipo NUTT) Não linear (tipo HESS) Dinâmica Por objetivos (tipo ZELENY)
Análise de carteiras	Adelson Cramer-Smith
Matriciais	Quest Profile
Sistêmicos	Análise de redes, CPM Pert
Listas	Kiefer Eirma Becker
Árvores	CPE Pattern
Tabelas	Tecdev Monsanto Carey
Multicritério	Marsam-Electre Electre-Oreste
Consenso	Delphi Ringi Regra de Thumb
Gráfico	Iceps P.I.
Integrativo	Aladin

Tabela 1: Tipologia de métodos de avaliação [DANILA²², 1989]

A avaliação de projetos segundo a análise de carteiras, ou portfólio [MARKOWITZ, 1959; SHARPE, 1963], considera os projetos como sendo divisíveis, ou seja, que podem ser fracionados, sendo possível obter combinações lineares dos próprios projetos, bem como de suas alternativas. A análise se concentra na determinação, dentre os vários projetos possíveis, daquela combinação que permita maximizar o retorno da carteira de projetos mantendo um nível desejado de risco.

²² Op.cit.

Nos métodos matriciais, arranjos são utilizados para relacionar as diversas ações com os fatores envolvidos. As quadriculas definidas pela interseção das linhas com as colunas representam as possíveis relações (impactos, contribuição e ganhos) de cada fator. Assim, podem ser introduzidas variáveis temporais e parâmetros, permitindo a valoração dessas relações.

O grupo de métodos com abordagem sistêmica considera o projeto como uma seqüência ou conjunto de atividades e fases que deverão ser cumpridas de acordo com um programa devidamente planejado. Os métodos mais conhecidos são o PERT e o CPM²³, usados também na programação e no controle de projetos.

As listas constituem uma outra forma de avaliar em que o processo é reduzido a verificar se todas as características do problema estão de acordo com uma seqüência de itens pré-definidos e considerados fundamentais. Essa listagem é, geralmente, dividida em grupos específicos, atendendo a algum critério definido. Assim, por exemplo, o método EIRMA²⁴ diferencia dois grupos: aqueles fatores que têm influência no sucesso técnico e aqueles que determinam o sucesso comercial do empreendimento.

Os métodos baseados em árvores decompõem o problema numa série de análises seqüenciais representadas através de uma estrutura gráfica com vários pontos de decisão, incluindo seus possíveis resultados. Essa estrutura gráfica é apresentada sob a forma de uma árvore com várias ramificações que ao ligar os nós, fornecem combinações de diferentes ações a serem adotadas.

A família de métodos baseados em tabelas é muito próxima daquela que usa listas. São vários os elementos em comum e a diferença fundamental reside nos elementos da tabela que não são propriamente uma listagem de itens a serem conferidos,

²³ "Program Evaluation and Review Technic" e "Critical Path Method", respectivamente.

²⁴ "European Industrial Research Management Association".

mas critérios em si, com os quais é feita a avaliação do projeto.

Os métodos multicritério têm como característica a multiplicidade de dimensões consideradas no processo de avaliação. Assim, são vários os elementos analisados, várias as dimensões consideradas e muitas são suas formas de agregação²⁵.

Os métodos gráficos utilizam técnicas visuais no processo de avaliação. Geralmente, são de natureza interativa, ou seja, permitem uma interação do analista com o processamento e a procura da solução do problema. As variáveis e os parâmetros utilizados são representados sob a forma de gráficos, mostrando, de maneira mais clara, as diferentes fases da análise.

Os métodos integrativos são caracterizados por duas abordagens, a denominada de encadeamento para a frente e a de para trás. Formulado o problema, a procura da solução é feita, no primeiro caso, a partir das variáveis e parâmetros iniciais em direção à solução e, no segundo, o sentido da procura é o inverso, ou seja, de trás para a frente, verificando se determinada ação cumpre ou não os requisitos ou restrições iniciais.

Cabe destacar, aqui, que esses métodos podem ser utilizados na avaliação integral de um projeto. No entanto, segundo pesquisa desenvolvida por [DANILA²⁶, 1989], existem métodos que se mostram apropriados na avaliação de uma determinada fase de um projeto e se tornam totalmente inadequados na avaliação de outras fases do mesmo projeto. A Tabela 2 mostra, por exemplo, como esses métodos tornam-se adequados em determinadas situações e totalmente inadequados em outras, quando da avaliação de estratégias empresariais.

²⁵ Este tipo de métodos é estudado com mais detalhes no Capítulo II do presente trabalho.

²⁶ Op.cit.

Base do método	Método	Formulação	Implementação
"Ratios"	"Ratios"	Muito pobre	Totalmente irrealizável
Índices	Econômico (tipo Pacífico) Financeiro (tipo VP, TIR) Misto (tipo TEAL, ANSOFF)	Bom Bom Muito bom	Pobre Bom Bom
Programação	Linear (tipo NUTT) Não linear (tipo HESS) Dinâmica	Pobre Bom Bom	Muito pobre Pobre Pobre
Análise de carteiras	Adelson Cramer-Smith	Bom Pobre	Pobre Pobre
Matriciais	Quest Profile	Bom Pobre	Pobre Muito pobre
Sistêmicos	Análise de redes, CPM Pert	Bom	Pobre
Listas	Kiefer Eirma Becker	Bom Bom Muito bom	Pobre Pobre Bom
Árvores	CPE Pattern	Bom Bom	Pobre Pobre
Tabelas	Tecdev Monsanto Carey	Bom Bom Bom	Pobre Pobre Pobre
Multicritério	Marsan-Electre Electre-Oreste	Bom Muito Bom	Bom Bom
Consenso	Delphi Ringi Regra de Thumb	Pobre Muito Bom Muito Pobre	Pobre Muito Bom Muito Pobre
Gráfico	Iceps P.I.	Bom Bom	Bom Pobre
Integrativo	Aladin	Excelente	Muito Bom

Tabela 2: Contribuição dos métodos de avaliação no planejamento empresarial²⁷

Observe-se, que do ponto de vista da formulação, bem como da implementação (de uma estratégia empresarial, por exemplo), a escolha de um método de avaliação pode fornecer resultados diferentes e, conseqüentemente, levar a decisões distintas. Essa pesquisa aponta que o método matricial é, por exemplo, bom em sua formulação. No entanto, do ponto de vista da implementação, é pobre, ou seja, a avaliação não se restringe somente ao método utilizado, senão, também, a saber quando aplicá-lo.

Decorre disso que é desejável saber qual método utilizar em que fase do projeto. Isso certamente vale para os projetos de investimento, como se mostra a seguir.

²⁷ Danila, 1989, op. cit.

d) Avaliação de projetos de investimento

Limitamo-nos aqui aos métodos de avaliação de projetos mais utilizados. No caso, um projeto de investimento é submetido basicamente a dois tipos de avaliação: a financeira e a econômica, segundo diferenciação estabelecida pela UNIDO²⁸.

i) Avaliação financeira

Dita também avaliação privada²⁹, visa determinar a rentabilidade do projeto analisando os quatro aspectos³⁰ seguintes (ver Tabela 3) [EHRlich, 1977]:

1) A estimativa do volume necessário de recursos financeiros, determinando-se, inicialmente, a parcela do capital correspondente ao investimento fixo e ao capital de giro (em moeda nacional e estrangeira) que serão necessários à instalação e à operação do projeto. Isso implica a análise de despesas em estudos, pesquisas, patentes, licenças, obras civis, equipamentos e infra-estrutura em geral, ou seja, em bens de capital e em valores intangíveis. Em seguida, estuda-se o calendário de investimentos, compatibilizando-o com o cronograma de financiamento dentro do plano de execução [SOTO & VIEIRA, 1990].

2) A análise de projeções financeiras visa projetar e comparar as receitas e despesas, analisando o movimento do fluxo de caixa do projeto. Dessa maneira, são consideradas as projeções das entradas de capital, as operacionais, o financiamento adicional e os gastos de investimento e as despesas operacionais, tanto na fase de execução quanto na de operação [JANSEN, 1977; FARO, 1971].

²⁸ Adota-se aqui a diferenciação em avaliação financeira e econômica da UNIDO, op. cit.

²⁹ Contador, 1981, op. cit., p.26.

³⁰ Adaptado de ILPES, 1975, op. cit., p.126-146

Principais tópicos	Elementos ou atividades	
Recursos financeiros	Necessidades totais de capital	Investimento fixo Capital de giro Calendário de investimentos
	Capital disponível	Realizado a curto prazo Realizado a médio e a longo prazo
Análise e projeções financeiras	Projeção das despesas	De investimento De operação Totais
	Projeção das entradas	De capital Receitas operacionais e outras Totais
	Financiamento adicional e ponto de equilíbrio.	
Programa de financiamento	Estrutura e fontes	Origem Distribuição no tempo Formação do capital próprio Condições de crédito
	Fontes e usos	Origem e cronologia da arrecadação Usos e Disponibilidades Políticas financeiras alternativas
Rentabilidade	Taxa interna de retorno Valor presente Período de retorno do capital Relações financeiras básicas	

Tabela 3: Principais tópicos da avaliação financeira

3) O programa de financiamento, cujo objetivo fundamental é identificar a estrutura e as fontes de financiamento. Assim, são analisadas as diversas alternativas de captação de recursos, as origens do financiamento, as formas de distribuição, as condições de crédito e as possíveis vantagens financeiras. Constrói-se o quadro de fontes e usos, ou seja, classificam-se as origens e os destinos de todos os recursos financeiros envolvidos no projeto.

4) A análise de rentabilidade, que é a última fase dessa avaliação, visa determinar os principais resultados financeiros do projeto. Para isso, calculam-se os seguintes coeficientes e indicadores (ver Anexo) [FLEISCHER, 1973; KOPITKE & CASAROTTO, 1990]:

- Valor presente
- Taxa interna de retorno
- Período de retorno do capital (pay-back-period)
- Lucro por unidade de capital investido
- Análise do ponto de equilíbrio
- Análise de sensibilidade
- Índice de liquidez corrente.

Segundo dados de uma pesquisa da UFRGS dedicada a estudar o processo de tomada de decisão de investimentos das grandes empresas e prestadoras de serviços públicos [SAUL, 1993], a rentabilidade do projeto é considerada, sob uma ótica monocriterial, como um dos critérios básicos, sendo apreciada sob dois pontos de vista: como critério principal e como secundário³¹, tal como mostra a Tabela 4.

Observe-se que o método mais utilizado é a TIR, como critério principal, e o Pay-back com atualização, como secundário. A esse respeito, a pesquisa³² indica:

"... o prestígio da TIR deve-se, possivelmente, a sua introdução no roteiros de projetos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) e do Conselho de Desenvolvimento Industrial (CDI), em meados da década de setenta, e permanece inabalado até os dias atuais, embora o VPL seja apontado pela teoria financeira como o critério mais adequado ...".

³¹ Segundo essa pesquisa foram estudadas 566 empresas de todo o país a partir de 1985; os resultados encontram-se resumidos em SAUL, op. cit., p.103.

³² Saul, 1993, op. cit., p.50.

Descrição	Uso como critério principal (%)	Uso como critério secundário (%)
Urgência do projeto	3,4	12,5
Pay-back sem atualização	4,8	8,5
Pay-back com atualização	14,3	23,0
Taxa média de retorno	7,5	4,0
TIR	49,6	16,4
VPL	10,9	20,4
Índice de lucratividade	6,8	11,2
Outros	2,7	4,0

Tabela 4: Indicadores utilizados como critério principal e secundário (dados de 1990)³³.

Contudo, quanto aos investimentos, privados ou públicos, quando submetidos à avaliação, procura-se sistematicamente comparar os benefícios e os custos do empreendimento para saber se são rentáveis, além de economicamente viáveis [PARK, 1973]. Entretanto, as conclusões normalmente obtidas na avaliação do ponto de vista privado não coincidem com aquelas obtidas considerando-se a sociedade como um todo, isto é, a avaliação do ponto de vista social ou avaliação econômica.

ii) Avaliação econômica

Ela visa detectar e apreciar os impactos diretos e indiretos do projeto sobre as atividades econômicas ou a economia como um todo, ou seja, seus efeitos num contexto amplo e não como uma unidade isolada de ação [POMERANZ, 1988].

Assim sendo, a avaliação se concentra nas perspectivas do desenvolvimento específico do setor econômico e da região e, em termos macro, do próprio país. Equivale a dizer que se

³³ Saul, 1993, op. cit., p.222.

verificará se o projeto se enquadra nas linhas e diretrizes de mudanças sociais e econômicas delineadas pelos organismos de planejamento e desenvolvimento governamentais [BUSSEY, 1978; KING, 1966].

Na avaliação econômica de um projeto são incluídos os seguintes aspectos:

- o projeto no sistema econômico, cujo objetivo é estudar o setor da economia onde o projeto vai ser inserido. São levantados indicadores, geralmente os macroeconômicos (tais como o produto interno bruto, as exportações e importações), da economia como um todo, de outros setores relacionados ou de atividades de interesse do projeto. Além desses aspectos, são também estudadas as taxas de crescimento populacional, o nível de emprego, a taxa de crescimento setorial, a participação do setor público e a estrutura pública;

- os aspectos sociais adotam papel fundamental. Dessa maneira, são levantadas informações sobre o nível de consumo, a saúde da população, a educação, a distribuição espacial da comunidade, a existência de serviços básicos e de organizações de apoio comunitário;

- são analisados também os impactos sobre as variáveis do sistema econômico, ou seja, sobre a capacidade de produção de todo o sistema; sobre o balanço de pagamentos a nível de divisas geradas e em função do balanço do comércio exterior; o emprego da mão-de-obra, seus principais índices, vantagens e desvantagens; o uso de outros fatores de produção ou setores de atividade econômica; no mercado financeiro e de capitais; no desenvolvimento tecnológico do setor ou setores; nas economias externas de outras empresas e sobre o desenvolvimento regional, a nível sócio-econômico.

À luz do exposto, é importante observar que para avaliar a contribuição de um projeto à economia nacional é necessário explicitar os benefícios e custos sociais visando maximizar o

bem-estar social³⁴. No entanto, a divergência entre os preços de mercado (ou seja, aqueles observados no cotidiano, quer se trate de bens, insumos ou serviços finais) e os preços sociais (ou seja, aqueles que não são diretamente observáveis devido à informação imperfeita, estratégias de vendas, deficiências de mercado, entre outros, mas que reflete os custos de oportunidade para a economia como um todo) diferencia os métodos de avaliação financeira da econômica. Com efeito, os países em desenvolvimento são geralmente caracterizados, por exemplo, por imperfeições de mercado, externalidades e outras condições de diversas origens que conduzem a grandes disparidades³⁵ entre o retorno social e o privado [LEFF, 1986].

Um dos pioneiros na avaliação com preços econômicos foi a CEPAL³⁶, nos anos cinquenta, indicando que os preços de mercado seriam válidos na análise se fossem respeitadas as leis de concorrência perfeita [CEPAL, 1958]. Mas, pelos motivos acima citados, os preços observados são destorcidos e não representam o valor dos bens e serviços para a sociedade em seu conjunto. Nesse sentido, várias instituições e organismos de financiamento e desenvolvimento propuseram metodologias para a avaliação social de projetos. As mais conhecidas e aceitas são as do Banco Mundial [HARVERGER, 1968; SQUIRE & VAN DER TAK, 1979], da OCDE [LITTLE & MIRRLEES, 1968; 1974] e da ONUDI [DASGUPTA, 1972].

A abordagem da OCDE e do Banco Mundial centra-se na idéia de que cada produto ou bem de um projeto representa um ganho real em divisas e no uso de insumos. Portanto, o projeto deve ser avaliado com base no produto social não

³⁴ Expressando em termos matemáticos, atingir-se-á o ótimo se o bem-estar de pelo menos um indivíduo é melhorado enquanto o dos outros permanece inalterado. Se considerarmos o bem-estar total BE como uma função de bem-estares individuais b_i , ou seja: $BE=(b_1, b_2, \dots b_n)$, o ótimo é atingido quando $\Delta b_i \geq 0$ para todos os i .

³⁵ Não se aprofunda esse tópico, porque ele escapa ao objetivo do presente trabalho.

³⁶ Segundo Contador, 1981, op. cit., p.55.

empenhado no consumo, ou seja, aquela diferença entre o aumento de oferta e o aumento de demanda³⁷.

Em relação à abordagem adotada pela UNIDO, esta considera não o produto social não empenhado no consumo, mas o consumo agregado pelos diferentes grupos econômicos e representados por um sistema de ponderação ou pesos refletindo as prioridades estabelecidas pelo governo. Nesta análise, usam-se preços internos de mercado corrigidos segundo taxas ou fatores de ajuste calculados para cada item de forma isolada.

O método envolve os seguintes aspectos: identificação e mensuração de custos e benefícios diretos e indiretos para o consumo global, mensuração de preços de mão-de-obra, de investimentos e de divisas ou câmbio; cálculo dos indicadores sociais tais como a taxa de desconto social, redistribuição da renda, estimativa do efeito da geração de emprego e as estimativas de poupança e de câmbio.

Não obstante, há divergências entre esses dois enfoques devido às hipóteses implícitas em cada um deles. A esse respeito [Contador³⁸, 1981] indica:

"... o enfoque Little-Mirrlees supõe e preconiza o livre comércio, enquanto Dasgupta e Marglin aceitam o mundo mais realista das barreiras, tarifas, etc. Como é pouco provável que toda uma orientação da política industrial de substituição de importação seja reformada simplesmente devido às recomendações da agência de avaliação de projetos, o enfoque UNIDO é o mais adequado aos países em desenvolvimento ...".

A solução aos problemas de investimento nos países em desenvolvimento foi, em última instância, norteadada pela abordagem custo-benefício. Mas, com um duplo comportamento.

³⁷ Trata-se, na realidade, do lucro social representado pela diferença entre os ditos "outputs" e os "inputs" do projeto.

³⁸ Op. cit. P.64.

Por um lado, os responsáveis pela decisão de investimento raramente usam a análise Custo/Benefício para escolher investimentos porque acreditam que é uma técnica muito exigente em termos de dados e capacidade de planejamento. Não leva em consideração as realidades dos analistas e a disponibilidade de informação e tempo, e até mesmo porque o custo dessa técnica é maior que o dos benefícios obtidos³⁹. Por outro lado, eles acreditam que uma análise segundo uma abordagem intersetorial evita e supera todos os problemas da escolha de investimentos, ou seja, a preferência por setores que necessitam de maior prioridade é a solução mais pertinente.

Contudo, deve-se destacar que a avaliação social de projetos procura, em última instância, analisar a relação Custo/Benefício (ver Anexo) de todos os seus efeitos e impactos sobre a economia, sejam diretos (resultados do projeto) ou indiretos (relacionados aos efeitos sobre terceiros e as externalidades geradas), utilizando um único critério: o econômico (incluídos os não diretamente mensuráveis em termos monetários⁴⁰).

Diante do exposto, e em função das características das avaliações econômica e financeira até agora estudadas, observe-se que sua aplicação não é fácil nem direta. Ela não é isenta de uma série de limitações, apresentadas a seguir.

e) Principais limitações da análise Custo/Benefício

A avaliação de projetos de investimento nos termos acima apresentados caracteriza-se pela predominância de um único critério como elemento de decisão, ou seja, ele é indicador quase que exclusivo de aprovação e posterior execução, isto é, um instrumento de legitimação.

³⁹ Leff, 1986, op. cit.

⁴⁰ A análise Custo/Benefício usa valores estimados e preços sombra, ou seja, considera-se unicamente o custo efetivo dos fatores.

Considere-se, por exemplo, um projeto de investimento industrial. Segundo a Organização para o Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas⁴¹, o perfil de um estudo de pré-viabilidade abrange os seguintes aspectos:

- i) Dados históricos do projeto, custos dos estudos e/ou pesquisas realizadas.
- ii) Demanda e mercado:
 - Tamanho e capacidade, seu crescimento passado, estimativa de crescimento futuro, dispersão local da indústria, seus problemas e perspectivas;
 - as importações e suas tendências;
 - aspectos políticos, prioridades e metas em relação ao projeto;
 - tamanho atual da demanda, crescimento previsto segundo determinados indicadores;
 - localização de mercados e concorrência, previsão de vendas e "marketing";
 - programa de produção, produtos, subprodutos e resíduos;
 - capacidade normal viável da fábrica.
- iii) Matérias-primas e insumos: matéria-prima nacional e importada, materiais semiprocessados, auxiliares, insumos e suprimentos de fábrica.
- iv) Localização, pré-seleção e infra-estrutura básica;
- v) Engenharia, tecnologias e equipamentos nacionais e importados, peças de reposição e ferramentas.
- vi) Obras civis, "lay-out", arranjos e infra-estrutura auxiliar.
- vii) Recursos humanos, necessidade de mão-de-obra, treinamento e adaptação.
- viii) Cronograma de implementação.

⁴¹ UNIDO, 1987, op. cit., p. 249.

ix) Avaliação econômica e financeira:

- custos totais do investimento, de capital de giro e ativo fixo estimado;
- financiamento (local e estrangeiro), estrutura de capital e de juros;
- custos de produção ou serviço fixos e variáveis;
- cálculo de índices de rentabilidade, capacidade de pagamento, taxas de retorno e ponto de equilíbrio;
- cálculo de indicadores, taxa de câmbio projetada, protecionismo efetivo, análise Custo/Benefício;
- diversificação econômico-industrial;
- geração de emprego e consumo;
- estimativa de poupança de câmbio (divisas).

x) Informações adicionais e anexos.

Deve-se destacar que as ferramentas de avaliação incluídas nesse perfil levam em consideração um conjunto de variáveis, em princípio diferentes, porém reduzidas à dimensão econômica. Com efeito, variáveis tais como "mercado", "tecnologia e engenharia", "recursos humanos", entre outros, são transformadas em expressões econômicas.

Assim, a Figura 4 mostra, por exemplo, a origem dos itens de custo para o cálculo de rentabilidade de um projeto industrial. Entretanto, sabe-se que não é possível reduzir todas as variáveis representativas de um projeto à dimensão econômica. A esse respeito [WOILER, 1975] indica que são três os tipos de critérios considerados num projeto: os critérios econômicos, os financeiros e os imponderáveis, referentes aos fatores não mensuráveis em moeda e de responsabilidade da alta administração do projeto.

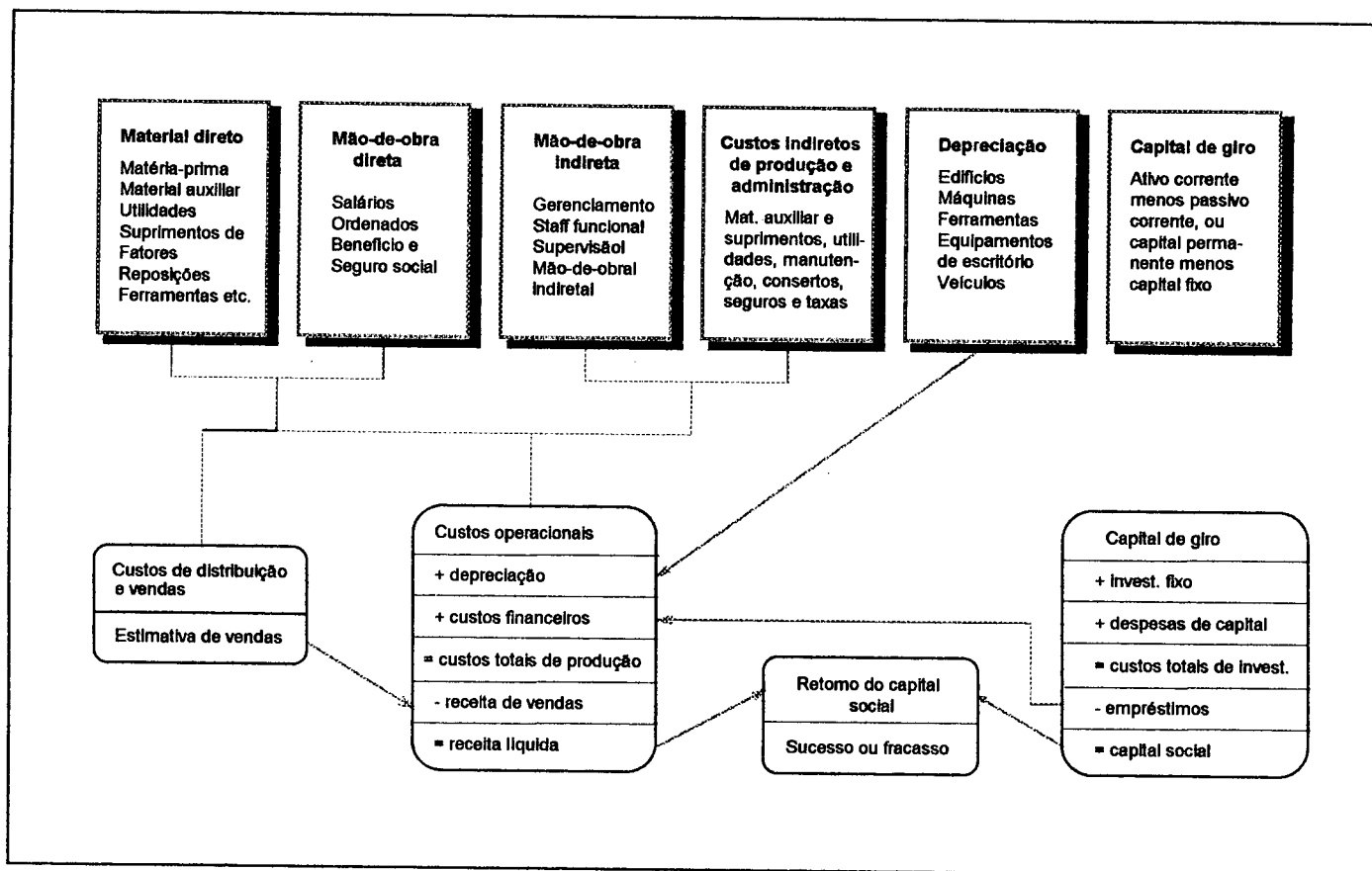


Figura 4: Cálculo de rentabilidade de um projeto industrial⁴²

⁴² UNIDO 1987, op. cit., p. 210

Nesse sentido, além dos aspectos econômico-financeiros, são vários os elementos, estudados no projeto, não traduzíveis em termos monetários (entre outros os detalhes técnicos, administrativos, jurídicos, do meio ambiente), porém de influência direta no sucesso ou fracasso de um empreendimento. Além disso, outros elementos de características mais subjetivas⁴³ como, por exemplo, a imagem da empresa, encaixam-se nessa situação. Eles têm peso e não são apreciados no seu real significado devido à dificuldade de expressá-los em termos monetários [AMIN & SOW, 1975].

Ampliando este raciocínio, na avaliação de projetos segundo essa ótica, é necessário elaborar previsões sobre o fluxo futuro de benefícios e custos. Mas, sabe-se que os sistemas mais simples de previsão, em geral, extrapolam os valores atribuídos a seus parâmetros, em especial quando são referenciados valores monetários.

Assim sendo, supõe-se, portanto, que esses valores relativos não se modificam ao longo da vida útil do projeto. Até um certo ponto, essa hipótese é válida e perfeitamente justificável⁴⁴, mas, como saber se as projeções e estimativas do projeto serão posteriormente corroboradas? Praticamente é impossível prever com absoluto acerto o futuro, logo, faz-se necessário acrescentar, na análise, variáveis de incerteza e imprecisão.

Note-se que esta visão é bem distinta da análise de sensibilidade, de probabilidades e do ponto de equilíbrio geralmente usadas nessas abordagens. Com efeito, o manual da UNIDO⁴⁵, ao decidir sobre a "desejabilidade" de um projeto, limita-se a considerar a incerteza na forma de um risco previsível, que o projeto poderá ou não suportar, deixando de lado a incerteza e imprecisão como variáveis de decisão.

⁴³ Ditos também "intangíveis".

⁴⁴ É sabido que quanto mais avançadas as previsões para o futuro maior a incerteza quanto às estimativas.

⁴⁵ UNIDO, 1987, op. cit., p. 221.

Assim sendo, e em razão do conjunto de considerações acima citadas, fica claro que a avaliação de projetos segundo a abordagem convencional mostra-se insuficiente como único instrumento de tomada de decisão perante a complexidade da análise de um projeto de investimento⁴⁶.

A esse respeito, Magalhães aponta várias deficiências, dificuldades e limitações decorrentes da prática dessa avaliação que ele denomina de convencional. Segundo esse autor apresenta-se o seguinte fato⁴⁷:

"... há projetos que quando examinados sob o ponto de vista nacional, seriam, de pronto, rejeitados em função dos critérios tradicionais de análise. Entretanto, visto sob o enfoque regional, seriam prontamente aceitos ..."

Nesse sentido, ele indica que a avaliação de projetos deveria pressupor quatro elementos básicos que raramente são constatados nos países em desenvolvimento, o que limita sobremaneira a possibilidade de avaliação. São eles:

- i) Existência de critérios homogêneos;
- ii) existência de diagnósticos setoriais com vistas a apreciar as informações constantes nos projetos;
- iii) disponibilidade de um pacote de projetos concorrentes, para dar oportunidade de se colocarem em pauta critérios de seleção de caráter macroeconômico que impliquem na escolha de uma das alternativas;
- iv) conhecimento de padrões definidos de comparação para projetos de diferentes setores e subsetores econômicos.

⁴⁶ Cabe destacar que há situações específicas em que as ferramentas de avaliação financeira e econômica são suficientes para a tomada de decisão. Tratam-se de projetos muito específicos e simples, nos quais o esforço na apreciação de critérios além dos econômicos não traz vantagens significativas ou os resultados não o justificam. Tal é o caso, por exemplo, do problema de substituição idêntica de equipamentos.

⁴⁷ Magalhães 1987, op. cit., p. 168.

Em função dessas limitações de ordem prática, o autor aponta as seguintes duas conseqüências quando da avaliação convencional de projetos⁴⁸:

"a) os agentes financeiros funcionam como órgão expedidor de licença, sempre que solicitado. Em alguns casos, não se aprovam todos os projetos, mas a rejeição está sempre ligada ao problema de enquadramento, ou à insuficiência de garantias. Quase nunca se indefere pedido de financiamento com base no uso de critérios de avaliação usual ... e as divergências surgidas no que respeita ao que se deve medir e como medir, para avaliar, faz surgir na prática, que esta tarefa seja realizada segundo as preferências pessoais dos que dela se encarregam;

b) a decisão de financiar ou não um empreendimento é tomada em função das garantias oferecidas, sem se importar, muitas vezes, com a capacidade de pagamento, rentabilidade e viabilidade do plano apresentado, ..., os critérios de análise deveriam refletir as decisões tomadas no tocante à política econômica global, ou às políticas industriais, agrícolas, regionais ...".

Além dessas conseqüências, LEFF⁴⁹ aponta que na realidade as técnicas tradicionais de avaliação de projetos são muito pouco utilizadas, sendo o bom senso e as regras empíricas o fundamento das decisões tomadas na aceitação ou rejeição de projetos de investimentos. Assim, ele indica o seguinte:

"Os responsáveis pelas decisões do governo julgam mais eficiente utilizar um critério de decisão heurística do que uma abordagem de otimização

⁴⁸ Magalhães, 1987, op. cit., p. 169.

⁴⁹ Op. cit., 1986.

*como a análise custo benefício... Na verdade, por razões semelhantes, observa-se vez por outra, que os tomadores de decisão de investimentos em empresas privadas dentro das nações economicamente mais avançadas comportam-se de modo idêntico. Rejeitando as metodologias que os economistas desenvolveram para a escolha de investimentos privados, as firmas têm freqüentemente adotado abordagens estratégicas para a tomada de suas principais decisões sobre investimentos"*⁵⁰.

Em suma, as principais limitações dessa avaliação podem ser assim resumidas:

i) Há uma redução de várias dimensões a uma única: a econômica, ou seja, trata-se de uma avaliação monocritério de um projeto de investimento. No entanto, fica muito claro que o documento onde é explicitado o projeto contém informações de toda ordem, as quais ficam, geralmente, isoladas e fora do alcance das ferramentas tradicionais de avaliação.

ii) Há dificuldade no tratamento da incerteza no processo avaliatório. Ela se limita unicamente ao cálculo do risco, análise de sensibilidade e ponto de equilíbrio.

iii) Há necessidade de um mecanismo de agregação horizontal que incorpore todas as variáveis de decisão na avaliação do projeto, sejam qualitativas e quantitativas, econômicas, ou não.

Deduz-se daí que a abordagem monocriterial de avaliação de projetos de investimento é, de certa forma, insuficiente perante a complexidade da questão da avaliação, até porque há uma superposição de várias dimensões. Nesse sentido, um projeto é avaliado segundo métodos específicos com base na informação contida no documento que especifica e detalha o empreendimento. Geralmente, esse documento é avaliado por

⁵⁰ LEFF 1987, op. cit., p. 411

organismos e instituições de financiamento. Obviamente, eles dispõem de uma equipe de especialistas cuja tarefa é avaliar projetos e emitir elementos de juízo para a tomada de decisão no tocante aos pedidos de financiamento. Assim sendo, apresenta-se a título de exemplo, a seguir, a visão desses organismos, em especial a da principal agência nacional financiadora de projetos.

f) Visão dos financiadores de projetos

Um projeto, como documento aglutinador de informações que permitem julgar sua aplicabilidade, é também um instrumento de negociação e de justificação no tocante às operações de crédito com que pretende financiar-se.

Com efeito, geralmente um projeto de investimento sai do controle de quem o elaborou ou encomendou para ser colocado à disposição de outras pessoas para ser avaliado. Isso, notadamente, quando se recorre a organismos de crédito nacionais ou internacionais para o financiamento parcial ou total do projeto; ou quando sua execução requer algum tipo de autorização de instituições regionais, estaduais ou federais de caráter estatal ou privado, ou simplesmente porque há necessidade de analisar e justificar a viabilidade do projeto para qualquer requerimento ou exigência que se fizer necessária.

É útil, portanto, estudar a visão das instituições dedicadas à avaliação de projetos de investimento, em especial de organizações nacionais (a nível federal) de planejamento ou de crédito e de financiamento, para analisar suas exigências, requerimentos e, em particular, os indicadores ou critérios que são utilizados para verificar a viabilidade e a confiabilidade de um projeto.

Nesse sentido, descreve-se de forma sucinta, a visão de um dos principais órgãos federais de desenvolvimento, o

BNDES⁵¹, cuja função explícita é de apoio financeiro a projetos privados e estatais com empréstimos a médio e longo prazo e a baixas taxas de juros⁵², conforme políticas nacionais de desenvolvimento.

O BNDES segue o padrão de comportamento das instituições internacionais de financiamento e oferece assistência nas áreas de indústria, tecnologia, energia, transportes, agricultura, de serviços em geral e de extensão social [BNDES, 1988].

Para cumprir suas tarefas, ela está estruturada em quatro blocos organizacionais: o empresarial, onde são feitas as negociações, contratos e acordos com as empresas; o operacional, dedicado a lidar com empresas que apresentam pequenos projetos ou considerados de menor risco; o de infraestrutura e transportes, cuja função é auxiliar nos aspectos externos às empresas, tais como vias de transporte e construção de obras civis; e a área de crédito, cuja função é o atendimento a pequenos créditos e dar o suporte às demais áreas do BNDES em matéria de crédito.

Com essa estrutura, são financiados empreendimentos com as seguintes características: projetos de engenharia, capacitação tecnológica e treinamento de mão-de-obra, desenvolvimento tecnológico, projetos envolvendo ativos permanentes e infraestrutura econômica e social, racionalização ou produção de energia, despesas financeiras, pré-operacionais e de importação e de controle ambiental.

Para a apresentação e avaliação desses projetos, segue-se um roteiro básico de análise e avaliação de projetos desenvolvida para dar ênfase na qualidade da informação contida nos documentos e não em sua forma de apresentação. Assim, seguem-se duas diretrizes orientadas pela idéia de "padrão de concorrência", ou seja, um ponto de vista por eles

51 Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, criado como uma autarquia federal em 1952 e ratificada em 1956.

52 IPEA 1974, op. cit., p.35.

adotado e definido como sendo de modernidade e competitividade⁵³. Essas duas linhas são:

i) agir em conformidade com os objetivos, diretrizes e metas estabelecidos pelos organismos de planejamento governamental, procurando dar ênfase aos projetos que favorecem os objetivos econômicos e sociais da sociedade;

ii) integrar em níveis diferentes os aspectos microeconômicos e macroeconômicos no que se refere ao planejamento, análise e avaliação de projetos.

Sob esse ponto de vista, a análise do projeto contempla três tópicos, que são: o próprio projeto, a empresa e o grupo econômico onde se insere. O roteiro dessa análise é basicamente o seguinte⁵⁴:

- Padrão de concorrência (de mercado) do projeto:
 - identificação do mercado;
 - caracterização da estrutura de mercado;
 - identificação do padrão de concorrência;
 - perspectivas do mercado.
- Avaliação da empresa/grupo e da sua estratégia:
 - identificação do grupo;
 - expressão da empresa/grupo no mercado em questão;
 - análise da empresa vis-à-vis ao padrão de concorrência.
- O projeto e seus impactos na empresa/grupo e no mercado:
 - objetivos;
 - análise da adequação do projeto ao padrão de concorrência do mercado;
 - análise técnica;

⁵³ SAUL, 1993, op. cit., p.185.

⁵⁴ Saul 1993, op. cit., p. 195.

- análise de localização do projeto;
- usos e fontes;
- análise financeira prospectiva;
- introdução do cálculo da TIRPI⁵⁵
- O projeto e seus impactos sociais, renda e emprego.
- Avaliação do projeto sob a ótica da política de alocação de recursos do Sistema BNDES
- Conclusões e recomendações da análise.

Cabe destacar que, na avaliação, são levadas em consideração informações⁵⁶ sobre a empresa que apresenta o projeto, o mercado, a viabilidade técnica e econômica, projeções financeiras, balanços, comparação com a economia internacional, impacto sobre o meio ambiente, organização e os impactos sociais e sobre a renda e o emprego.

Percebe-se, do exposto, que na prática um organismo de financiamento não se limita unicamente a apreciar a rentabilidade do projeto, ou seja, a verificar se o empreendimento é ou não economicamente atraente. Muito pelo contrário, são várias as informações consideradas na tomada de decisão, sendo a econômica um dos elementos de julgamento, mas não exclusivo. Há necessidade, portanto, de ultrapassar a visão monocriterial da avaliação tradicional de projetos de investimento para incorporar, uma ferramenta ou modelo de avaliação, esses outros aspectos, que como antes mencionado, fazem parte do processo decisório; mas não se dispõe de uma ferramenta especificamente desenvolvida para equacionar essa situação.

⁵⁵ Taxa interna de retorno a preços internacionais.

⁵⁶ Essas informações representam, na realidade, a base dos critérios utilizados na avaliação de projetos.

3. Conclusão

O exposto leva a concluir que há uma variedade de áreas em que são formulados e desenvolvidos uma diversidade de projetos que são, em geral, avaliados segundo métodos fundamentados numa visão monocriterial, ou seja, considerando-se critérios econômico-financeiros como principais elementos de julgamento e de tomada de decisão.

No caso de projetos de investimento, a avaliação tradicional considera, do ponto de vista formal, somente critérios econômico-financeiros como elemento mais do que suficiente para a tomada de decisão. No entanto, um estudo mais aprofundado da questão em apreço permitiu observar que, na realidade, a avaliação de projetos de investimento, e em especial a tomada de decisão, requerem que se leve em consideração um conjunto de critérios qualitativos e quantitativos, econômicos e não econômicos.

Observa-se também, que a estrutura básica de um projeto como documento de análise geralmente contém aspectos técnicos, econômicos, financeiros, organizacionais, administrativos e legais, além de duas avaliações, a financeira e a econômica. A primeira determina a rentabilidade econômica do projeto e a segunda, a dita rentabilidade social. Portanto, o projeto fornece informações básicas de natureza qualitativa e quantitativa sistematicamente organizadas.

A avaliação de projetos segundo organismos de financiamento, em geral, tem como base essas informações, além de outras adicionais ou próprias dessas instituições. Trata-se, na realidade, de uma visão multicriterial não formalizada, segundo a qual o projeto é apreciado sob vários pontos de vista.

É importante observar que na avaliação convencional são levados em consideração unicamente aqueles critérios que podem ser quantificados em termos econômicos, deixando-se de

lado aqueles que não o são. Não obstante, mostrou-se que há casos especiais de projetos de investimento em que as ferramentas tradicionais de avaliação são suficientes. Tratam-se, de projetos muito específicos, pequenos e simples, que não envolvem muitas variáveis de decisão e onde o esforço no acréscimo de mais elementos de juízo na avaliação do projeto não melhora substancialmente a qualidade da decisão⁵⁷. Nesse caso específico, maior é o esforço no manejo de múltiplas variáveis (critérios) que o benefício obtido com elas.

Mas, os projetos de investimento são bastante complexos e como foi mostrado no presente capítulo, é necessário levantar e analisar muita informação para sua avaliação. Tem sentido, portanto, formular um método de agregação de todas essas informações baseadas numa abordagem multicritério, até porque muitos projetos constituem, na prática, uma pilha de informações contidas em vários volumes a serem estudados pelos analistas que não dispõem de ferramenta ampla e operacional que lhes permita agregá-las e extrair elementos de juízo na tomada de decisão. Nesse sentido, por entender que a insuficiência da avaliação convencional como método de avaliação integral de um projeto e a falta de um método mais amplo, operacional e multidimensional, recorre-se à abordagem multicriterial, mostrando que, por suas características, ele permite cobrir as deficiências do enfoque monocriterial quando da avaliação de complexos projetos de investimento⁵⁸. É a análise multicritério objeto de nossa atenção no próximo Capítulo.

⁵⁷ Ver, a este respeito, René Santa Cruz, "Substituição e Renovação de Equipamentos", Mimeo, UFSC, 1992.

⁵⁸ É importante deixar claramente estabelecido que os conceitos de avaliação e decisão são distintos. No entanto, no presente trabalho, estabelece-se uma forte correlação entre avaliação e tomada de decisão. Com efeito, a avaliação tradicional de projetos de investimento segue uma abordagem monocriterial, enquanto que a tomada de decisão de sua implementação segue uma abordagem multicriterial. Ciente de que a avaliação de um projeto deve fornecer elementos de juízo para a tomada de decisão, o conjunto "avaliação - decisão" deve ser também multicriterial, tal como se mostra nos próximos capítulos.

CAPÍTULO II
AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

Sumário

1. Principais definições
2. Tipos de métodos
3. Métodos multiatributo
 - a) Principais elementos da formulação multiatributo
 - b) Classificação dos métodos multiatributo
4. Vantagens e limites da abordagem multicritério
5. Conclusão

Vem-se registrando, principalmente nas últimas duas décadas, um interesse cada vez maior no desenvolvimento e uso da análise multicritério nas mais diversas áreas do saber. Observa-se esse comportamento no campo acadêmico (ensino e pesquisa) e na solução de problemas específicos como resposta à crescente demanda de instrumentos e ferramentas mais flexíveis e confiáveis de gerenciamento de organizações.

A abordagem multicritério surgiu como uma resposta às necessidades não preenchidas pelo modelo racional clássico a partir de um dos primeiros trabalhos científicos desenvolvidos por [KOOPMANS, 1951; 1953; 1956]. Assim, a concepção da formulação de problemas de tomada de decisão na base de um decisor e de um único critério, num ambiente de informação perfeita, é considerada insuficiente e irreal. Com efeito, ao examinar minuciosamente a realidade e constatar a complexidade das organizações, observa-se que as decisões não são, em geral, resultantes da participação de um único decisor que se baseia num só critério e que dispõe, no momento exato, de todas as informações necessárias. Muito pelo contrário, é comum serem vários os decisores que recorrem a um conjunto de pontos de referência (em última instância, critérios) para expressar seus julgamentos num

mundo caracterizado pela falta, a ambigüidade e a imprecisão da informação.

Face às características dos problemas decisórios de natureza diversa, a abordagem multicritério preenche essa lacuna por considerar uma pluralidade de decisores e uma multiplicidade de critérios envolvendo pontos de vista diferenciados e até mesmo, contraditórios [HIPEL & FANG, 1993; KO, 1988]. Assim sendo, o presente capítulo é dedicado ao estudo do enfoque multicritério, em especial seus principais métodos, mostrando como são articuladas e agregadas as preferências dos decisores no processo de tomada de decisão. Inicialmente são apresentadas as principais definições, para, em seguida, estudar os métodos multicritério. Especial ênfase é dada aos métodos multiatributo, por entender que eles se ajustam melhor à problemática de avaliação de projetos de investimento. O Capítulo termina apresentando as principais vantagens e limites do enfoque multicritério, seguidos de algumas observações e conclusões relevantes do assunto exposto.

1. Principais definições

A abordagem multicritério é aquela que envolve modelos, métodos e técnicas baseadas em ferramentas computacionais caracterizadas pela abordagem mutidimensional usada na análise e modelagem de problemas. Segundo [VINCKE, 1985], o objetivo da análise multicritério pode ser expresso nos seguintes termos:

"... o objetivo da análise multicritério é estudar os problemas de decisão onde vários pontos de vista deverão ser levados em consideração".

A aplicação da abordagem multicritério ao campo da avaliação de projetos de investimento é reforçada por três características principais inerentes à visão

multidimensional, quais sejam, a multiplicidade de objetivos de atributos (expressos em unidades diferentes); o conflito entre objetivos; e a existência de várias alternativas viáveis que exigem do avaliador muitos julgamentos (em geral, de acordo ou em confronto com seus objetivos).

Nessa perspectiva, [ROY, 1987] estabeleceu quatro elementos básicos que definem o paradigma da análise multicritério. São eles: a caracterização de um sistema (de um problema, em geral) por uma multiplicidade de critérios que determinam sua evolução; a constatação de que esses critérios são, pelo menos, localmente conflitantes; a tendência de gerar um compromisso ou necessidade de julgamento; e o fato de que esse compromisso ou julgamento tem como ponto de referência uma forma de equilíbrio, ainda que transitória¹.

Em função desses quatro elementos, a estrutura geral de um problema multicritério pode ser formulada em três pontos principais descritos assim [ROY, 1990]:

i) Um conjunto bem definido (denotado por A) de um número determinado de alternativas viáveis representadas por a , ou seja, $A = \{a_i / i = 1, 2, \dots, n\}$.

Cada elemento (i.e., as alternativas) pode ser associado ou definido nesse conjunto de forma analítica ou enumerativa. No primeiro caso, a alternativa a_i é definida por meio de um vetor que adota a seguinte forma: $a = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ onde x_j representa seus atributos; e um outro conjunto de restrições que permite definir o conjunto A como parte² dos reais R^m . Já no segundo caso, a definição do conjunto A é muito mais simples. Ela é dada por meio de uma lista de alternativas sem nenhuma explicitação matemática, nem definição numérica, nem formulação de restrições que defina o

¹ No sentido de um processo discreto, onde o equilíbrio tem lugar em cada estágio.

² Deve-se destacar que esta segunda condição é fundamental para a definição do conjunto de alternativas A .

conjunto A . Ele é formado simplesmente por uma listagem de alternativas.

ii) Um modelo de preferências bem definido pelo avaliador (que será denotado por D), racionalmente estruturado a partir do conjunto de atributos. Com base no conjunto de alternativas A , o avaliador leva em consideração todos os atributos de cada alternativa para expressar julgamentos como resultado do processo de comparação, isto é, a observação entre a_i e a_j , sendo i distinto de j . Assim, o avaliador é capaz de escolher uma e somente uma das alternativas segundo as seguintes regras:

- a_i P (estritamente preferido) a a_j , se $U(a_i) > U(a_j)$;
- a_j P (estritamente preferido) a a_i , se $U(a_j) > U(a_i)$;
- a_i I (indiferente) a a_j , se $U(a_i) = U(a_j)$.

Observe-se que a comparação envolve uma função $U(x)$ dita de utilidade, que é associada a um determinado valor agregado. No entanto, a comparação de alternativas segundo essas regras deverá cumprir duas condições básicas. A primeira diz respeito à definição da relação de comparação binária no conjunto A , expressa por "estritamente preferido" e representada por P . Ela deve ser transitiva³ e não simétrica⁴. A segunda se refere à definição de "indiferente" representada por I . Ela deve ser reflexiva⁵, simétrica e transitiva.

iii) A formulação de um modelo matemático, que permita identificar, pelo menos, a melhor alternativa do conjunto A , ou seja, encontrar um a^* (pertencente ao conjunto A) tal que cumpra com a seguinte condição: $U(a^*) \geq U(a_i)$, para todo $a_i \in A$.

³ Refere-se à seguinte propriedade: se $a_i P a_j$; $a_j P a_k$; logo: $a_i P a_k$.

⁴ Esta propriedade estabelece que se $a_i I a_j$; logo $a_j I a_i$, onde I representa indiferença.

⁵ Ela pode ser expressa da seguinte maneira: $a_i I a_i$, sendo I reflexiva.

Essa estrutura geral é comum a todos os problemas multicritério e se baseia nos três fundamentos básicos (teóricos) seguintes:

i) A definição da forma padrão de agregação, ou seja, como é obtida a função utilidade $U(a_i)$ a partir da junção ou reunião das funções das alternativas, que, por sua vez, dependem dos vetores que aglutinam seus atributos [ROY, 1985].

Para a determinação da função utilidade global de uma alternativa, funções utilidade parciais poderão ser obtidas. Essas funções parciais deverão ser combinadas para mostrar o grau de participação desta alternativa no objetivo do problema. O procedimento mais usual é uma combinação linear delas, embora conste na literatura formas muito mais complexas de cálculo [BADINELLI & BAKER, 1990; NARASIMHAN & VICKERY, 1988; SPRONK & FANDEL, 1985;]. Algumas delas são mostradas na Tabela 6 (pag. 76).

Assim sendo, obtém-se uma utilidade global pela agregação de utilidades parciais, ou seja, pela combinação de todas elas. As técnicas tradicionais de agregação (como, por exemplo, o somatório ponderado) requerem que cada valor utilidade seja independente das mudanças nos níveis das outras variáveis (ou outros atributos). Cabe destacar aqui, que a ponderação aditiva não é a única forma de agregação, porém, é a mais utilizada.

ii) A existência de um conjunto de alternativas eficientes denotado por E . Uma determinada alternativa a_i pertencente ao conjunto A será considerada como eficiente se para todo elemento a_j pertencente a A , que cumpre a seguinte condição: $g_x(a_j) > g_x(a_i)$ (para algum critério x), existe pelo menos um critério h tal que obedeça a seguinte regra: $g_h(a_j) < g_h(a_i)$. Em outras palavras, a_i é eficiente se for

impossível encontrar um a_j tal que $g_x(a_j) \geq g_x(a_i)$ para todo x , e $g_h(a_j) > g_h(a_i)$, para pelo menos um h ⁶.

iii) A convergência dos procedimentos utilizados, em especial quando a função utilidade não é explicitamente formulada e a agregação tem que ser feita, supondo-se que as preferências dos avaliadores são perfeitamente coerentes com sua função utilidade $U(a_i)$.

Esses princípios norteiam o grande número de métodos multicritério descritos na literatura⁷ [VINCKE, 1986]. A seguir, são apresentados os mais representativos, segundo as três tipologias mais conhecidas e aceitas.

2. Tipos de métodos

Consta da literatura um número bastante significativo de métodos multicritério classificados de várias maneiras. Descrevem-se, a seguir, os mais importantes⁸ [BANA COSTA, 1990; OZERNOY, 1988].

Uma primeira abordagem classifica os métodos multicritério em basicamente três grupos, que são: os métodos baseados na teoria da utilidade multiatributo, os métodos de sub-classificação⁹ e os métodos interativos.

O primeiro grupo, isto é, os métodos baseados na teoria da utilidade multiatributo [KEENEY & RAIFFA, 1976], caracterizam-se pela definição de funções utilidade

⁶ Destaca-se que essa regra refere-se, em última instância, ao critério de Pareto, segundo o qual existe um ponto em que não é possível melhorar uma situação de algum agente econômico sem deteriorar a de outrem.

⁷ A esse respeito é importante salientar que há, praticamente, duas escolas de pensamento multicriterial. A primeira é a Americana e a segunda, a Francesa. Ambas utilizam, no desenvolvimento de seus métodos, um mesmo princípio denominado AAD (alternativas, atributos, e decisores). Esse princípio fundamenta-se em três aspectos que são: i) um conjunto de todas as alternativas a serem analisadas; ii) um conjunto de atributos; iii) um conjunto de decisores; e um conjunto de correlações entre esses conjuntos na forma de determinadas funções.

⁸ As classificações aqui descritas são as mais aceitas e citadas na literatura.

⁹ Referidos na literatura em inglês como métodos "outranking".

destinadas a expressar às preferências dos decisores em termos de múltiplos atributos, levando-se sempre em consideração, como hipótese principal, o comportamento racional dos avaliadores. Equivale a dizer que sempre há preferência por uma alternativa muito próxima da caracterizada como sendo a ideal. Dessa maneira, se uma "utilidade apropriada" (que passa a ser considerada como utilidade esperada em função de alguma referência dada) é atribuída a cada alternativa, a melhor delas é aquela com maior valor de utilidade esperado [ZELENY, 1982].

São dois os enfoques que norteiam a construção dessas funções: a teoria do valor multiatributo, que é de caráter determinístico, e a teoria de utilidade multiatributo propriamente dito, que é de natureza probabilística. As formas analíticas das funções de agregação podem ser de caráter aditivo, multiplicativo ou constituir ainda modelos muito complexos, dependendo das características do problema analisado¹⁰.

O segundo grupo baseia-se numa relação de sub-classificação definida para representar, num modelo de agregação, o caso particular em que duas alternativas são incomparáveis (i.e., de muito difícil comparação) [OSTANELLO, 1985]. Assim, o uso de um método de sub-classificação pressupõe alguns aspectos de base, quais sejam, um conjunto real (ou imaginário) de alternativas globais que é passível de ser identificado; o problema de decisão que pode ser perfeita e efetivamente definido; a definição de forma coerente de um grupo de critérios independentes com os quais as diferentes alternativas podem ser apreciadas; e a definição de pesos para a ponderação dos critérios considerados [ROY & VINCKE, 1981].

O terceiro grupo, dos métodos interativos [STEUER, 1977; WALLENIUS, 1975; ZIONTS, 1976, 1983] caracteriza-se pela intervenção contínua do avaliador no processo de tomada de

¹⁰ Este é sem dúvida um dos pontos principais, que requer especial atenção na formulação desse tipo de métodos.

decisão. A procura de uma solução envolve a constante interação no processo visando mudanças, tais como, por exemplo, a correção de parâmetros adotados nos modelos utilizados, ou simplesmente para acrescentar, mudar ou retirar algum valor ou atributo, ou mudar a direção na procura da solução, ou evitar, repetir ou acrescentar procedimentos, ou simplesmente para iniciar variáveis ou controles de preferência [KORHONEN, 1986a, 1986b; DYER, 1973].

Com o rápido desenvolvimento das ferramentas computacionais, esses métodos têm alcançado maior potencialidade. Todas as mudanças ao longo da procura da solução podem ser testadas com maior facilidade e em menor tempo. Assim, o processamento de modelos matemáticos muito complexos, que envolvem volume elevado de cálculos ficam por conta do computador, fazendo com que o avaliador se concentre exclusivamente na análise do problema¹¹.

Uma segunda abordagem classifica os métodos multicritério em quatro grupos principais, que são: i) os métodos de ponderação direta; ii) os métodos de formulação direta ou auto-explicativos; iii) os métodos baseados em programação matemática; e iv) os métodos baseados em modelos geométricos [LIN, 1989], tal como mostrado na Tabela 5.

Os métodos de ponderação direta precisam da definição de funções matemáticas, como as de análise de regressão ou análise de variância, para calcular o peso do atributo ou do critério considerado [STEWART, 1984]. Esse processo envolve um tratamento estatístico dos dados fornecidos pelos decisores. Dessa maneira, os pesos dos atributos são diretamente ligados aos parâmetros e os resultados obtidos nos modelos de regressão e estatísticos utilizados. Já os métodos de formulação direta, ou auto-explicativos, se caracterizam pela determinação de pesos ou funções utilidade

¹¹ A esse respeito, o avanço da informática e da tecnologia de comunicação gráfica constituem ferramentas que facilitam muito mais este processo interativo, em especial com o desenvolvimento de interfaces multimídia que fazem uso de imagem e som.

para cada alternativa considerada. Assim, por exemplo, o método de análise hierárquico (AHP)¹² caracteriza-se pela decomposição do problema em elementos que formam uma estrutura hierárquica. Comparações binárias com os elementos dessas estruturas permitem obter vetores de prioridades que apontam classificações hierárquicas das alternativas.

Tipo	Principais métodos	Descrição
Ponderação	Análise de regressão Análise de variância	Uso de funções matemáticas para determinar o peso dos atributos ou critérios
Auto-explicativos	Método de Análise Hierárquico Teoria de Utilidade multiatributo	Uso de comparações para definir os pesos ou utilidades das alternativas de decisão baseadas em teorias relevantes
Programação matemática	Programação por objetivos Programação linear	Uso de técnicas modificadas de programação linear visando obter soluções que satisfaçam múltiplos objetivos.
Métodos geométricos	Escalas multidimensionais	Uso de representações multidimensionais dos dados e a ajuste de modelos matemáticos a esses dados

Tabela 5: Principais métodos multicritério¹³

Os métodos baseados em programação matemática caracterizam-se pelo uso, principalmente, de técnicas de programação linear para encontrar a melhor solução¹⁴, ou solução de preferência [SOLAND, 1979]. Na programação por objetivos, dita também de multiobjetivo, a solução do problema é aquela que satisfaz um conjunto de objetivos (geralmente conflitantes) sob um outro conjunto bem definido de restrições, isto é, seus limites [COHON & MARKS, 1975]. Já na programação linear, procura-se maximizar uma função

¹² No Capítulo seguinte esse método é estudado com mais detalhe.

¹³ Adaptado de LIN, 1989, op.cit., p. 35.

¹⁴ Usam-se modelos lineares simplesmente pela facilidade de cálculo, mas nada impede a formulação de modelos não-lineares.

utilidade global sujeita a uma série de restrições que delimitam seu espaço solução¹⁵.

Com referência às técnicas baseadas em modelos geométricos, representações multidimensionais são utilizadas para situar os dados e apreciar suas magnitudes. Em função de escalas de medição atribuídas a cada dimensão, o decisor compara os critérios expressando julgamentos que identificam as similaridades ou diferenças dos atributos do problema. Para obter a solução de preferência, modelos matemáticos são utilizados para agregar os julgamentos expressos nessas representações multidimensionais.

Uma terceira abordagem classifica os métodos multicritério em unicamente dois grandes grupos¹⁶: os métodos multiobjetivo e os métodos multiatributo [MacCRIMMON, 1973; HWANG, 1981]. Os métodos multiobjetivo caracterizam-se pela indefinição explícita e "a priori" do conjunto de alternativas solução [AKSOY, 1989; GABBANI, 1986]. Elas são implicitamente formuladas com restrições que as definem no conjunto completo dos reais R , formando assim, um espaço de solução contínuo com um número muito grande de elementos¹⁷.

Os objetivos são amplamente relacionados com as necessidades e as preferências dos decisores, indicando a direção de sua melhoria. No entanto, há unicamente duas direções de melhoria das preferências, para mais e para menos, isto é, "maximizar e minimizar". O decisor escolhe uma alternativa em termos de "melhor solução" do problema, ou seja, aquela que maximiza ou minimiza uma muito bem definida função objetivo sujeita a um conjunto, também muito bem definido, de restrições¹⁸ [IGNIZIO, 1977].

¹⁵ A solução obtida com esse métodos não é considerada uma solução ótima, mas sim uma boa solução, ou solução de preferência.

¹⁶ O presente trabalho se ajusta a essa classificação por ser a mais conhecida e citada na literatura.

¹⁷ É por esse motivo que estes métodos são também referenciados na literatura como métodos contínuos.

¹⁸ Trata-se de uma condição muito exigente para ambos os casos, porque implica total conhecimento das variáveis envolvidas, bem como de seus valores exatos.

Já os métodos multiatributo¹⁹ se distinguem pela descrição dos múltiplos critérios na forma de atributos. Do ponto de vista operacional, estes métodos são relacionados com problemas cujo número de alternativas tem sido determinado "a priori" e o decisor deve selecionar, priorizar ou sub-classificar um número finito delas, ou seja, uma ou várias das alternativas disponíveis²⁰. Cada uma delas é convenientemente representada por um conjunto de atributos com os quais ele deve avaliá-las. Esta característica permite e facilita a aplicabilidade destes métodos a problemas de fácil formulação, bem como a problemas muito mais complexos [BALESTRA & TSOUKIAS, 1990; LEVINE & POMEROL, 1986].

Diante do exposto, apresenta-se a seguir os principais métodos multiatributo, uma vez que, dadas suas características, eles se mostram os mais adequados à formulação do problema de avaliação de projetos de investimento, como será demonstrado posteriormente.

3. Métodos multiatributo

A tomada de decisão seguindo uma abordagem multiatributo caracteriza-se pela pluralidade de critérios descritos na forma de atributos. Assim, um processo de escolha de determinada ação é feita, por exemplo, na base de vários atributos²¹, sendo estes distintos e geralmente conflitantes entre si [DYER, 1992].

Do ponto de vista prático, esses métodos são associados a problemas cujo número de alternativas tem sido determinado "a priori" e o decisor quer selecionar, priorizar, ou sub-classificar um número finito de cursos de ação, ou seja, uma ou várias das alternativas estudadas.

¹⁹ Estes métodos são estudados com maior detalhe no seguinte Capítulo.

²⁰ É por esse motivo que estes métodos são também denominados métodos discretos.

²¹ São, na realidade, critérios.

Nas situações do cotidiano é bastante comum esse tipo de problemas (tomada de decisão multiatributo). Com efeito, uma ação simples como a compra de um bem qualquer, um equipamento, por exemplo, apresenta dúvidas no momento de escolher a melhor alternativa, uma vez que o decisor tem que avaliar um conjunto de atributos que são freqüentemente conflitantes entre si. Seguindo a ótica de comportamento racional do decisor, ele terá, provavelmente, maior preferência pela alternativa com as seguintes características: menor custo, maior potência ou rendimento, maior economia, isto é, menor consumo de energia ou combustível, menor depreciação (dinheiro investido), mínimo custo de manutenção, disponibilidade de peças de reposição e obviamente, bom design, cor, etc.

Observe-se que não existe um único critério que oriente a decisão final. Obviamente, outros decisores considerarão outro tipo de atributos, como, por exemplo, a segurança oferecida pelo fornecedor, a menor poluição do meio ambiente, o tamanho, o peso, o ruído, o conforto, o estilo, o fabricante, a marca, a tradição, a assistência técnica, os planos de financiamento disponíveis, ou seja, todo um conjunto de atributos que dependem do problema em questão e das próprias preferências dos decisores.

Esse exemplo mostra que cada alternativa pode ser convenientemente representada por um conjunto de atributos sob os quais o decisor deve avaliá-las. Assim sendo, as características desse problema de tomada de decisão podem ser estendidas a um outro contexto, ou seja, a um processo muito mais complexo, como, por exemplo, um problema de construção e posterior gerenciamento de uma rede de abastecimento de água potável. O planejamento das fontes de captação de água implica levar em consideração atributos tais como os custos, a probabilidade da falta de água na fonte, a energia que pode ser gerada, a proteção do solo, os impactos ambientais, o uso e o reflorestamento da terra, a qualidade da água, entre outros.

Esses exemplos mostram que as alternativas são conhecidas (número finito) e a avaliação do decisor ou decisores é feita com base num conjunto de atributos (número finito de atributos). Em geral, na formulação desse tipo de problema de tomada de decisão podem ser identificados e claramente definidos os elementos descritos à continuação.

a) Principais elementos da formulação multiatributo

São identificados os oito elementos seguintes:

i) Alternativas

Usa-se este termo, de forma geral, para referenciar os elementos objeto de análise, tais como, por exemplo, as ações a serem implementadas. O número dessas alternativas é determinado "a priori" e constitui um conjunto finito, bem definido, priorizado, relacionado e sub-classificado.

ii) Atributos

Referem-se aqui aos critérios sob os quais serão feitos os julgamentos dos decisores. Cada problema, em geral, tem mais de um critério sob o qual será feita a avaliação, isto é, múltiplos atributos. Porém, o decisor deve identificar aqueles relevantes para o problema em questão. Se o número deles é muito grande, distribuem-se numa estrutura hierárquica, diferenciando-os em atributos principais e atributos secundários ou sub-atributos²², tal como o mostra a Figura 5.

²² Tratam-se, na realidade de vários atributos que são estruturados hierarquicamente somente com o objetivo de facilitar sua visualização e seu manejo.

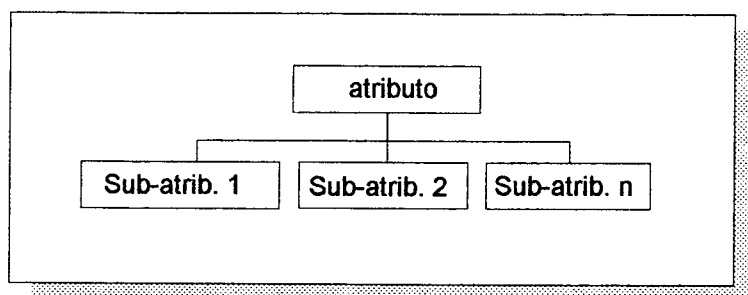


Figura 5: Hierarquia de atributos

iii) Conflitos entre atributos

Muitos atributos que são relevantes para o decisor podem ser conflitantes entre si. Isso não significa que o decisor deve escolher unicamente aqueles com correlação perfeita, porque, em geral, os problemas de tomada de decisão caracterizam-se por ter critérios pouco correlacionados ou mesmo sem nenhum tipo de correlação, ou simplesmente eles são contraditórios [IRVING & CONRATH, 1988]. Suponha-se, por exemplo, a preferência de escolher um equipamento com preço baixo sacrificando a qualidade (e ainda mais, se ela tem maior custo de manutenção). Supondo-se que o comportamento do decisor é estabelecido nos seguintes termos: quanto menor o preço de compra melhor será a alternativa; a escolha pode significar um produto de baixa qualidade e, conseqüentemente, poderá ter, por exemplo, maior custo de manutenção. Observe-se, portanto, dois aspectos contraditórios: o da qualidade e do custo, uma vez que o ideal seria maximizar o atributo qualidade e minimizar o custo. Naturalmente, qualquer situação distante dessa regra (máxima qualidade e mínimo preço) diminuirá, como era de esperar-se, a preferência por essa alternativa.

iv) Unidades de medida

Cada atributo considerado no processo decisório tem unidades de medida diferentes, quer seja de caráter qualitativo, quer seja de caráter quantitativo. Obviamente, tudo não pode ser expresso na mesma unidade de medida. No exemplo antes citado, o preço de uma alternativa é expresso

em unidades monetárias, enquanto que a aparência é apreciada de forma subjetiva e não numérica. O primeiro critério é de natureza quantitativa e o segundo, de natureza qualitativa. Mesmo tendo dois atributos quantitativos, estes podem ter diferentes unidades de medida como, por exemplo, o preço de compra e a vida útil. Embora estes dois atributos possam ser avaliados numericamente, o primeiro é expresso em unidades de tempo e o segundo em unidades monetárias. É difícil contextualizar, por exemplo, esses dois atributos na forma de "preço bom" e "maior vida útil", como a simples soma de dois valores numéricos.

v) Importância relativa dos atributos

Em todos os problemas de tomada de decisão multiatributo existem atributos com maior predomínio que outros, porque cada um deles tem um certo grau de importância relativa no processo decisório. Parte-se da idéia de que nem todos os atributos têm a mesma importância relativa na tomada de uma decisão. Para modelar essa característica recorre-se, geralmente, à atribuição de pesos (segundo uma escala de valores pré-determinada pelo método) para ponderar os atributos, visando, dessa forma, refletir, no processo decisório, a predominância relativa de um atributo em relação a outros²³.

Finalmente, os julgamentos dos atributos relevantes para o problema são agregados segundo procedimentos estabelecidos por cada método em particular. Em outras palavras, a importância se resume à forma de como colocar esses atributos num mesmo espaço de decisão lógico-matemático. Apresentam-se a seguir algumas das formas básicas de agregação e alguns conceitos básicos da Teoria de Utilidade Multiatributo.

vi) A Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT)

A Teoria de Utilidade Multiatributo considera funções utilidade destinadas a expressar com precisão as preferências

²³ A ponderação é uma das formas mais utilizadas para expressar a importância relativa de atributos.

dos decisores em termos de múltiplos atributos. Leva-se sempre em consideração, como hipótese de partida, um comportamento racional dos decisores. Esta suposição implica, na prática, que sempre há maior preferência por uma alternativa que está muito próxima da caracterizada como sendo a ideal; de forma tal que, tão próxima quanto possível desta, esteja uma alternativa, ela deverá ser a escolha racional do decisor. Em outras palavras, se uma "utilidade apropriada" é atribuída a cada alternativa e é calculada a utilidade esperada delas, então a melhor ação para o decisor é escolher aquela com maior valor utilidade esperado. Este último fato resume o dogma central da Teoria de Utilidade Multiatributo.

vii) Conceitos e fundamentos da MAUT

A redução da avaliação das funções de utilidade multiatributo em uma série de funções unidimensionais requer, com bastante frequência, julgamentos subjetivos dos decisores. Nesse processo, assume-se que as expressões de indiferença dos decisores são totalmente transitivas, ou seja, a decisão de um ator de indiferença entre duas alternativas A e A_1 , e entre esta última e uma terceira A_2 é caracterizado também como de indiferença, assumindo-se que as alternativas A e A_2 são também indiferentes.

Um outro aspecto importante na MAUT é a independência dos atributos. Geralmente, é difícil para o decisor identificar quais atributos são independentes e, portanto, uma das tarefas fundamentais da MAUT é verificar a independência dos atributos. A avaliação das funções utilidade é um outro ponto importante da MAUT. Entende-se aqui por avaliação das funções utilidade do processo de formalização da estrutura das preferências dos decisores. Este processo pode ser resumido nos cinco passos seguintes:

- a definição da terminologia, dos conceitos e das técnicas que são necessárias para conduzir uma avaliação com sucesso;

- a verificação das condições relevantes para identificar a forma apropriada da decomposição da função utilidade;
- a avaliação das funções utilidade;
- a determinação dos parâmetros, pesos e escalas de comparação com as quais as utilidades individuais serão agregadas;
- o teste da consistência das funções utilidade de acordo com as preferências dos decisores.

É interessante destacar que o termo "decomposição" da função utilidade consiste em decompor a função global: $U(x_1, x_2, \dots, x_n)$ em séries de funções utilidade simples e unidimensionais do tipo: $f[u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_n(x_n)]$, ou seja, $U(x_1, x_2, \dots, x_n) = f[u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_n(x_n)]$.

viii) Formas de agregação da utilidade global

Nos métodos multicritério, as regras de agregação são, geralmente, classificadas em dois grandes grupos: as regras compensatórias e as não-compensatórias [PASCHÉ, 1992]. No primeiro caso, a comparação das ações consideradas, por exemplo de a e b , é baseada nas diferenças de sua avaliação que é obtida com base nos critérios utilizados. Desta forma, a possível desvantagem em relação a um critério pode ser compensada com a vantagem de outro ou outros critérios. Essa noção de compensação é, na verdade, o denominado "trade-off" ou taxas de substituição de vantagens.

Já no segundo caso, isto é, na agregação não compensatória, a diferenciação e especificação da importância relativa dos critérios é seu ponto central. Dessa forma, objetiva-se verificar se o subconjunto de critérios sob os quais um critério é preferido a outro, por exemplo a preferido a b , é mais importante que o subconjunto de critérios sob os quais a situação é a contrária, ou seja, b é preferido a a . A comparação desses subconjuntos de critérios é independente da avaliação de duas alternativas com base nesses critérios.

Em ambas as situações, para determinar o valor de uma alternativa, funções utilidade parciais deverão ser obtidas [KIRKWOOD, 1980]. Elas são combinadas para mostrar o grau de participação dessa alternativa no objetivo do problema, ou seja, sua real contribuição. O procedimento mais usual é uma combinação linear dessas funções; não obstante, constam da literatura formas muito mais complexas de cálculo, como os mostrados na Tabela 6.

Descrição	Forma de agregação
Aditiva	$U(a) = \sum_{i=1}^n (g_i(a))$
Somatório ponderado	$U(a) = \sum_{i=1}^n k_i (g_i(a))$
Utilidade esperada	$U(a) = \sum u(x_1, x_2, \dots, x_n) v(x_1, x_2, \dots, x_n)$
Utilidade aditiva	$U(a) = \sum_{i=1}^n k_i (g_i(a))$ $\sum_{i=1}^n k_i = 1, \quad g_i(a) = \sum_j u_j(x_j) v_j(x_j)$ <p>$u_i(x_i)$, função utilidade parcial $v_i(x_i)$, distribuição de probabilidade marginal</p>
Utilidade multiplicativa	$U(a) = \frac{\prod_{j=1}^n (1 + b k_j g_j(a))^{-1}}{b}$ <p>$k_j \geq 0; b \neq 0; b > -1$</p> $\sum_{j=1}^n k_j \neq 1, \quad g_j(a) = \sum_j u_j(x_j) v_j(x_j)$ <p>$u_i(x_i)$, função utilidade parcial $v_i(x_i)$, distribuição de probabilidade marginal</p>

Tabela 6: Formas de agregação da utilidade

O processo de agregação implica, fundamentalmente, determinar uma utilidade global de cada alternativa que é obtida pela separação e avaliação de funções utilidade parciais, seguida de uma combinação delas [DYER & SARIN, 1979]. A técnica mais utilizada para combinar essas funções

é, na realidade, a aditiva. As demais técnicas tradicionais de agregação (como, por exemplo, o somatório ponderado), geralmente estabelecem que cada valor utilidade seja independente das mudanças dos níveis das outras variáveis (outros atributos) consideradas.

No entanto, a ponderação aditiva não é a única forma de agregação, uma vez que nesse processo podem ser utilizados métodos ainda muito mais complexos envolvendo ponderação geométrica e harmônica, entre outros [JACQUET-LAGREZE, 1982; MERKURYEVA & MORISOV, 1987]. A esse respeito, é interessante apontar que não existe uma justificativa teórica plausível que mostre a pertinência absoluta de um desses métodos em particular.

Diante do exposto, descrevem-se, a seguir, as características dos principais métodos de avaliação multiatributo classificados como segue.

b) Classificação dos Métodos Multiatributo

No estudo dos métodos multiatributo, adota-se, no presente trabalho, a classificação proposta por Hwang²⁴, que identifica três grupos principais de métodos discriminados segundo o tipo de informação exigido do decisor²⁵, tal como se mostra na Figura 6.

O primeiro grupo diz respeito aos métodos caracterizados pela falta de informação acerca dos atributos e das alternativas, vale dizer, o decisor dispõe de pouca informação, mas ela é suficiente para a tomada de decisão. Pertencem a este grupo os métodos: Maximax, Maximin e o Método de Dominância.

²⁴ Op. cit., 1981.

²⁵ Uma outra abordagem pode ser encontrada em HUBER, 1974.

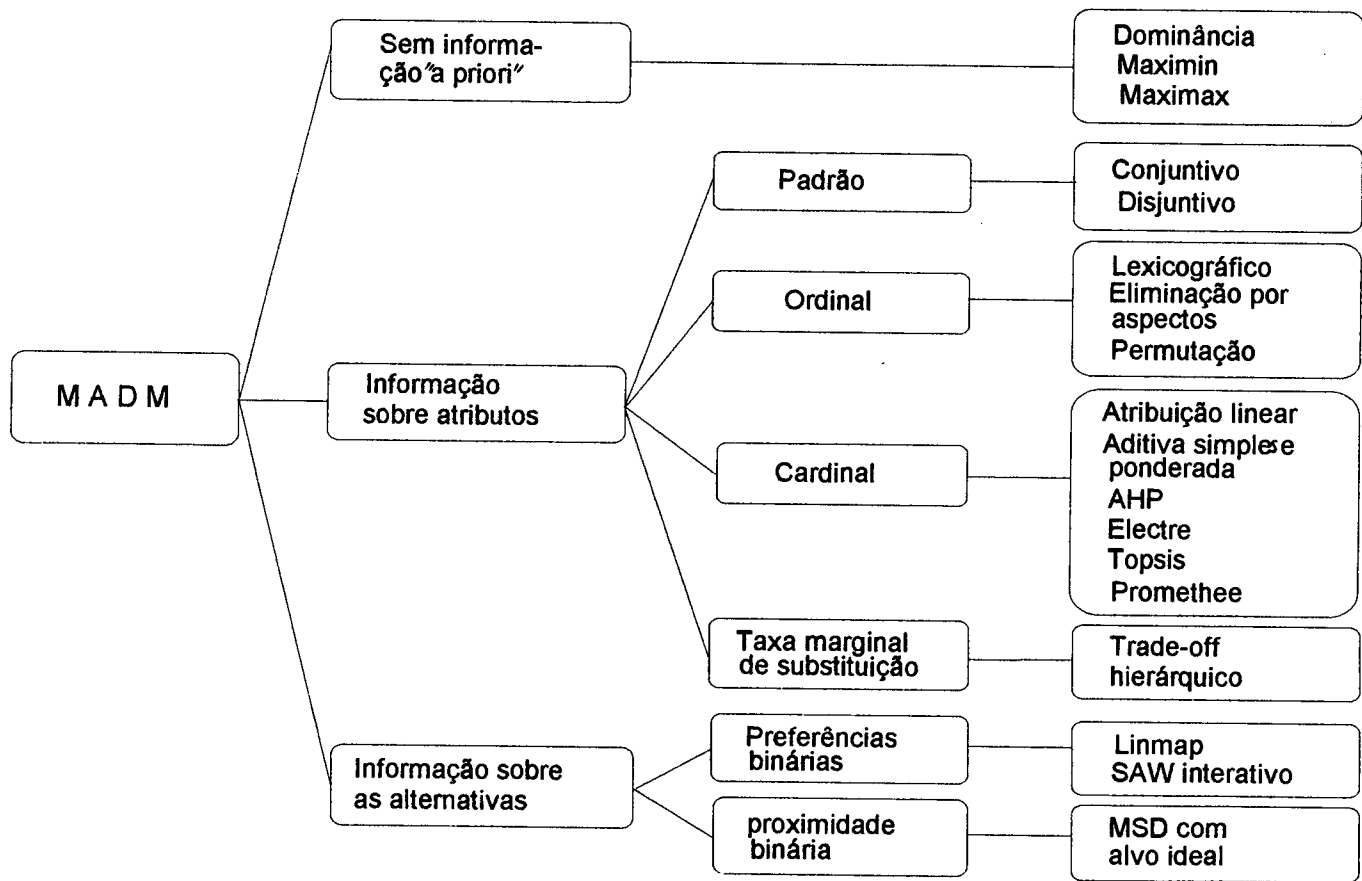


Figura 6: Classificação dos métodos multiatributo

O segundo grupo é caracterizado pela informação acerca dos atributos, ou seja, o decisor conta com a descrição e a caracterização dos atributos em termos mínimos de informação, em forma ordinal, cardinal, ou simplesmente através da taxa marginal de substituição. Se a informação sobre os atributos é mínima, são dois os métodos pertinentes: o conjuntivo e o disjuntivo. Se a descrição dos atributos é na forma ordinal, são três os métodos apresentados: o lexicográfico, o de eliminação por aspectos e o de permutação.

Sendo disponível a informação cardinal dos atributos, são quatro os métodos considerados: o de avaliação linear, o de agregação aditiva, o de análise hierárquico, a família dos métodos Electre e o método Promethee.

Conhecidas as taxas marginais de substituição, também chamadas de "trade-off", estas podem ser colocadas e avaliadas em estruturas hierárquicas, dando lugar a métodos de "trade-off" hierárquicos.

O terceiro grupo diz respeito aos métodos que requerem informação significativa de cada uma das alternativas. Neste caso, são dois os métodos aqui apresentados: os métodos baseados em comparações binárias de preferências e os métodos de ordenamento de proximidade obtido por comparações binárias das alternativas.

Assim sendo, apresentam-se de forma sucinta, a seguir, os principais métodos multiatributo.

i) Método Maximax

Este método segue o mesmo princípio da abordagem monocritério com a diferença de que a alternativa a ser escolhida é aquela com maior valor do atributo mais representativo. Por exemplo, na avaliação da compra de um equipamento, a melhor alternativa será aquela que apresente a maior desempenho, e entende-se aqui por maior desempenho aquele com o melhor preço e a melhor economia (mínimo custo de manutenção e operação).

Colocando em termos formais, partir-se-á de um conjunto A de todas as alternativas e de um outro, denominado com X, de todos os atributos a serem considerados. Vale dizer:

$A = \{ a_1, a_2, \dots a_n \}$, sendo "n" as alternativas;

$X = \{ x_1, x_2, \dots x_m \}$, sendo "m" os atributos.

A alternativa escolhida é dada pela seguinte expressão:

$$\text{Alt. escolhida} = \{a_i / \text{Max}_i \text{Max}_j x_{ij}\}$$

Observe-se que o decisor adota um papel otimista ao considerar os valores máximos dos atributos para cada alternativa. É importante salientar aqui que existe o risco de que um único atributo represente a alternativa, como decorrência da avaliação subjetiva do decisor.

ii) Método Maximin

Este método também segue o mesmo princípio dos métodos monocritério, ou seja, uma alternativa será escolhida baseando-se no maior valor do atributo mais fraco.

Assim, definem-se dois conjuntos, um de alternativas, denotado por A, e outro de atributos, representado por X, ou seja:

$A = \{ a_1, a_2, \dots a_n \}$, sendo "n" as alternativas;

$X = \{ x_1, x_2, \dots x_m \}$, sendo "m" os atributos;

A alternativa escolhida é dada pela seguinte expressão:

$$\text{Alt. escolhida} = \{a_i / \text{Max}_i \text{Min}_j x_{ij}\}$$

Observa-se que o decisor adota um papel pessimista ao considerar os mínimos valores dos atributos.

iii) Método de Dominância

A idéia principal deste método estabelece que uma alternativa é dominada se existe alguma outra cujos valores

dos atributos são maiores, em um ou mais, e pelo menos iguais nos restantes.

Considerando o conjunto A de todas as alternativas e o conjunto de todos os atributos X:

$A = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}$, sendo "n" as alternativas;

$X = \{ x_1, x_2, \dots, x_m \}$, sendo "m" os atributos.

A alternativa escolhida é dada assim:

Alt. escolhida = $\{ a_i / a_i \text{ domina } a_j, \forall i \neq j \}$

onde a_i domina a_j . A regra de decisão implica seguir os seguintes passos:

- Comparar as duas primeiras alternativas; estabelecer qual das duas é a que domina e descartar a alternativa dominada.
- Comparar a alternativa vencedora da comparação anterior e compará-la com a terceira alternativa. Identificar novamente a alternativa dominante e rejeitar a dominada.
- Continuar com este processo até (n-1) alternativas, de cuja comparação final se obterá a alternativa escolhida.

iv) Método Conjuntivo (MC)

O critério de decisão deste método estabelece rejeitar aquela alternativa que não atinge um nível mínimo prefixado (em valor) de todos os seus atributos, vale dizer: o decisor estabelece valores mínimos para cada atributo e, se uma alternativa apresentar um atributo com valor inferior a este mínimo estabelecido, essa alternativa é rejeitada.

Considerando, novamente, o conjunto A de todas as alternativas, o conjunto X de todos os atributos e Y, o conjunto dos valores mínimos aceitáveis (ou seja, aqueles limites fixados pelo decisor):

$A = \{ a_1, a_2, \dots a_n \}$, sendo "n" as alternativas;
 $X = \{ x_1, x_2, \dots x_m \}$, sendo "m" os atributos;
 $Y = \{ y_1, y_2, \dots y_m \}$, os "m" valores mínimos aceitáveis.

Uma alternativa somente é aceita se cumprir esta expressão:

$$\text{Alt. aceitável} = \{ a_i / x_{ij} \geq y_j \}$$

Observe-se que para cada alternativa a_i deve-se verificar se o valor de cada atributo x_{ij} é maior, ou pelo menos igual, ao valor mínimo aceitável denotado por y_j . Se assim for, a alternativa é aceita; caso contrário, ela é, obviamente, rejeitada.

v) Método Disjuntivo (MD)

A regra que norteia este método estabelece aceitar uma alternativa cujos atributos sejam iguais ou melhores que os níveis desejados pelo decisor. Em outras palavras, uma alternativa é selecionada se tiver os maiores valores desejados de seus atributos. Neste caso, o decisor especifica um nível desejado (na forma de valores), de forma tal que se os atributos de uma alternativa a_i apresentarem valores iguais ou maiores, ela será aceita; caso contrário, será rejeitada.

Retomando o conjunto A de todas as alternativas, X, conjunto de todos os atributos, e Y, o conjunto dos valores desejados dos atributos, eles ficam assim definidos:

$A = \{ a_1, a_2, \dots a_n \}$, sendo "n" as alternativas;
 $X = \{ x_1, x_2, \dots x_m \}$, sendo "m" os atributos;
 $Y = \{ y_1, y_2, \dots y_m \}$, sendo "m" os valores desejados.

A alternativa selecionada é aquela que cumpre com a seguinte expressão:

$$\text{Alt. selecionada} = \{ a_i / x_{ij} \geq y_i \}$$

Observa-se que esse método é muito parecido com o anterior (conjuntivo), porém, o decisor não estabelece valores mínimos aceitáveis, mas sim valores desejados, que podem se situar acima dos níveis aceitáveis²⁶.

vi) Método Lexicográfico (ML)

Este método visa comparar alternativas considerando como ponto de referência fundamental o atributo mais importante. O decisor deve estabelecer uma ordem de importância dos atributos, ou seja, identificar qual é o atributo mais importante, qual é o segundo em importância, qual é o terceiro, e assim por diante. Uma vez estabelecido o grau de importância de cada atributo numa seqüência, são comparadas todas as alternativas segundo o atributo mais importante. Se são várias as alternativas que apresentam valores elevados do primeiro atributo, então deve-se comparar novamente as alternativas selecionadas no processo anterior à luz do próximo atributo mais importante. Observar-se-á esse processo até que uma única alternativa seja selecionada ou até que sejam considerados todos os atributos.

vii) Método de Eliminação por Aspectos (MEA)

No método de eliminação por aspectos, a escolha de uma alternativa é feita através de um processo de seleção sucessiva das alternativas, porém de caráter eliminatório segundo seus atributos. O decisor identifica inicialmente o atributo com maior poder de discriminação, ou seja, o atributo com maior força de separação (no sentido de classificação). A escolha desse atributo pode ser obtida diretamente por julgamento do decisor, quando existe bastante clareza sobre seu poder discriminatório ou, simplesmente, ser o resultado de uma análise de natureza probabilística, selecionando uma ordem seqüencial dos atributos segundo seu poder de discernimento.

²⁶ A diferença entre esse método e o conjuntivo é, basicamente, de ordem conceitual, entre o denominado nível desejado e o nível mínimo aceitável, respectivamente.

Identificado o atributo com maior poder de discriminação, estudam-se as alternativas levando-se em consideração esse atributo, de forma tal que uma alternativa será eliminada se o decisor assim achar pertinente, quer por julgamento direto numa decisão binária do tipo SIM-NÃO, quer porque o atributo dessa alternativa não atingiu o limite mínimo por ele estabelecido.

É interessante destacar que a comparação das alternativas é feita levando-se em consideração um único critério por vez. Se no processo anterior não foi possível obter uma solução aceitável, então o decisor repete o procedimento anterior; mas, o atributo base da avaliação agora é o próximo da seqüência, e assim por diante, até que uma alternativa seja selecionada, ou todos os atributos sejam considerados.

viii) Método de Atribuição Linear (MAL)

Neste método, a escolha de uma alternativa é feita através de um processo de classificação, em que as alternativas que apresentam maior valor de seus atributos são colocadas no nível superior da seqüência classificatória.

Para tal efeito, o decisor deve, inicialmente, classificar os atributos conforme seu grau de importância. Este processo de classificação implica na atribuição de pesos segundo as preferências do decisor (a idéia principal é a de que os atributos não têm, todos, o mesmo grau de importância relativa).

Em seguida, os valores assim obtidos são dispostos em forma de matriz (aqui denominada por A), cujos elementos a_{ij} representam os julgamentos da alternativa representada por A_i com base no atributo i . O resultado é o somatório de todos os pesos de todos os atributos sob os quais A_i é apreciado. Finalmente, usa-se um método de atribuição linear, de forma tal que o somatório dos valores seja maximizado.

ix) Método SAW Interativo

Segundo este método, a alternativa escolhida é aquela que apresenta o maior valor resultante do somatório de seus atributos. Para cada alternativa calcula-se a soma do produto do peso de cada atributo por seu valor e, em seguida, seleciona-se a alternativa com o maior resultado.

Para tanto, a alternativa selecionada é denotada por A^* e definida pela seguinte expressão:

$$A^* = \{A_i / \text{Max} \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n w_j\}$$

onde w_j é o peso relativo e x_{ij} , o valor do atributo que é obtido da comparação com alguma escala de valor, ou seja, é resultante de julgamentos de valor.

Observe-se que todos os atributos devem ser numericamente comparáveis, permitindo ao decisor atribuir-lhes pesos para indicar sua importância relativa.

x) Método Topsis²⁷

O método considerado estabelece que se deve escolher aquela alternativa que conserve a mínima distância da solução considerada ideal, e ao mesmo tempo, a máxima distância de uma outra solução considerada como a mais negativa. Com efeito, calcula-se, inicialmente, a matriz de decisão normalizada representada por r_{ij} segundo esta expressão:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

onde x_{ij} são os julgamentos de valor da alternativa i para o atributo j .

²⁷ Técnica para ordenamento de preferências por similaridade com a solução ideal.

Em seguida, obtém-se a matriz ponderada normalizada v_{ij} , com base na matriz r_{ij} , calculada da seguinte maneira:

$$v_{ij} = w_{ij} r_{ij}$$

onde w_{ij} é o peso do atributo j , lembrando que sempre o somatório dos pesos é igual à unidade, ou seja:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1.$$

Para efeitos de comparação, obtém-se as soluções ideal negativa e ideal positiva, seguindo estas expressões:

$$\begin{aligned} A^* &= \{(\max v_{ij} / j \in J), (\min v_{ij} / j \in J') / i = 1, 2, \dots, n\} \\ &= (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{(\min v_{ij} / j \in J), (\max v_{ij} / j \in J') / i = 1, 2, \dots, n\} \\ &= (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \end{aligned}$$

onde $J = \{j = 1, 2, \dots, n / j \text{ associado ao benefício do critério em apreço}\}$.

Com base nesses resultados, calcula-se a distância euclidiana entre as soluções ideais, antes obtidas, e os valores apresentados pelas alternativas seguindo as duas regras descritas a seguir:

- A respeito da solução ideal positiva:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^*)^2}$$

- A respeito da solução ideal negativa:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^-)^2}$$

Portanto, a distância relativa da solução ideal é definida segundo a seguinte expressão:

$$d_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)}$$

onde $0 < d_i^* < 1$.

Finalmente, escolhe-se a alternativa que apresenta o maior d_i^* . Observe-se que esse resultado é função simultânea da mínima distância da solução ideal e a máxima daquela considerada como sendo a pior.

xi) Método MSD

Este método indica, que para alguns atributos, o melhor valor a eles atribuído deve ser colocado dentro da faixa dos possíveis valores a serem adotados e, mais especificamente, os mais prováveis. O valor assim atribuído não deve ser nem muito grande, nem muito pequeno, ou seja, adota-se uma posição de meio termo entre otimismo e pessimismo.

Após a atribuição de valores aos atributos, calcula-se o desvio ou a distância do valor esperado ou solução desejada (ideal). Em seguida, escolhe-se a alternativa que apresenta a menor distância calculada, com a seguinte expressão:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j^2 (x_{ij} - t)^2}$$

onde t é o valor do atributo da solução desejada.

xii) Método AHP

O método de análise hierárquico AHP [SAATY, 1981, 1983] caracteriza-se pela construção de hierarquias resultantes do processo de simplificação de um problema de tomada de decisão. São formuladas hierarquias de critérios, decisores, cenários, objetivos e de ações estudadas, considerando-se níveis desejados que passam a assumir várias formas, todas

elas interrelacionadas e descendentes de um objetivo geral. É interessante observar que uma hierarquia pode ser considerada como um tipo particular de sistema, pressuposto este que permite considerar vários conjuntos dentro dessa estrutura para simplificar a análise e, também, para melhor conceitualizar os tipos de correlação entre as hierarquias, ou seja, sua representação hierárquica.

Uma das particularidades dessa estrutura diz respeito à facilidade de identificar mudanças nos níveis mais baixos em resposta às mudanças nos níveis mais altos da hierarquia. Essa mudança se refere às prioridades de cada um dos níveis. Para identificar a intensidade dessas prioridades, isto é, o vetor prioridade da hierarquia, calculam-se autovalores e autovetores normalizados de uma matriz de referência ou de comparação por pares. Essa matriz assume a seguinte forma:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

onde cada elemento a_{ij} representa os julgamentos do decisor, que cumprem com as seguintes condições²⁸: $a_{ij} = \alpha$; $a_{ji} = 1/\alpha$; e $a_{ii} = 1$.

O preenchimento desses elementos é feito com base numa tabela de referência que relaciona números ordinais na faixa de 1 a 9, com os julgamentos dos decisores, tal como se mostra na Tabela 7.

Com base nessa tabela, são apreciados os julgamentos dos decisores. A violação da proporcionalidade dos julgamentos é apreciada com um índice de consistência ligado ao vetor de prioridades [WINKLER, 1990]. Assim, calcula-se o autovalor máximo que deve ser o mais próximo possível da dimensão da

²⁸ As três condições constituem requisitos fundamentais para o preenchimento das matrizes de comparação.

matriz de referência, ou seja, os julgamentos serão consistentes na medida em que seu autovalor seja igual ao número de alternativas objeto de comparação.

Intensidade	Definição	Explicação
1	mesma importância	as duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	importância pequena de uma sobre outra	a experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	importância grande ou essencial	a experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	importância muito grande ou demonstrada	uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra, e é demonstrada na prática
9	importância absoluta	a evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza
2,4,8	valores intermediários	quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Tabela 7: Escala de referência do método AHP²⁹

Para testar a integridade desse índice de consistência calcula-se um outro indicador, denominado de razão de consistência, que é resultante da relação entre o índice de consistência e um outro denominado randômico. Este último corresponde ao índice de consistência de matrizes geradas aleatoriamente, de forma tal que os julgamentos serão considerados como aceitáveis se ele for menor que um limite fixado pelo decisor. O método sugere que essa razão seja sempre menor ou igual a 0.10, ou seja, 10%³⁰.

xiii) Métodos ELECTRE

A família de métodos de sub-clasificação multicritério ELECTRE³¹ I, II, III e IV, [ROY, 1968, 1973; SKALKA, 1983]

²⁹ Saaty, 1981, op. cit.

³⁰ Segundo o autor do método, a tolerância máxima permitida não deve ser superior a 10%.

³¹ "Elimination et Choix Traduisant la Réalité".

procuram obter uma partição do conjunto finito de alternativas, denotado por A , em dois subconjuntos B e C , de tal forma que cumpram as duas regras seguintes:

- Cada alternativa ou ação do conjunto C é ordenada atendendo, pelo menos, a um critério do conjunto representado por E ;

- as ações de A são entre elas incomparáveis (o mais possível).

Com base nessas regras, o conceito de fundo desses métodos estabelece que uma determinada ação ou alternativa a é considerada melhor que uma outra b , se há maioria suficiente de critérios que consideram que a não é pior que b ; e que não há um critério que em desacordo com essa maioria implique na superioridade de b respeito de a .

Esse conceito é complementado com a diferenciação relativa dos critérios utilizados, haja visto que se parte da idéia de que eles não têm a mesma importância relativa. Assim, um peso é atribuído a cada critério, aumentando em função a sua importância. Seguindo esse princípio, para indicar que dois atributos estão no mesmo pé de igualdade, basta atribuir pesos unitários a ambos, ou seja, $W_i = 1$, $\forall i$.

Além desses pesos, a concordância dos diferentes critérios em favor da preferência ou indiferença de uma ação em relação a outra, por exemplo, de a em relação a b , é medida através de um indicador de concordância, que é definido da seguinte maneira:

$$C(a, b) = \frac{1}{W} \sum_{i \in C_{ab}} W_i$$

onde $C(a, b)$, representa o conjunto de critérios para os quais a é preferido ou é indiferente a b , e onde o somatório W dos pesos individuais é assim calculado:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i$$

Esse indicador apresenta as três propriedades seguintes:

- adota valores no intervalo de 0 a 1 e aumenta em função do número de elementos do conjunto $C(a,b)$;
- assume o valor de 1, se e somente se, uma ação dominar a outra, ou seja, se a dominar b ;
- mantém a consistência do ordenamento quando um determinado ponto de vista é subdividido em vários outros pontos de vista.

No entanto, se para um par de elementos qualquer do conjunto A , por exemplo (a,b) , a concordância $c(a,b)$ é muito próxima da unidade, a diferenciação entre as ações não é tão explícita, ou seja, de a ser melhor que b , ou b ser melhor que a , em especial se para cada critério g_j a diferença entre $g_j(b) - g_j(a)$ for muito grande.

Para superar essa situação, define-se um outro indicador denominado de discordância, com as mesmas propriedades que o índice de concordância, mas definido nos seguintes termos:

$$d(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } D_{ab} = \emptyset \\ \frac{1}{\delta} \text{Max}_i |g_i(b) - g_i(a)| & \text{outro caso} \end{cases}$$

onde D_{ab} é o conjunto de critérios segundo os quais a é pior que b , e δ , a máxima diferença em relação a um critério em particular.

Com esses dois indicadores, uma ação a é melhor que outra b (i.e., $a \succ b$) se, e somente se, cumprir a seguinte condição:

$$\begin{cases} c(a,b) \geq p \\ d(a,b) \leq q \end{cases}$$

onde p é um número muito próximo da unidade, q outro próximo de 0 e S , a relação de sub-classificação utilizada.

Portanto, com base na definição da relação de sub-classificação S , deve-se determinar o subconjunto B de A , de tal forma que cada elemento de C seja sub-classificado por, pelo menos, um elemento do conjunto A , sabendo que os elementos de B não classificam nenhuma das ações restantes. Essa regra pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\begin{cases} \forall b \in C, \exists a \in B: a S b \\ \forall a, b \in B, a \sim S b, e b \sim S a \end{cases}$$

Em termos matemáticos, o conjunto B é denominado kernel³² do grafo de relação S , que permite visualizar a sub-classificação das alternativas para posterior escolha daquela de maior preferência, ou seja, a solução do problema.

xiv) Método Promethee

Este método introduz uma noção de preferência e indiferença entre as alternativas consideradas. Trata-se de uma função definida para cada critério cujo valor se situa no intervalo de 0 a 1, de tal forma que quanto mais perto de 0 maior é a indiferença e quanto mais perto de 1, maior preferência [BRANS & VINCKE, 1984; 1985].

Considerando-se duas possíveis ações, x^a e y^b , uma função de preferência entre ambas é definida da seguinte maneira:

$$P(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{se } f(a) \leq f(b) \\ p[f(a), f(b)] & \text{se } f(a) > f(b) \end{cases}$$

onde $f(_)$ representa o julgamento da alternativa com base num critério dado.

Para ter maior clareza das noções de indiferença nas áreas vizinhas de cada função $f(x)$, define-se uma variável

³² Esse termo se refere à quantidade de nós ligados num grafo segundo a definição da relação S . Assim, por exemplo, um grafo tem um único kernel se ele não contém ou não forma nenhum circuito.

auxiliar $x = f(a) - f(b)$, de forma tal que a relação de preferência e indiferença seja mais fácil de ser representada por uma outra função definida pela seguinte expressão:

$$H(x) = \begin{cases} P(a,b) & x \geq 0 \\ P(b,a) & x \leq 0 \end{cases}$$

Na realidade, seis são os tipos de funções que abrangem a maioria das aplicações (ver Figura 7) e que determinam o ordenamento das preferências pelas alternativas³³. Esse ordenamento é feito de duas maneiras. A primeira é utilizando-se um índice de preferências, por exemplo entre x e y , que aponta o grau de preferência do primeiro em relação ao segundo, de forma tal que quanto mais próximo de um, maior é essa preferência. Esse índice é assim definido:

$$I(a,b) = \frac{1}{k} \sum_{h=1}^k P_h(a,b)$$

A segunda é construindo-se um grafo onde os nós são as ações e os arcos, seus graus de dominância, de tal forma que a rede, assim obtida, permita apreciar o ordenamento das ações (nós). Portanto, para identificar se uma alternativa é mais preferida que outra, basta observar o fluxo do nó em questão que é dado pelos valores das funções de preferência acima calculadas.

Diante do exposto, e à luz desses métodos, deve-se destacar, notadamente, que o problema de tomada de decisão é caracterizado pelo número de ações (i.e., alternativas) definidas explicitamente "a priori", e cada uma delas associada a um conjunto de atributos sob os quais são feitos julgamentos segundo preferências dos decisores.

³³ Trata-se de um ordenamento de preferências (do decisor) de cada uma das alternativas tendo como ponto de referência os valores obtidos das funções $f(x)$, conforme os critérios levados em consideração.

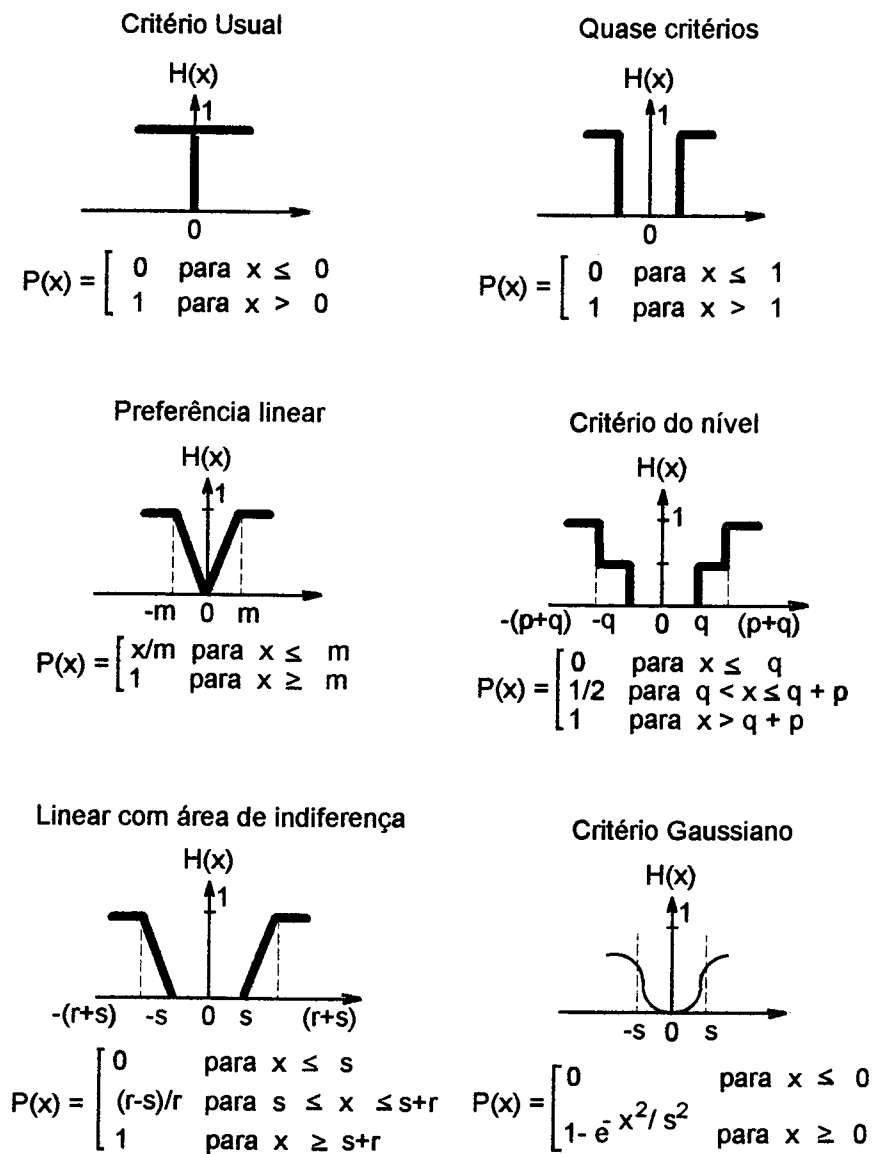


Figura 7: Fun es de preferência do Método Promethee

Para cumprir essa meta, formula-se, em geral, uma função de utilidade que agrega todos os julgamentos individuais para obter uma função multiatributo agregada global do tipo $U = F(g_1, g_2, \dots, g_m)$. A decisão é tomada com base nessa função, sendo a alternativa preferida aquela que apresente o maior valor da função utilidade agregada. No entanto, como os atributos não têm a mesma importância relativa, atribuem-se pesos no processo de agregação das preferências para salientar essa diferença.

Não obstante os métodos multicritério se mostrarem mais amplos, flexíveis e muito mais operacionais que os monocritério (como ferramenta de avaliação), há, como é de se esperar, algumas limitações que devem ser levadas em consideração, mas que não diminuem o mérito da abordagem multicritério. Nesse sentido, apresenta-se, a seguir, as principais vantagens e limites da abordagem multicritério.

4. Vantagens e limites da abordagem multicritério

Cumpra observar que a abordagem multicritério apresenta vantagens fundamentais em relação às deficiências da abordagem monocritério. A primeira diz respeito ao manejo simultâneo de critérios qualitativos (tais como a qualidade dos produtos ou serviços, a segurança, a imagem da empresa, entre outros) e quantitativos (tais como o lucro líquido, valor presente, taxa interna de retorno, entre outros). Com efeito, ela considera tanto variáveis numéricas mensuradas, geralmente, em unidades monetárias ou em outras medidas facilmente quantificáveis (como, por exemplo, unidades de tempo, de peso, número de pessoas, distância entre dois pontos, entre outros), bem como outras referências que não são passíveis de ser quantificadas numericamente (como, por exemplo, o grau de responsabilidade do decisor) [GOLABI, 1981; DANIELS, 1992].

A segunda vantagem é que a abordagem multicritério permite uma análise muito mais aprofundada de todas as

variáveis que são levadas em consideração, ou seja, ela é, em última instância uma análise mais completa e mais próxima da realidade.

A terceira vantagem diz respeito ao processo de modelagem de problemas. Ela é mais flexível devido ao uso de variáveis e métodos de modelagem que não estão limitados a restrições impostas por algoritmos matemáticos.

A quarta vantagem se refere à capacidade, ou facilidade, de levar em consideração uma diversidade de aspectos de forma simultânea. Com efeito, nos procedimentos multicriteriais, todas as variáveis são relacionadas num mesmo espaço lógico matemático, segundo regras específicas de agregação.

Em relação às limitações, à primeira vista a abordagem multicritério pode parecer muito complexa e abstrata, em especial quando o decisor não está familiarizado com formulações matemáticas complexas. Não obstante esse fato, que pode parecer uma limitação ao uso dessa ferramenta, é na realidade mais aparente do que real, uma vez que essa complexidade reside mais em seu desenvolvimento teórico subjacente que em seu próprio uso. Isso, notadamente, quando se recorre ao auxílio de ferramentas computacionais em seu processamento.

Nesse sentido, modelar e formular um problema multicritério envolve uma certa complexidade, mas, do ponto de vista do usuário, ela é mais aparente do que real.

5. Conclusão

O exposto leva a concluir que a abordagem multicritério preenche as deficiências da abordagem monocritério como ferramenta de avaliação, por ser muito mais ampla, abrangente e flexível. Isso porque a principal característica desta abordagem consiste em levar em consideração critérios quantitativos e qualitativos, e isso faz com que o processo de tomada de decisão seja muito mais próximo do real. No

entanto, observa-se também, que há situações nas quais a avaliação monocritério mostra-se suficiente para a tomada de decisão, em especial quando o problema em apreço for simples, quando o esforço de considerar mais variáveis de análise não justifica a melhoria da qualidade da decisão tomada.

O Capítulo anterior mostrou que esse não é precisamente o caso dos projetos de investimento. A decisão de utilizar uma série de recursos visando obter benefícios implica levar em consideração uma diversidade de critérios, geralmente conflitantes e até contraditórios entre si. Além dessas características, as preferências dos decisores desempenham um papel fundamental no processo decisório e por motivos diversos (interesses pessoais, políticos, entre outros), passam a ser elementos fundamentais que devem ser inevitavelmente considerados na avaliação de um projeto.

É por isso que o estudo da abordagem multicritério leva também a concluir que ela pode ser utilizada como uma ferramenta muito mais valiosa no equacionamento desse tipo de problema, como mostra o Capítulo IV do presente trabalho, por dois motivos principais: i) multiplicidade de critérios, quantitativos e qualitativos agindo num mesmo espaço lógico-matemático; e ii) pluralidade de decisores, permitindo levar em consideração suas preferências num processo de agregação visando obter a melhor solução [MATARAZZO, 1988].

Para esse cenário ser completo, ou pelo menos, muito mais próximo da realidade, é importante destacar uma outra característica fundamental, que geralmente norteia um problema de tomada de decisão. Trata-se da incorporação das condições de incerteza, ambigüidade e imprecisão no processo decisório [KIRKWOOD, 1992]. É seguindo essa ótica que o Capítulo seguinte destina-se ao estudo de uma ferramenta, no caso a de conjuntos difusos³⁴, que permite trabalhar e manejar variáveis revestidas com essas características.

³⁴ Conhecida, em geral, como "Fuzzy Sets". No entanto, na literatura é denominada também como "teoria dos conjuntos difusos" ou "teoria nebulosa".

CAPÍTULO III
TEORIA DE
CONJUNTOS DIFUSOS

SUMÁRIO

1. Principais definições
 - a) A incerteza como ambíguo e como vago
 - b) Conjuntos difusos
2. Medidas difusas
3. Operações com conjuntos
4. Agregação e ordenamento de conjuntos
 - a) Índice de Yager
 - b) Índice de Watson
 - c) Índice de Dubois e Prade
 - d) Índice de Kwakernaak Baas
 - e) Índice otimistas
5. Termos lingüísticos
6. Conclusão

A noção de perfeição ou exatidão, é observada unicamente no mundo da matemática pura, enquanto que as atividades da vida real estão caracterizadas por possuírem estruturas inexatas, ambíguas e vagas [ZIMMERMANN, 1985]. Com efeito, a abstração da realidade ou de fenômenos empíricos traz à tona a dificuldade de representar num modelo, qualquer que ele seja, todas as variáveis em sua exata dimensão, sempre na tentativa e no esforço de refletir, o mais fielmente possível, seu comportamento real.

Geralmente, a abstração e posterior representação de uma determinada situação, em fase de modelagem, obedece ao princípio da simplificação ou da idealização, ou seja, opta-se por reduzir a multiplicidade de dimensões analisadas tornando, portanto, menor e mais simples o modelo; ou constroem-se hipóteses que pressupõem características distantes daquelas consideradas reais, mas que sem dúvida nenhuma, facilitam sua compreensão¹. Assim, as características que têm sido, geralmente, simplificadas ou idealizadas são as da imprecisão, da incerteza e da

¹ Esse é, pelo menos, o objetivo.

ambigüidade, sempre presentes, em maior ou menor grau, em todas as atividades e fenômenos do mundo real².

A lógica difusa é uma ferramenta que trata justamente do manejo de variáveis revestidas dessas características, ou seja, ela lida com o *impreciso*, o *ambíguo*, e o *vago*³. Inicialmente introduzida por Zadeh em 1965 [ZADEH 1965a; 1965b] e amplamente estudada na literatura, tem uma base rigorosa nas ferramentas matemáticas definindo e estabelecendo relações entre conjuntos [KEVIN, 1990].

Trata-se, na verdade, de uma extensão da lógica tradicional binária ou booleana, caracterizada pela condição de absoluta verdade ou falsidade de uma afirmação ou condição⁴, para adotar uma lógica multivalor permitindo a existência de verdades e falsidades parciais. Assim por exemplo, afirmar que uma pessoa com 50 anos de idade é idosa não é precisamente uma verdade, mas ela também não se encaixa na estrita definição de uma pessoa jovem⁵.

É nesse tipo de situações, nas quais a lógica tradicional tem-se mostrado insuficiente, que a lógica difusa manifesta sua versatilidade [WATSON, 1979; WILLIAMS, 1991]. Retomando o exemplo anterior, e seguindo as regras difusas, pode-se criar uma função que relacione a idade, em anos, com o grau de velhice, de forma a conformar situações tais que se possa referenciar uma pessoa de 50 anos como sendo idosa, mas com somente 60% de possibilidade de isso ser verdade e, logicamente, 40% de ser falso, ou seja, uma quase verdade.

² IRVING, 1988, op.cit.

³ Outras ferramentas matemáticas foram desenvolvidas para lidar com a incerteza, principalmente baseadas na teoria de probabilidades. Não obstante mostrar bons resultados em muitas aplicações, a teoria de probabilidades é aplicável unicamente a um tipo particular de incerteza.

⁴ A dicotomia de SIM e NÃO absolutos é geralmente denominado de CRISP (termo adotado no presente trabalho).

⁵ Recorre-se aqui ao clássico exemplo apresentado pelo próprio Zadeh, 1965b, op. cit., simplesmente para mostrar e explicitar o raciocínio da lógica difusa.

Observe-se que o uso de adjetivos para descrever um problema é uma das vantagens fundamentais dessa abordagem. Usar termos tais como "jovem", "velho", "pequeno", "rápido", "elevado", por exemplo, tem várias interpretações e implicações distintas para as pessoas, porque em linguagem natural (tanto na comunicação como no pensamento) o significado das palavras é, geralmente, muito vago⁶. De fato, o significado de uma palavra pode estar muito bem definido, mas quando usada para se referir aos limites que definem se um elemento pertence ou não a um conjunto dado, ela se mistura com um ambiente difuso ou vago, como mostrado no exemplo antes citado.

Situações desse tipo, muito complexas, mal definidas, ou de muito difícil análise com técnicas convencionais, são facilmente contornáveis usando-se a ferramenta de conjuntos difusos [BELLMAN & ZADEH, 1970; CAMES, 1976]. Essas são justamente as características que permeiam a tomada de decisão na avaliação de projetos de investimento, tal como foi visto no primeiro Capítulo do presente trabalho.

É nesse sentido, que o presente Capítulo estuda, fundamentalmente, a lógica difusa, visando salientar os conceitos e procedimentos que serão úteis no equacionamento do problema em questão. Para tal efeito, ele é estruturado em três partes. Inicialmente, são apresentadas as principais definições da teoria dos conjuntos difusos; em seguida são descritas suas principais formas de mensurar a incerteza, para posteriormente apresentar detalhadamente as operações entre conjuntos. Seguem, na seqüência, uma descrição dos principais operadores utilizados no processo de agregação de conjuntos difusos. O Capítulo termina apresentando o fundamento teórico de variáveis lingüísticas, salientando algumas conclusões decorrentes das vantagens desta abordagem.

⁶ Zimmermann, 1985, op. cit.

1 - Principais definições

Como foi dito, a técnica dos conjuntos difusos permite lidar, basicamente, com a incerteza. Em princípio, este termo engloba várias definições (decorrentes de sua semântica) dentre os quais apontam-se as seguintes [KLIR, 1987]:

- não conhecido com certeza, questionável, problemático;
- vago, não definido ou determinado;
- duvidoso, não tendo conhecimento certo, não certo;
- ambíguo;
- não estável ou constante, variável;
- passível de mudanças ou variações, não dependente ou seguro.

Dentre esses seis elementos, são perfeitamente identificáveis duas categorias de incerteza: o ambíguo e o vago, diferenciados da seguinte maneira:

a) A incerteza como ambíguo e como vago

Geralmente, a expressão "vago" é associada à dificuldade de formular severas ou precisas distinções, ou seja, à impossibilidade de fixar exatamente as fronteiras ou limites de alguma determinada situação. Já a ambigüidade é associada a uma relação do tipo "um para vários", ou seja, não há entre eles uma distinção suficientemente forte que especifique, por exemplo, a escolha clara entre duas ou mais ações.

Observe-se que essas duas conotações implicam, automaticamente, estabelecer conexões com vários conceitos revestidos de características tais como "difuso, confuso, nebuloso, não claro, não identificável, geral, diverso, ou divergente". O conceito de medida difusa fornece uma ampla estrutura para lidar com esse tipo de ambigüidade. Na realidade, três são os tipos de ambigüidade suscetíveis de serem trabalhadas.

A primeira é aquela ligada ao tamanho dos conjuntos definidos em termos de uma medida difusa como uma alocação prospectiva de cada elemento em questão, de tal forma que quanto maior esse conjunto, menos específica será sua caracterização. Este tipo de ambigüidade é denominado como de "não específica em evidência".

O segundo tipo de ambigüidade é aquela em que subconjuntos do universo⁷ são definidos por uma determinada medida difusa como uma alocação prospectiva de cada elemento concernente, ou seja, estabelece-se uma relação conflitiva entre subconjuntos. Este tipo de ambigüidade é denominado de "dissonância em evidência".

O terceiro tipo de ambigüidade decorre do número de subconjuntos do universo. Eles são descritos em termos de medidas difusas como uma alocação prospectiva de seus elementos, sempre lembrados da dificuldade de sobreposição de um ao outro. No entanto, se por algum motivo há sobreposição, ela é de forma parcial, nunca total. A relação conflitiva entre esses grupos de conjuntos é justamente o que provoca confusão e o que diferencia o difuso do "CRISP". Por esse motivo, este tipo de ambigüidade é denominado de "confuso em evidência".

Observe-se que essas definições estão formuladas na base da teoria tradicional de conjuntos. Com efeito, como na concepção "CRISP", a definição de conjuntos difusos se dá no contexto de um conjunto universal denominado de X . No entanto, essa definição envolve incerteza na determinação de qualquer elemento de X pertencer ou não a um determinado conjunto A , definido no universo X . Essa situação pode ser assim definida:

- i) Dado um conjunto universal X , um subconjunto difuso A de X é definido pela seguinte função:

⁷ O Conjunto Universal, denotado geralmente por X , é um conjunto genérico de natureza CRISP de todas as entidades pertinentes em qualquer contexto.

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1]$$

onde $\mu_A(x)$ representa o grau de pertinência do elemento x em A , ou seja, o grau de compatibilidade de x com o conceito representado pelo conjunto A . Dessa maneira, se o elemento x não pertence ao absoluto ao conjunto A , isto é, não é elemento de A , o grau de pertinência é nulo, ou seja, $\mu_A(x) = 0$. Mas, do contrário, se x é definitiva e absolutamente elemento de A , então, tem-se que $\mu_A(x) = 1$. Observe-se que, se para todos os elementos do conjunto A , os graus de pertinência fossem 0 ou 1, ou seja, $\mu_A(x)=0$ ou $\mu_A(x)=1$, o conjunto A seguiria uma definição tradicional, isto é, um conjunto "CRISP".

ii) Dado o conjunto universal X , e todos os seus subconjuntos "CRISP" denotados por $P(X)$, define-se uma função $g(A)$ para expressar a incerteza de qualquer elemento particular de A , que, não sendo, "a priori", localizado em qualquer dos conjuntos de $P(X)$, pertence a um conjunto particular de A , porém de natureza "CRISP". Essa função é assim definida:

$$g: P(X) \rightarrow [0,1]$$

No entanto, essa função deve cumprir as seguintes restrições:

- $g(\emptyset) = 0$, e $g(X) = 1$, (condição de limiar);
- Para todo $A, B \in P(X)$, se $A \subseteq B$, logo $g(A) \leq g(B)$, (condição de monotonicidade);
- Para todo $A_i \in P(X)$, $i \in \mathbb{N}$, se $A_i \subseteq A_j \subseteq A_k \subseteq \dots$, ou $A_i \supseteq A_j \supseteq A_k \supseteq \dots$, logo: $\lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i)$, (condição de continuidade). ↗

Em função dessas características, há duas formas de conceituar a incerteza. A primeira, representada pela

condição inicial e introduzida por Zadeh⁸, permite definir subconjuntos de X que não têm suas fronteiras perfeita e exatamente definidas. Dadas as características dessa função, maneja-se o conjunto potencial $P(X)$ de todos os subconjuntos difusos de X com uma variedade de operadores difusos, tais como os de interseção, de complementação, de união, entre outros⁹.

A outra forma, introduzida por [SUGENO, 1972], é representada pela função $g(X)$, conforme a segunda restrição. Ela baseia-se na definição de uma medida geral, denominada de medida difusa no contexto do conjunto $P(X)$, de todos os subconjuntos "CRISP" de X . A questão se resume, portanto, a medir essa característica difusa ou vaga. A esse respeito, há na literatura uma variedade de teorias que propõem formas de medir o difuso e o vago (como apresentado mais adiante) utilizando conjuntos não "CRISP", e definidos no conjunto genérico universal X , isto é, estabelecendo operações entre conjuntos.

b) Conjuntos difusos

Do ponto de vista tradicional, um conjunto "CRISP" é definido como um agrupamento ou coleção de elementos ou objetos x_i , finitos ou não (i.e., $i \neq \infty$, ou $i = \infty$), pertencentes a um universo denotado por X . Sendo A , um conjunto desse universo, isto é, $A \subseteq X$, onde um elemento qualquer x_i de X pode pertencer ou não ao conjunto A . Se de fato $x_i \in A$, a expressão " x pertence a A " é verdadeira; caso contrário ela é falsa.

Essa concepção de conjuntos pode ser descrita de duas maneiras distintas. A primeira é considerar de forma enumerativa todos os elementos que pertencem ao conjunto A , ou seja, definir uma lista deles. Uma segunda maneira é

⁸ Zadeh, 1965a, op. cit.

⁹ Esses operadores são apresentados com mais detalhe nos próximos tópicos do presente Capítulo.

descrever o conjunto analiticamente, quer seja definindo restrições, como, por exemplo $\{x/x \leq 5\}$, ou simplesmente definindo uma função matemática do tipo $(1 - 0)$, de tal forma que, se a função assumir um valor igual a 1, o elemento x pertencerá ao conjunto A ; se for 0, a situação será, precisamente, a inversa.

Já a concepção de um conjunto difuso considera a mesma coleção ou grupo de elementos x do universo X , mas um conjunto A em X passa a ser considerado difuso se ele for formado pelo seguinte conjunto de pares ordenados:

$$A = \{[x, \mu_A(x)]\}, \text{ com } x \in X.$$

onde a expressão $\mu_A(x)$ é denominada função de pertinência, grau de pertinência, grau de compatibilidade ou de verdade de x em A . Se os valores de $\mu_A(x)$ pertencem a um espaço de pertinência M , então o conjunto A é mapeado¹⁰ de X para M , e conseqüentemente, $\mu_A: X \rightarrow M$ é denominada função de pertinência do conjunto A [KANDEL, 1986].

Essa definição se sustenta num conceito fundamental da teoria de conjuntos difusos que permite generalizar conceitos matemáticos de conjuntos "CRISP", denominado de princípio de extensão [DUBOIS, 1980]. Este princípio é definido nos seguintes termos: seja X um produto cartesiano de vários universos X_i , denotado por $X = X_1, X_2, \dots, X_n$, e A_1, A_2, \dots, A_n , n conjuntos difusos definidos em cada universo respectivamente, ou seja, A_1 em X_1 , e assim por diante. Sendo "f" uma função que mapeia X num outro universo Y , ou seja, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, o conceito difuso B em y é definido pela seguinte expressão:

$$B = \{(y, \mu_B(y)) / y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X\}$$

onde a função de pertinência $\mu_B(y)$ adota esta forma:

¹⁰ Quando M contém unicamente dois pontos 0 e 1, o conjunto A não é difuso e $\mu_A(x)$ é igual a uma função característica de um conjunto "CRISP".

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \text{Sup} \min\{\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\} & \text{se } f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0 & \text{outra situação} \end{cases}$$

onde f^{-1} representa o inverso da função f . Considerando-se, por exemplo, um único conjunto difuso A , a função de pertinência passa a ser a seguinte:

$$\mu_B(y) = \begin{cases} \text{Sup} \mu_A(x) & \text{se } f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0 & \text{outro caso} \end{cases}$$

sendo que a função $f(A)$ adota esta forma:

$$f(A) = \{f(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

Observe-se que, nessa última expressão, o conjunto X pode estar formado de objetos concretos ou abstratos. Em ambas as situações, um conjunto difuso $A \in X$ pode ser representado de três maneiras distintas, que são:

i) A primeira, denominada de representação vertical, é aquela em que $\mu_A(x)$ mapeia X no intervalo $[0,1]$, de forma que cada elemento $x \in A$ passa a ter grau de pertinência igual a um, ou seja, se $\mu_A(x) = 1$, implica uma total pertinência, e $\mu_A(x) = 0$, uma total não pertinência [DUBOIS, 1989].

Isso equivale a observar o conjunto X como um eixo ou plano horizontal, colocando o intervalo unitário no eixo vertical, tal como se mostra na Figura 8.

ii) A segunda forma, denominada representação horizontal, sugere considerar o conjunto A em termos de níveis de corte α , ou seja, um conjunto assim definido: $\{A_\alpha / \alpha \in (0,1]\}$, onde o conjunto A_α adota esta forma: $A_\alpha = \{x / \mu_A(x) \geq \alpha\}$. Colocando em termos de função de pertinência, tem-se esta expressão:

$$\mu_A(x) = \text{Supremo} \{\alpha \in (0,1] / x \in A_\alpha\}$$

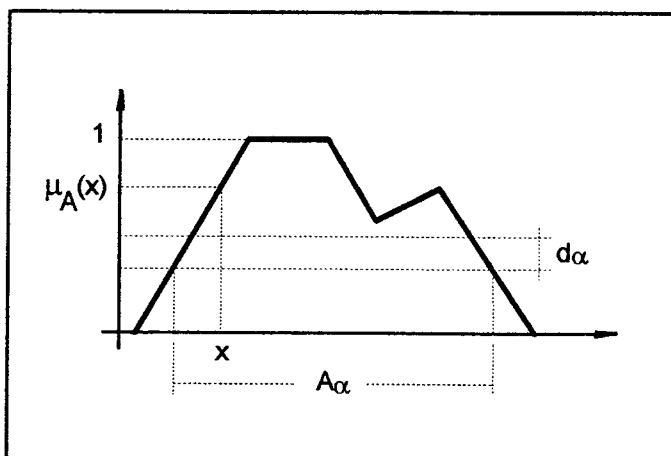


Figura 8: Representação vertical e horizontal de conjuntos difusos

Assim sendo, uma família de conjuntos definidos como $\{A_\alpha / \alpha \in (0,1]\}$ pode ser considerada como um nível de corte¹¹ α de um conjunto A , (tal como mostra a Figura 8), de forma que, para um $\alpha \geq \alpha'$, tem-se que $A_\alpha \subseteq A_{\alpha'}$, sabendo que a expressão seguinte adota este valor: $A_\alpha = \lim_{\beta \rightarrow \alpha} A_\beta$.

iii) A terceira forma de representação de um conjunto difuso é através de uma integral que assume a seguinte expressão:

$$\mu_A(x) = \int_0^1 \mu_{A_\alpha}(x) d\alpha$$

onde $\mu_A(x) = 1$ se $x \in A_\alpha$, e 0 em qualquer outra situação.

Assim, o conjunto $\{A_\alpha / \alpha \in (0,1]\}$ é observado como sendo randômico e uniformemente distribuído. Se $\{A_\alpha / \alpha \in (0,1]\}$ é finito, o conjunto A é denominado de conjunto difuso discreto finito. Não obstante, considerando-se o conjunto de valores positivos de suas funções de pertinência dadas por esta expressão:

¹¹ Tratam-se, na verdade, dos elementos de X que pertencem ao conjunto difuso A para, pelo menos, o grau de pertinência ser α , ou seja: $A_\alpha = \{x \in X / \mu_A(x) \geq \alpha\}$.

$$M(A) = \mu_A(x) - \{0\} = \alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_n\}$$

e definindo-se uma variável auxiliar $m_i = \alpha_i - \alpha_{i+1}$, (com $\alpha_{n+1} = 0$), a representação de conjunto difuso A pode ser assim definida:

$$\mu_A(x) = \sum_{x \in A} \frac{m_i}{\alpha_i}$$

o que mostra que o seguinte somatório é igual à unidade se existir um x para o qual $\mu_A(x) = 1$, ou seja:

$$\sum_{i=1}^n m_i = \alpha_i = 1$$

Por esse motivo, este tipo de representação é denominado, também, de representação normal.

Observe-se que esses três tipos de representação giram sempre em torno de uma função de pertinência $\mu_x(A)$ que mapeia X no espaço M e é utilizado para apreciar o grau de compatibilidade na definição de um elemento x no conjunto A, ou seja, trata-se de uma forma de apreciar a noção de incerteza no tocante à definição do grau de pertinência.

É importante destacar também que as funções de pertinência são fundamentais na definição de um conjunto difuso. Geralmente, ela é definida em termos subjetivos, mas não arbitrários. Assim, em muitos casos é aconselhável expressar as funções de pertinência em termos de funções padrão, com parâmetros que podem ser ajustados de acordo com a situação analisada. São duas as funções padrão geralmente utilizadas, a denominada função S e a função π , definidas segundo estas expressões:

$$S(u, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \text{se } u \leq \alpha \\ 2\left(\frac{u - \alpha}{\gamma - \alpha}\right)^2 & \text{se } \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 - 2\left(\frac{u - \gamma}{\gamma - \alpha}\right)^2 & \text{se } \beta \leq u \leq \gamma \\ 1 & \text{se } u \geq \gamma \end{cases}$$

$$\pi(u, \beta, \gamma) = \begin{cases} S(u, \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma) & \text{se } u \leq \gamma \\ 1 - S(u, \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta) & \text{se } u \geq \gamma \end{cases}$$

onde u, α, β, γ , são os parâmetros dessas funções e $\beta = \frac{\alpha + \gamma}{2}$ representa o ponto de interseção em $S(u, \alpha, \beta, \gamma)$.

Assim sendo, podem ser utilizadas medidas em termos de grau de pertinência, utilizando essas funções para apreciar o quanto de vaga, ou de difusa é a definição de um elemento x no conjunto A . Nesse sentido, apresentam-se, a seguir, as formas de medir o difuso ou nebuloso.

2 - Medidas difusas

Trata-se de uma das preocupações básicas da teoria de conjuntos difusos. Parte-se da idéia de que a medida de "difusibilidade" é simplesmente uma função $f(A)$, que atribui um valor para cada subconjunto de A em X e que caracteriza o grau de "difusibilidade" de A . Ela é assim definida: $f: P(x) \rightarrow \mathfrak{R}$; onde $P(x)$ representa o conjunto de todos os subconjuntos de X .

No entanto, para que o resultado dessa função f seja considerado como uma medida difusa, são necessárias três condições básicas enunciadas da seguinte maneira:

i) se a função $f(A) = 0$, então o conjunto A é de natureza "CRISP";

ii) dados dois conjuntos A e B, se o conjunto A é mais exato¹² que B, ou seja, $A \prec B$, a função de A é maior que a de B, isto é, $f(A) \leq f(B)$;

iii) para um conjunto A, a função $f(A)$ apresenta o seu valor máximo se, e somente se, esse conjunto for totalmente difuso.

Com base nessa estrutura, constam da literatura várias formas de medidas difusas [KAUFMANN, 1975]. Na realidade, todas elas são decorrentes de dois enfoques de medida de incerteza baseadas na teoria tradicional de conjuntos.

A primeira foi introduzida por Hartley¹³ [HARTLEY, 1928] e baseia-se na definição de uma seqüência de elementos pertencentes a um conjunto em função do valor de alguma variável, propriedade dinâmica ou atributo. Todos esses elementos poderão ser escolhidos e eliminados, exceto um, de forma tal que a ambigüidade é totalmente resolvida quando uma das alternativas é selecionada em função do elemento que não foi escolhido. Observe-se que, nesse caso, a quantidade de ambigüidade é proporcional ao número de alternativas ou ações observadas.

A segunda medida de incerteza foi formulada por Shannon¹⁴ [SHANNON, 1948], sustentada totalmente pela teoria de probabilidades e conhecida como a "entropia de Shannon". Ela é definida pela seguinte expressão:

$$H(P(x) / x \in X) = - \sum_{x \in X} P(x) \log_2 P(x)$$

onde $(P(x) / x \in Z)$ é a distribuição de probabilidade de x no conjunto finito X, ou seja, é uma função com mapeamento assim definido: $H: P' \rightarrow [0, \infty]$; onde P' representa o conjunto de todas as distribuições de probabilidade em conjuntos finitos.

¹² A conotação de exato aqui é no sentido de menor grau de incerteza.

¹³ Citado por KLIR, 1988, op. cit.

¹⁴ Referenciado em KLIR, 1988, op. cit.

No entanto, a forma mais conhecida de medida difusa foi introduzida por [DE LUCA, 1972], sustentada em dois conceitos básicos que são:

i) a relação do grau de "difusibilidade" entre dois conjuntos $A \prec B$ é dada por $f(A) \leq f(B)$, de forma que suas funções de pertinência são assim definidas:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \text{ para } \mu_B(x) \leq (1/2);$$

$$\mu_A(x) \geq \mu_B(x), \text{ para } \mu_B(x) \geq (1/2);$$

ii) a expressão do grau máximo de "difusibilidade" de um conjunto é definida por sua função de pertinência com valor igual a $(1/2)$, para todo elemento x pertencente ao conjunto X .

Assim sendo, a medida difusa é definida pela seguinte expressão:

$$f(A) = - \sum_{x \in X} (\mu_A(x) \log_2 \mu_A(x) + [1 - \mu_A(x)] \log_2 [1 - \mu_A(x)])$$

ou simplesmente assim:

$$f(A) = f^*(A) |X|$$

onde $|X|$ denota a cardinalidade¹⁵ do conjunto universal X e $f^*(A)$, sua forma normalizada, de maneira que ela se encontra no intervalo de 0 a 1, ou seja: $0 \leq f^*(A) \leq 1$.

Essa abordagem é distinta daquela definida em termos de distância métrica (euclidiana ou de Hamming) do conjunto A de qualquer outro C , e para a qual a função de pertinência adota esta forma¹⁶:

¹⁵ A cardinalidade de um conjunto difuso A em X é definida pela seguinte expressão: $|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$, ou seja, ela é associada com o número de elementos desse conjunto.

¹⁶ Essa concepção foi introduzida por Kaufmann 1975, op. cit., e conhecida como índice de difusibilidade.

$$\mu_C(x) = 0 \quad \text{se} \quad \mu_A(x) \leq (1/2)$$

$$\mu_C(x) = 0 \quad \text{se} \quad \mu_A(x) > (1/2)$$

Assim, se é considerada a distância euclidiana, a função $f(A)$ passa a ser a seguinte expressão:

$$f(A) = \left(\sum_{x \in X} [\mu_A(x) - \mu_C(x)]^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Trata-se, em última instância, de apreciar o grau de incerteza calculando a distância métrica que há entre dois conjuntos simplesmente pela operação de subtração de conjuntos, ou seja, pela subtração de suas funções de pertinência. Como a função de pertinência é uma componente fundamental de um conjunto difuso, a operação entre conjuntos difusos é definida diretamente por seu manejo. Para tal efeito, a teoria define uma série de operadores, dos quais os mais importantes e comumente utilizados são descritos a seguir.

3 - Operações com conjuntos

Suponham-se dois conjuntos difusos A e B definidos no universo X . Com base neles, são definidas as operações básicas da seguinte maneira:

i) A união de dois conjuntos, A e B , denotada por $A \cup B$, é definida nos seguintes termos:

$$A \cup B = \int_X (\mu_A(x) \vee \mu_B(x)) / x$$

onde o símbolo " \vee " é um operador que significa "o máximo". No entanto, Yager define a união de conjuntos de uma outra maneira com base num parâmetro P , cujo valor é maior ou igual à unidade [YAGER, 1985]. Ela é dada pela seguinte expressão:

$$\mu_{A \cup B}(x) = 1 - \text{Min} \{ 1, (\mu_A(x)^P + \mu_B(x)^P)^{1/P} \} ; p \geq 1$$

ii) A interseção de dois conjuntos, A e B, é denotada como $A \cap B$, e definida nos seguintes termos:

$$A \cap B = \int_x (\mu_A(x) \wedge \mu_B(x)) / x$$

onde o símbolo " \wedge " significa "mínimo" [BELLMAN, 1973]. Uma outra definição¹⁷ implica em colocar essa expressão em função do parâmetro P, sendo maior ou igual a 1, tal como se mostra a seguir:

$$\mu_{A \cap B}(x) = 1 - \text{Min} \{1, ((1 - \mu_A(x))^P + (1 - \mu_B(x))^P)^{1/P}\}; p \geq 1$$

É importante destacar que o operador de interseção converge para o operador de mínimo quando o parâmetro dessa equação tende ao infinito, ou seja, $P \rightarrow \infty$. Já quando ele é estritamente igual à unidade, isto é, $p=1$, Yager¹⁸ o denominou como sendo operador "Bold intersection", definido assim:

$$A \cap B = \{(x, \mu_{A \cap B}) / x \in X\},$$

onde: $\forall x \in X, \mu_{A \cap B}(x) = \text{Max} (0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$

Em Zimmermann¹⁹, sugere-se um outro operador decorrente da combinação da união e interseção, dito de "operador compensatório", definido pela seguinte expressão:

$$\mu_{A_{\text{comp}}}(x) = \left(\prod_{i=1}^m \mu_i(x) \right)^{(1-\varphi)} \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_i(x))^\varphi \right)$$

$$\forall x \in X \text{ e } 0 \leq \varphi \leq 1$$

onde φ é uma combinação de produto e de soma algébrica.

iii) O produto de dois conjunto A e B é denotado por AB e definido segundo esta expressão:

¹⁷ Yager, 1985, op. cit.

¹⁸ Op. cit., 1980.

¹⁹ Op. cit., 1980.

$$AB = \int_x \mu_A(x) \mu_B(x) / x$$

iv) A soma de dois conjuntos A e B é representada por $A \oplus B$ e definida da seguinte maneira:

$$A \oplus B = \int_x 1 \wedge (\mu_A(x) + \mu_B(x)) / x$$

onde \oplus representa a soma aritmética.

v) A subtração entre dois conjuntos A e B é representada por $A \ominus B$ e assim definida:

$$A \ominus B = \int_x 0 \vee (\mu_A(x) - \mu_B(x)) / x$$

Além de esses operadores serem os mais utilizados, constam da literatura vários outros, como, por exemplo, os propostos por Dubois²⁰ e definidos segundo estas expressões:

$$\forall x \in X, \mu_{A|-|B}(x) = \text{Max} (0, \mu_A(x) - \mu_B(x))$$

$$\forall x \in X, \mu_{A|*|B}(x) = |\mu_A(x) - \mu_B(x)|$$

Quando o operador "*" não é associativo, tem-se esta situação:

$$\forall x \in X, \mu_{A|*|B}(x) = \text{Max}\{\text{Min}(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x)), \text{Min}(1 - \mu_A(x), \mu_B(x))\}$$

$$\mu_A^m(x) = [\mu_A(x)]^m, \forall x \in X, \forall m \in \mathbb{R}^+$$

$$\forall \lambda \in [0, 1], \forall x \in X$$

$$\mu_{A|\lambda B}(x) = \lambda \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x)) + (1 - \lambda) \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

Observe-se que esses operadores permitem manipular conjuntos difusos realizando operações básicas. Esse fato constitui uma vantagem no processo de agregação de conjuntos difusos devido à grande flexibilidade no uso desses operadores. Com efeito, consta da literatura uma grande variedade de formas de agregação e ordenamento de conjuntos

²⁰ Op. cit., 1989.

difusos [DUBOIS, 1985; KLEMENT, 1984] usando, principalmente, funções de pertinência que mapeiam o conjunto A de X no espaço M (antes definido). Nesse sentido, com base nesses operadores, estuda-se, a seguir, as principais formas de agregação e de ordenamento de conjuntos difusos.

4 - Agregação e ordenamento de conjuntos

Definidos os conjuntos e estabelecidas suas funções de pertinência, o processo de agregação e ordenamento de conjuntos se dá através de operações combinando operadores padrão, ou definindo novos operadores. Para tanto, faz-se necessário estabelecer o tipo de ligação que existe entre eles, ou seja, a relação difusa entre os diversos conjuntos analisados [BORTOLAN, 1985; SAADE, 1992; BOUYSSOU, 1992].

Assim sendo, suponha-se que X seja um conjunto difuso e A um outro definido em X segundo os pares ordenados $(x, \mu_A(x))$, $x \in X$, (sendo $\mu_A(x)$ a função $X \rightarrow [0,1]$), uma relação difusa em X é o conjunto estabelecido pela seguinte função de pertinência²¹: $\mu_R: X \times X \rightarrow [0,1]$.

Esse novo conjunto cumpre as seguintes propriedades de relação difusa μ :

- Reflexiva: $\mu(x,x) = 1$;
- Simétrica: $\forall x, y \in X, \mu(x,y) = \mu(y,x)$;
- Transitiva: $\forall x, y \in X, \mu(x,y) \geq \text{Sup Min } \{\mu(x,z), \mu(z,y)\}$;
- Antireflexiva: $\forall x, y \in X, \mu(x,x) = 0$.
- Antissimétrica: $\forall x, y \in X, \mu(x,y) > 0 \Rightarrow \mu(y,x) = 0$.

Dessa maneira, uma relação é denominada de equivalente se for reflexiva, simétrica e transitiva; relação estrita se for antirreflexiva e transitiva; relação de semi-ordenamento se for reflexiva e transitiva; e inversa, se sua função de pertinência $\mu_R(x,y)$ passar a ser $\mu_R^{-1}(x,y)$. Assim, por

²¹ Função com mapeamento no espaço M com intervalo de 0 a 1.

exemplo, definindo duas relações difusas de estrita preferência (P) e de absoluta indiferença (I) entre dois elementos x e y , suas funções de pertinência passam a ser assim definidas:

$$\mu_P(x, y) = \begin{cases} \mu_R(x, y) - \mu_R(y, x) & \text{se } \mu_R(x, y) \geq \mu_R(y, x) \\ 0 & \text{outro caso} \end{cases}$$

$$\mu_I(x, y) = \min\{\mu_R(x, y), \mu_R(y, x)\}$$

Em função dessa relação difusa, é possível determinar os elementos x de X que não são estritamente dominados²² por nenhum outro elemento desse conjunto. Essa situação é definida com um outro conjunto com elementos (X, μ_{ND}) com a seguinte função de pertinência²³:

$$\mu_{ND}(x) = \text{Inf } [1 - \mu_S(y, x)] = 1 - \text{Sup } \mu_S(y, x)$$

onde $\mu_{ND}(x)$ representa o grau pelo qual o elemento x não é dominado por nenhum outro elemento do conjunto X .

Substituindo nessa expressão na anterior definição de $\mu_S(y, x)$, tem-se que:

$$\text{Sup } \mu_S(y, x) = \text{Sup } [\mu(y, x) - \mu(x, y)]$$

onde " μ " representa a relação de preferência não estrita, ou seja, ela assume a seguinte forma:

$$\mu_{ND}(x) = 1 - \text{Sup } [\mu(y, x) - \mu(x, y)]$$

Observe-se que, para qualquer elemento de $y \in Y$, a função $\mu_S(y, x)$ ² é um conjunto difuso de elementos x , estritamente dominados pelo conjunto y . Portanto, o complemento do conjunto difuso, isto é, $(1 - \mu_S(y, x))$, é para y

²² Aqui, um elemento domina outro na concepção de comparação de funções de pertinência, ou seja, em decorrência do grau de pertinência ser maior ou menor.

²³ No subíndice ND significa não dominado.

fixo o conjunto difuso de todos os elementos que não são estritamente dominados pelo y . A interseção de todos esses conjuntos para $y \in Y$ representa os elementos $x \in X$, que não são estritamente dominados por nenhum outro elemento do conjunto X , tal como indica a expressão anterior.

Portanto, o conjunto máximo de elementos (x, μ) não dominados pode ser assim definido:

$$X^{ND} = \{x / x \in X, \mu^{ND}(x)\} = \text{Sup } \mu^{ND}(z)$$

Além da definição de relações difusas, podem ser identificadas estruturas de domínio entre os elementos de um conjunto [TAKEDA, 1980] para, dessa forma, determinar a intensidade ou o grau com que um elemento $y \in Y$ é dominado por outro. Assim, seja a expressão $(y' - y)$ a representação do grau com que $y' \in Y$ é dominado pelo y ; a família de conjuntos difusos $\{D(y)/y \in Y\}$ é dita de estrutura de dominação difusa, ou seja, ela é definida atendendo à seguinte expressão (sabendo que $y \in Y$, para $y \neq y'$):

$$\text{Sup } \mu_D(y) (y' - y),$$

onde um conjunto difuso N em Y , que contém todos os elementos não dominados, é definido conforme a seguinte função de pertinência:

$$\mu_N(y) = 1 - \text{Sup } \mu_D(y) (y' - y), \quad \text{para } y' \in Y$$

Essa expressão permite determinar os elementos que pertencem ao conjunto de dominadores, bem como a intensidade ou o grau dessa dominação.

No entanto, a forma de classificar conjuntos difusos e, mais especificamente, a maneira de ordená-los seguindo um processo de agregação, envolve mais do que operações entre conjuntos. Com efeito, são várias as alternativas que podem ser exploradas a partir de funções de pertinência, de seus operadores e das relações difusas entre os conjuntos. Combinando esses conceitos, é possível estabelecer um

mecanismo de agregação e de ordenamento ou classificação dos conjuntos como um mapeamento de suas funções na linha dos reais²⁴. Nesse sentido, os métodos de classificação mais citados na literatura são os seguintes:

a) Índice de Yager

Suponham-se n subconjuntos difusos convexos $(S_i, i \in N = \{1, 2, \dots, n\})$ definidos da seguinte maneira: $S_i = \{z, \mu_S(z)\}$, $z \in S_i \subset I$. O método mais simples para ordenar esse conjunto S_i consiste em definir um mapeamento F de cada conjunto, na linha dos reais, que por definição, seguem um ordenamento natural.

Yager sugere várias funções de ordenamento, nas quais não se assume a hipótese de conjuntos convexos²⁵. Assim seja essa função de mapeamento definida como $F: P(I) \rightarrow R$, onde $P(I)$, é o conjunto dos subconjuntos difusos de I , e F , a função de mapeamento, de forma que são cumpridas as seguintes expressões:

$$\begin{aligned} F(S_i) < F(S_j) &\implies S_i < S_j \\ F(S_i) = F(S_j) &\implies S_i = S_j \\ F(S_i) > F(S_j) &\implies S_i > S_j \end{aligned}$$

A função final assume a seguinte forma:

$$F(S_i) = \frac{\int_0^1 g(z, \mu_S(z)) dz}{\int \mu_{S_i}(z) dz}$$

onde $g(z)$ é o peso que mede a importância do valor de z . Se ela for linear, será igual a $g(z) \equiv z$ e, portanto, a função de mapeamento $F(S_i)$ representaria o centro de gravidade do conjunto difuso como se mostra na Figura 9.

²⁴ Dessa maneira, tira-se proveito do ordenamento natural dos reais.

²⁵ Um conjunto A é convexo se cumpre a seguinte condição: $\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2))$, onde $x_1, x_2 \in X$, e o parâmetro $\lambda \in [0, 1]$.

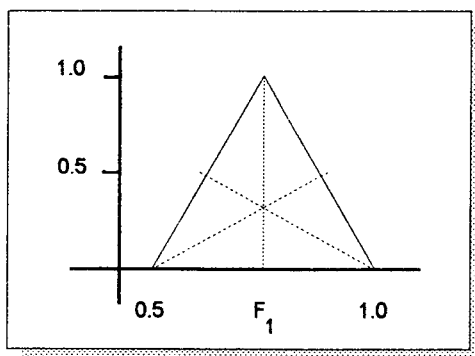


Figura 9: Centro de gravidade de um conjunto difuso

No entanto, se essa função $F_j(S_i)$ é utilizada para medir a consistência do conjunto difuso S_i num conjunto z , que é definido linearmente como $\mu_z(z) = z$, o índice de ordenamento passa a ser o seguinte:

$$F_2(S_i) = \text{Max Min } (z, \mu_{S_i}(z))$$

Essa situação implica determinar um ponto no intervalo $[0,1]$, tal como se mostra na Figura 10.

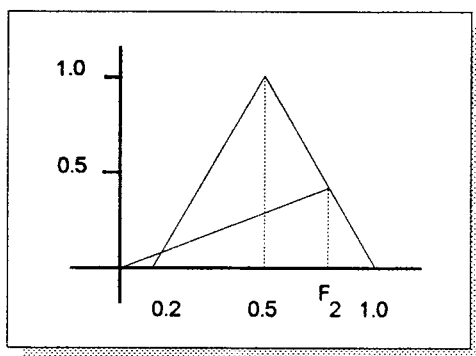


Figura 10: Índice de ordenamento

Assim, com base na anterior expressão, é perfeitamente lógico associar o ponto obtido com determinado limiar ou índice de preferência. Se assim for, a classificação baseia-se no conceito de conjunto de corte de nível α , isto é, \cup_i^α , de forma tal que o valor da média dos elementos do conjunto \cup_i^α de S_i , ou seja $M(\cup_i^\alpha)$, passa a ser calculada nos seguintes termos:

$$F_3(S_i) = \int_0^{\alpha} \max M(\cup_i^{\alpha}) d\alpha$$

ou mais simplesmente assim:

$$F\alpha(S_i) = \text{Max} \{z / \mu_{S_i}(z) \geq \alpha\}$$

onde $\alpha_{\text{max}} = \text{Máximo}(S_i)$, representa a área em destaque da Figura 11.

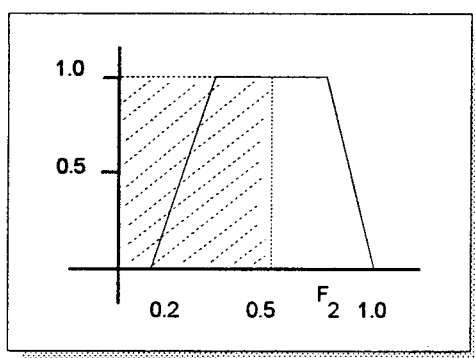


Figura 11: Índice de ordenamento de corte de nível α

Observe-se que, nas três situações, o conjunto analisado não deve ser convexo. Isso constitui, de certa forma, uma limitação, porque a classificação de conjuntos e fica restrita àqueles que não o são. Isso não acontece com os índices de Watson, descritos a seguir.

b) Índices de Watson

Seja x a representação da seguinte situação: " a_1 elemento de S_1 e a_2 elemento de S_2 "; y , indicando que "o elemento a_1 é estritamente preferido ao a_2 " e onde as funções de pertinência, em função de dois elementos z_1 e z_2 , são as seguintes:

$$\mu_x(z_1, z_2) = \text{Min}[\mu_{S_1}(z_1), \mu_{S_2}(z_2)]$$

$$\mu_y(z_1, z_2) = \begin{cases} 1, & \text{se e somente se } z_1 > z_2 \\ 0, & \text{outro caso} \end{cases}$$

Para $z_1 \in S_1$, $z_2 \in S_2$, a hipótese antes levantada em relação a x e y faz com que a função de pertinência seja assim definida:

$$\mu(x \rightarrow y) = \text{Min Max } [1 - \mu_x(z_1, z_2), \mu_y(z_1, z_2)]$$

Portanto, o índice de estrita preferência de S_1 sobre S_2 , que classifica um em relação ao outro, é dado pela seguinte expressão:

$$\mu(x \rightarrow y) = 1 - \text{Max Min } [\mu_{S_1}(z_1), \mu_{S_2}(z_2)]$$

c) Índices de Dubois e Prade

Segundo [DUBOIS, 1983], o operador "Max", utilizado como índice de ordenamento de conjuntos difusos, não é adequado em alguns casos, motivo esse que o levou a definir outros quatro índices de ordenamento, para assim poder descrever a posição relativa de dois números difusos a_i e b_j , Estes índices são os seguintes:

- O grau de possibilidade de domínio (PD) de a_i sobre a_j , definido assim:

$$PD(a_i) = \prod_{a_i}([a_j, +\infty])$$

ou seja, a possibilidade de ($a_i \geq a_j$). Essa expressão pode ser escrita da seguinte maneira:

$$PD(a_i) = \text{Sup Min } [\mu_a(z_i), \text{Sup } \mu_a(z_j)]$$

ou mais simplesmente:

$$PD(a_i) = \text{Sup Min } [\mu_a(z_i), \mu_a(z_j)]$$

- O grau de possibilidade de estrita dominância (PED) de a_i sobre a_j , dada por esta expressão:

$$PED(a_i) = \prod_{a_i}(\setminus a_j, +\infty)$$

quando há possibilidade de $(a_i > a_j)$, situação que é equacionada da seguinte maneira:

$$PED(a_i) = \text{Sup Inf Min}[\mu_a(z_i), 1 - \mu_a(z_j)]$$

- O grau de necessidade de dominância de a_i sobre a_j , definido como sendo:

$$ND(a_i) = N_{a_i}([a_j, +\infty])$$

se $(a_i \geq a_j)$. Nesse caso, a equação anterior passa a ser assim definida:

$$ND(a_i) = \text{Inf Sup Max} [1 - \mu_{a_i}(z_i), \mu_{a_j}(z_j)]$$

- O grau de necessidade de estrita dominância (NSD) de dois elementos, definida como sendo:

$$NSD(a_i) = N_{a_i}([a_j, +\infty])$$

ou mais simplesmente escrita assim:

$$NSD(a_i) = 1 - \text{Sup Min} [\mu_{a_i}(z_i), \mu_{a_j}(z_j)]$$

$$NSD(a_i) = 1 - PD(a_j)$$

Portanto, dois ou mais conjuntos difusos podem ser colocados em ordem decrescente em termos dos valores obtidos por esses quatro índices. Se neles o ordenamento se mostra consistente, significa que os conjuntos podem ser ordenados sem nenhum tipo de problema. No entanto, se há contradição nos resultados obtidos nos índices, então os conjuntos a serem ordenados podem ser classificados de acordo com a preferência do decisor, ou seja, eles podem ser arranjados de tal forma a superar essa contradição²⁶.

²⁶ Trata-se, na realidade, de um arranjo subjetivo do novo ordenamento. Um outro ordenamento de conjuntos utilizando índices de otimismo pode ser encontrado em KIM, 1990, segundo vários critérios como os descritos em YUAN, 1991.

d) Índice de Baas Kwakernaak

Seja: $x = \{x_i / i = 1, 2, \dots, n\}$ um conjunto de elementos; $G = \{g_j / j = 1, 2, \dots, m\}$ um conjunto de metas; r_{ij} , o "ratio" (mérito relativo) de cada elemento x_i em relação à meta j ; e $w_{ij} \in R$ seu peso (importância). A hipótese de partida é que o ratio do elemento i em relação à meta j é difuso e representado pela função de pertinência $\mu_{R_{ij}}(r_{ij})$ (i.é., dois conjuntos sendo que um deles é afetado por um outro conjunto de pesos).

Sabendo que a importância relativa (via pesos) de cada elemento j é representada pelo conjunto difuso w_j com a função de pertinência $\mu_{w_j}(w_j)$, e que todos os conjuntos difusos são passíveis de ser normalizados (i.é., todos têm suporte finito e pelo menos uma vez se atinge o valor 1), o ordenamento de x_i é o conjunto difuso definido pela seguinte função de mapeamento:

$$g(z): R^{2n} \rightarrow R$$

$$g(z) = \frac{\sum_{i=1}^n w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j}$$

onde $z = (w_1, \dots, w_n, r_1, \dots, r_n)$.

No espaço produto R^{2n} , define-se a função de pertinência μ_{z_i} como sendo:

$$\mu_{z_i}(z) = \left[\bigwedge_{j=1}^n \mu_{w_j}(w_j) \right] \wedge \left[\bigwedge_{k=1}^n \mu_{R_{ik}}(r_k) \right]$$

$$\mu_{z_i}(z) = \text{Min}\{\text{Min}(\mu_{w_j}(w_j)), \text{Min}(\mu_{R_{ik}}(r_k))\}$$

Através da função de mapeamento $g: R^{2n} \rightarrow R$, o conjunto difuso $z = (R^{2n}, \mu_{z_i})$ ou $Z = \{(R, \mu_{z_i})\}$ induz o conjunto difuso $R = \{(R, \mu_R)\}$ com a seguinte função de pertinência:

$$\mu_R(r) = \text{Sup } \mu_{z_i}(Z), r \in R$$

ou simplesmente:

$$z: g(z) = r$$

Essa função de pertinência caracteriza o "ratio" final dos elementos x_i . Assim, para comparar esses "ratios" e relacioná-los (i.e., o ordenamento dos conjuntos), define-se o conjunto de elementos preferidos e definidos da seguinte maneira: $\{i \in I / r_i \geq r_j, \forall j \in I\}$, onde $I = 1, 2, \dots, m$. Desse modo, se eles forem "CRISP", o primeiro da seqüência será aquela que tem o maior "ratio", e assim por diante. Mas, tratando-se de "ratios" finais difusos, esse conjunto ordinário é substituído pelo conjunto difuso (I, μ_I) , cuja função de pertinência é determinada da seguinte maneira [KWAKERNAAK, 1977]:

Definir, inicialmente, o conjunto condicional difuso $(I, \mu_{I/R})$, com a seguinte função de pertinência:

$$\mu_{I/R} = (i / r_1, r_2, \dots, r_m) = \begin{cases} 1, & \text{se } r_i \geq r_j \quad \forall j \in I \\ 0 & \text{outro caso} \end{cases}$$

indicando que a alternativa x_i pertence ao conjunto de preferências se, e somente se, $r_i \geq r_j, \forall j \in I$. Como no R^n , os "ratios" finais difusos definem o conjunto difuso $R = (R^m, \mu_R)$, a função de pertinência adota esta forma:

$$\mu_R(r_1, \dots, r_m) = \text{Min } \mu_{R_i}(r_i)$$

Esse conjunto difuso (R^m, μ_R) , conjuntamente com o condicional $(I, \mu_{I/R})$, induz o conjunto difuso (I, μ_I) , com a função de pertinência definida por esta expressão:

$$\mu_I(i) = \text{Sup } \mu_{I/R}(i / r_1, r_2, \dots, r_m) \wedge \mu_R(r_1, r_2, \dots, r_m)$$

ou mais simplesmente escrita assim:

$$\mu_I(i) = \text{Sup } \mu_{R_j}(r)$$

Essa expressão pode ser interpretada como a intensidade com a qual o elemento x_i é o melhor (supondo o caso da existência de um só elemento "i"), que tenha função de pertinência 1 no conjunto (I, μ_I) , e que maximiza o valor i na seguinte expressão:

$$r_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_j^* r_{ij}^*}{\sum_{j=1}^n w_j^*}$$

Não obstante, podem existir alguns x_i que atinjam seus máximos graus de pertinência em r_{i^*} . Se assim for, define-se um outro critério para distinguir o grau de preferência de um elemento sobre os outros. Assim, por exemplo, se os "ratios" forem "CRISP", então para i fixo, a medida da preferência de x_i sobre as outras pode ser assim expressa:

$$P_i = r_i - \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m r_j$$

Com "ratios" difusos r_i , o mapeamento $R^m \rightarrow R$ induz o conjunto difuso $P = (R, \mu_{P_i})$ com a seguinte função de pertinência:

$$\mu_{P_i}(p) = \text{Sup } \mu_R(r_1, r_2, \dots, r_m), \forall p \in R$$

$$r_1, r_2, \dots, r_m ; h_1(r_1, r_2, \dots, r_m) = p$$

Essa expressão indica o grau de preferência de x_i sobre os outros elementos, permitindo, portanto, o ordenamento dos conjuntos.

e) Índices otimistas

Há casos nos quais é necessário refletir a atitude otimista ou pessimista do decisor no processo de classificação de conjuntos. Essa situação é contornada usando índices de otimismo ou pessimismo, no intervalo $[0,1]$, baseados na combinação convexa da possibilidade máxima e do

complemento da mínima possibilidade do ordenamento de dois elementos. Esses índices são os seguintes:

- Visão otimista - seja $Y \subset \mathbb{R}$, o conjunto suporte²⁷ de $\{\cup n_i\}$, onde n_i é um número difuso definido na linha real com a seguinte função de pertinência μ :

$$\mu \rightarrow \begin{cases} \text{aumentar} & \text{sobre } [a, b] \\ 1 & \text{sobre } [b, c] \\ \text{diminuir} & \text{sobre } [c, d] \\ 0 & \text{outro caso sobre } (-\infty, a] \cap [1, +\infty) \end{cases}$$

Dessa forma, um x_{\max} e um x_{\min} , que passam a ser definidos como: $x_{\max} = \text{Sup } Y$; e $x_{\min} = \text{inf } Y$, implicam a definição de um conjunto maximizante $G_{\max} = \{(x, \mu_{G_{\max}}(x))\}$, $x \in Y$, que representa o conjunto difuso tal que o grau de pertinência do ponto x em G_{\max} seja dado pela seguinte expressão:

$$\mu_{G_{\max}}(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Observe-se que se trata de uma função de pertinência com comportamento de incremento linear, representando o grau com que x se aproxima de x_{\max} segundo a visão otimista do decisor.

- visão pessimista - para representar o ponto de vista pessimista do decisor, define-se um conjunto minimizante, representado por $G_{\min} = \{(x, \mu_{G_{\min}}(x))\}$, e com função de pertinência definida nos seguintes termos:

$$\mu_{G_{\min}}(x) = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}}$$

²⁷ O suporte de um conjunto difuso A , denotado por $S(A)$, é o conjunto "CRISP" de todos os elementos pertencentes ao universo, isto é, $x \in X$, tal que sua função de pertinência seja maior que zero, ou seja, $\mu_A(x) > 0$.

Essa expressão adota um comportamento de diminuição linear, representando, dessa forma, o grau com que x se aproxima do mínimo x_{\min} segundo a visão pessimista do decisor.

Observe-se que o conjunto difuso $(n_i \cap G_{\min})$ representa a distribuição de possibilidade de cada suporte de n_i ser mínima; de forma que o decisor pode definir o conjunto de decisão $D_p = \{(i, \mu_{D_p}(i))\}$, considerando o grau de pertinência de cada n_i com a possibilidade de ele não ser mínimo, conforme esta expressão:

$$\mu_{D_p}(i) = 1 - v(n_i \cap G_{\min})$$

No caso de uma classificação não ser totalmente pessimista ou totalmente otimista, uma combinação de D_p e D_o , com o índice de "otimismo-pessimismo" k , representará uma classificação moderada, ou seja:

$$\mu_D(i) = k \mu_{D_o}(i) + (1 - k) \mu_{D_p}(i)$$

ou mais simplesmente:

$$\mu_D(i) = k v(n_i \cap G_{\max}) + (1 - k)[1 - v(n_i \cap G_{\min})]$$

onde, $k \in [0,1]$

Esta última expressão mostra que a flexibilidade do uso de operadores para ordenar e classificar conjuntos difusos pode ser perfeitamente aproveitada para manejar as preferências dos decisores num problema de tomada de decisão multicritério. Com efeito, a representação das preferências como variáveis difusas permite agregá-las utilizando simplesmente operadores difusos, quer sejam padrão, quer seja definindo operadores específicos em função do processo de agregação.

Além disso, a classificação e o ordenamento de alternativas e de critérios considerados como conjuntos difusos seguem o mesmo princípio, ou seja, podem ser

representadas por funções de pertinência que podem ser agregadas de forma a escolher a melhor alternativa.

Assim, uma forma muito vantajosa de agregar situações complexas é utilizar linguagem natural, ou seja, palavras ou expressões no lugar de funções matemáticas ou expressões numéricas. A manipulação desses termos linguísticos é através de operações com funções de pertinência difusas, tal como se descreve a seguir.

5 - Termos linguísticos

As variáveis são caracterizadas por palavras ou expressões em linguagem natural ou artificial e não por números ou expressões numéricas.

Do ponto de vista conceitual, uma variável lingüística é formada por um arranjo de cinco elementos, que são os seguintes: $(x, T(x), X, G, M(x))$; onde x representa o nome da variável; $t(x)$ o conjunto de valores lingüísticos para os quais existem expressões admissíveis por essa variável, ou seja, o conjunto de nomes de variáveis lingüísticas de x sob forma difusa denotada genericamente por x , e que pertençam ao Universo X (associados segundo uma variável y); G é uma regra sintática para gerar o nome e M , sua regra semântica.

Assim, retomando o clássico exemplo de Zadeh²⁸, considere-se como sendo X uma variável lingüística que representa a "idade" das pessoas, ou seja, " $x = \text{idade}$ ". Como $T(x)$ é o conjunto de variáveis de x , ela passa a ser assim definida²⁹:

²⁸ Op. cit., 1965b.

²⁹ Apresenta-se o exemplo do próprio Zadeh para mostrar a lógica difusa na descrição de um problema usando variáveis lingüísticas associadas a conjuntos difusos.

$T(\text{idade}) = \{\text{velho, muito velho, idoso, jovem, mais ou menos jovem, muito jovem, ...}\}$

O universo U é o conjunto de anos de vida³⁰, ou seja, $U = [0,100]$. G é a regra sintática que gera os termos utilizados em $T(x)$; e a regra semântica $M(x)$ é a que atribui o significado para os termos definidos pela regra semântica, ou seja, define que tipo de conjunto difuso é associado a cada termo. Assim, por exemplo, a regra semântica de uma pessoa velha, isto é, $M(\text{velha})$ é dada pela seguinte expressão:

$$M(\text{velha}) = \{y, \mu_{\text{velha}}(y), y \in [0,100]\}$$

onde a função de pertinência desse conjunto é definida assim:

$$\mu_{\text{velha}}(y) = \begin{cases} 0 & \text{se } y \in [0, 50] \\ \left[1 + \left[\frac{y - 50}{5}\right]^2\right]^{-1} & \text{se } y \in [50, 100] \end{cases}$$

A forma dessa curva é mostrada na Figura 12.

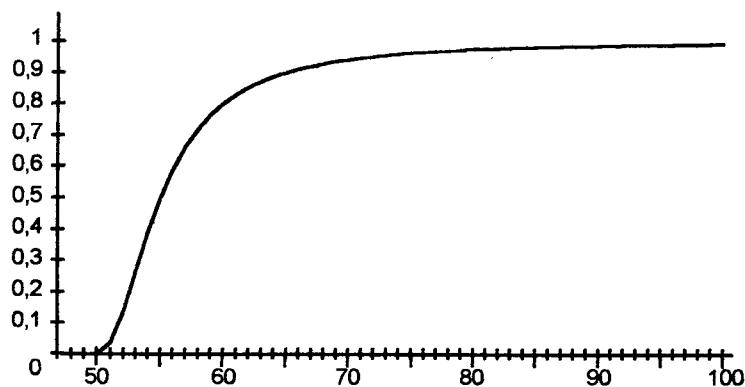


Figura 12: Representação difusa da variável linguística

³⁰ Considerando-se como 100 anos a idade máxima de uma pessoa.

Uma variável lingüística definida dessa maneira é denominada de estruturada se o conjunto $T(x)$ e seus significados $M(x)$ podem ser caracterizados por meio de algoritmos matemáticos que geram o conjunto de elementos de $T(x)$ com seus significados.

No entanto, nem todas as variáveis lingüísticas são estruturadas. Com efeito, a literatura indica que a maioria delas é baseada principalmente em interpretações subjetivas mais do que em representações estritamente matemáticas [FREKSA, 1982]. Esse autor explica que a representação da realidade por meio de observações "soft" caracteriza-se pelas seguintes propriedades:

- o significado dessa representação é flexível de forma a refletir as observações individuais das pessoas;

- os limites ou fronteiras das representações de objetos não são necessariamente rígidos, permitindo, portanto, sobreposições entre as observações de vários objetos;

- comparações entre diferentes níveis de representações é perfeitamente possível;

- são factíveis comparações entre observações subjetivas;

- a representação deverá ter uma pequena distância cognitiva em relação ao observado;

- é possível formular observações empíricas mais do teóricas³¹.

Em geral, essas observações são representadas por distribuições de possibilidade simplificadas no intervalo descrito por quatro parâmetros $[a,b,c,d]$, tal como mostra a Figura 13.

³¹ Zimmermann, 1985, op. cit.

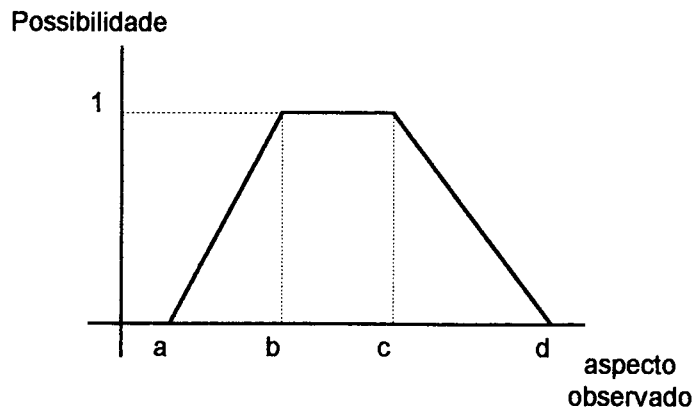


Figura 13: Representação lingüística como distribuição de possibilidade

Observe-se que o grau de possibilidade do aspecto observado no intervalo bc é igual a 100%, enquanto que nos intervalos ab , e cd , essa possibilidade varia entre 0 e 100%.

Trata-se, na realidade, de um número trapezoidal difuso com função de pertinência contínua, atendendo às seguintes condições:

- um mapeamento contínuo do valor observado no intervalo fechado $[0,1]$;
- uma constante para o intervalo $(-\infty, a]$ igual a zero³², ou seja, $\mu(x) = 0, \forall x \in (-\infty, a]$;
- uma função sempre crescente no intervalo fechado $[a,b]$;
- uma constante unitária no intervalo fechado $[b,c]$, ou seja, $\mu(x) = 1, \forall x \in [b,c]$;
- uma função sempre decrescente no intervalo $[c,d]$;
- uma constante igual a zero para o intervalo $[d, +\infty)$, de forma tal que $\mu(x) = 0, \forall x \in [d, +\infty)$.

³² Equivale a dizer, desde o infinito até a , mas sem incluí-lo.

Essas características facilitam, em muito, as definições das principais operações entre números difusos trapezoidais, descritas a seguir.

i) Soma de números difusos trapezoidais

A soma desses números é feita de duas maneiras diferentes. Assim, sejam M e N dois números difusos, a primeira delas é utilizar níveis de corte α e gerando os seguintes intervalos: $M_\alpha = [m_1, m_2]$, e $N_\alpha = [n_1, n_2]$, tal como se mostra na Figura 14.

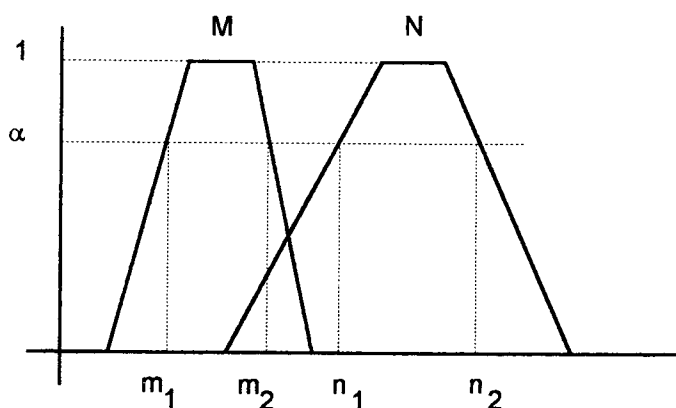


Figura 14: Níveis de corte α de dois números difusos

A soma de M e N é dada pela seguinte expressão:

$$M_\alpha (+) N_\alpha = [m_1 + n_1, m_2 + n_2]$$

A segunda maneira é utilizando o conceito de MAX-MIN, seguindo o princípio de extensão. Assim, a soma de dois números é definida assim:

$$\mu_{M(+)N}(z) = \max_{z=x+y} (\mu_M(x) \wedge \mu_N(y)),$$

equação que, comparada com a anterior, descreve a mesma operação e, portanto, é válido escrever a soma de dois números da seguinte maneira:

$$\mu_{M_\alpha(+)N_\alpha}(z) = \max_{z=x+y} (\mu_{M_\alpha}(x) \wedge \mu_{N_\alpha}(y)), \quad \forall x, y \in X$$

No entanto, [BUCKLEY, 1985] define a soma de números trapezoidais usando somente os parâmetros que definem esse números, assim:

$$M + N = (a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2, d_1+d_2)$$

ii) Multiplicação de números difusos

Como a função de pertinência que descreve o número trapezoidal difuso apresenta dois lados, um crescente e outro decrescente, a multiplicação de números é feita em duas partes.

Inicialmente, consideram-se somente os números positivos, de forma tal que eles são sujeitos a cumprir as seguintes condições:

$$\mu_M(x) = 0, \forall x < 0$$

$$\mu_N(x) = 0, \forall x < 0$$

A multiplicação começa pelo lado esquerdo, ou seja, pelas funções crescentes, para que todo $x, y \in R$ o produto $z \geq x.y$ é dada pela seguinte expressão:

$$\mu_{M(.)N}(z) = \max_{z \geq y} (\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$$

Observando o mesmo procedimento, a segunda parte da multiplicação se refere às funções decrescentes para todo par (x, y) . Ela é dada pela seguinte equação:

$$\mu_{M(.)N}(z) = \max_{z \leq y} (\mu_M(x) \wedge \mu_N(y))$$

Considerando o nível de corte α , a multiplicação passa a ser assim definida:

$$M_\alpha(.)N_\alpha = [m_1 \ n_1, m_2 \ n_2]$$

Já Buckley³³ indica que o número assim obtido não é propriamente um número trapezoidal, porque não mantém as características dos números multiplicados³⁴. Para corrigir essa situação, esse autor define a multiplicação da seguinte maneira:

$$M \times N = [a(p_1, p_2), b, c, d(r_1, r_2)]$$

onde:

$$a = a_1 a_2, \quad b = b_1 b_2, \quad c = c_1 c_2, \quad d = d_1 d_2.$$

$$p_1 = (b_1 - a_1)(b_2 - a_2), \quad p_2 = a_2(b_1 - a_1) + (b_2 - a_2)$$

$$r_1 = (d_1 - c_1)(d_2 - c_2), \quad r_2 = -[d_2(d_1 - c_1) + d_1(d_2 - c_2)]$$

Assim, para o lado esquerdo, quando x_1 pertence ao intervalo $[a_1, b_1]$, e x_2 a $[a_1, b_1]$ para M e N respectivamente, a multiplicação adota esta forma:

$$x_i = (b_i - a_i)\alpha + a_i, \quad \forall i, \quad \text{e com } \alpha \in [0, 1]$$

Essa equação aponta que, por exemplo, o produto de $x_1 x_2 = x$ é dado pela seguinte expressão:

$$x = p_1 \alpha^2 + p_2 \alpha + a, \quad \text{com } \alpha \in [0, 1]$$

Observando o mesmo procedimento para o lado esquerdo, a multiplicação passa a ser assim calculada:

$$x = r_1 \alpha^2 + r_2 \alpha + d, \quad \text{com } \alpha \in [0, 1]$$

As demais operações com números trapezoidais difusos são uma extensão dessas duas principais, tal como descrito na Tabela 8.

³³ Op. cit., 1985.

³⁴ Equivale a dizer que o resultado não é precisamente um número trapezoidal difuso.

Operação	Resultado
Soma (M+N)	$(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2, d_1+d_2)$
Subtração (M-N)	$(a_1-d_2, b_1-c_2, c_1-b_2, d_1-a_2)$
Multiplicação (M.N) M>0, N>0 M<0, N>0 M<0, N<0	$(a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3, a_4.b_4)$ $(a_2.d_1, b_2.c_1, c_2.b_1, d_2.a_1)$ $(d_1.d_2, c_1.c_2, b_1.b_2, a_1.a_2)$
Divisão (M+N): M>0, N>0 M<0, N>0 M<0, N<0	$(\frac{a_1}{d_2}, \frac{b_1}{c_2}, \frac{c_1}{b_2}, \frac{d_1}{a_2})$ $(\frac{d_1}{d_2}, \frac{c_1}{c_2}, \frac{b_1}{b_2}, \frac{a_1}{a_2})$ $(\frac{d_1}{a_2}, \frac{c_1}{b_2}, \frac{b_1}{c_2}, \frac{a_1}{d_2})$

Tabela 8: Principais operações com números trapezoidais difusos

À luz dessas considerações, o modelo de avaliação proposto no próximo Capítulo utiliza números trapezoidais difusos para representar as variáveis linguísticas usadas no processo de modelagem do problema em questão. Nesse sentido, é muito importante destacar as potencialidades da técnica de conjuntos difusos como instrumento de equacionamento de incerteza e ambigüidade, como descrito a seguir.

6 - Conclusão

Diante do exposto, deve-se destacar que os conjuntos difusos mostram-se como ferramenta de grande valia para a manipulação da variável "incerteza". Com efeito, sabe-se que nenhuma atividade é isenta de incertezas e, por isso, elas devem ser levadas em consideração. Uma forma de concretizar

essa situação é através de operações com funções de pertinência que, devido a sua grande flexibilidade, possibilitam superar, de certa forma, a falta de precisão das variáveis consideradas.

Além do mais, a incorporação de aspectos subjetivos na definição de determinada ação ou preferência é muito mais próxima da realidade, uma vez que as funções de preferência refletem o comportamento do decisor ou, pelo menos, situam-se muito próximo delas.

Uma outra característica a ser salientada é a agregação de conjuntos com base nas funções de pertinência. Esse fato permite que seja possível trabalhar com dois conjuntos difusos de maneira a fazer comparações entre elementos do mesmo conjunto, ou entre elementos de conjuntos diferentes, ou até mesmo, entre esses conjuntos. Essa característica, como foi antes mencionado, pode ser muito bem aproveitada na formulação de um modelo de tomada de decisão e, mais especificamente, num modelo multicritério, no qual todas as variáveis a serem incluídas na análise passam a ser consideradas como pertencentes a distintos conjuntos. Esses conjuntos serão naturalmente definidos com funções de pertinência específicas.

Assim sendo, e diante das vantagens da teoria de conjuntos difusos, apresenta-se, no próximo capítulo, um modelo de avaliação multicritério que integra aspectos de três origens distintas, que são: a teoria de avaliação de projetos de investimento, os métodos de avaliação multicritério e a técnica dos conjuntos difusos.

CAPÍTULO IV
MODELO MULTICRITERIAL
DIFUSO DE AVALIAÇÃO DE
PROJETOS DE INVESTIMENTO

SUMÁRIO

1. Considerações iniciais
2. Modelo proposto
 - a) Estrutura lógica
 - b) Definição formal
3. Vantagens e limites do modelo
4. "Software" interativo
5. Conclusão

Conforme o apresentado nos Capítulos precedentes, um investimento é o comprometimento de recursos (econômicos e não-econômicos) visando a obtenção de benefícios futuros; e o projeto, o conjunto de informações sistemática e racionalmente ordenadas, que permitem explicitar essa situação.

Em geral, essas informações são apreciadas segundo métodos fundamentados numa estrutura monocriterial, ou seja, utilizam-se, principalmente, critérios econômico-financeiros como elementos exclusivos de julgamento e tomada de decisão no processo convencional de avaliação de projetos de investimento.

No entanto, como já mencionado, há necessidade de ultrapassar essa concepção monocriterial para adotar uma abordagem multicriterial no tocante à avaliação de complexos projetos de investimento. Foram levantadas várias razões que o justificam e que apontam a complexidade do projeto de investimento e a insuficiência das técnicas convencionais de avaliação quando aplicadas a este tipo específico de projeto.

Assim, o presente Capítulo é dedicado à formulação de um modelo lógico-matemático destinado a cobrir as deficiências

da abordagem monocritério na avaliação de complexos projetos de investimento. Para tal efeito, ele é dividido em quatro pontos. No primeiro, são apresentadas as principais considerações a respeito das características, ou pressupostos, do problema em questão do modelo aqui proposto. Assim, são levantados aspectos referentes à estrutura de um projeto de investimento, à relação do modelo de avaliação e do ciclo de desenvolvimento de um projeto, o tipo de avaliação representado pelo modelo e a correlação entre a avaliação e a tomada de decisão.

A partir dessas considerações, o segundo ponto é dedicado à formulação do próprio modelo. Ele é dividido em duas seções. Inicialmente, define-se a estrutura lógica do modelo e, em seguida, apresenta-se sua definição formal, ou seja, sua descrição em termos matemáticos. No terceiro ponto, são descritas as principais vantagens e limitações do modelo. Finalmente, no quarto ponto, é apresentada a forma de operacionalizar esse modelo sob a forma de "software" aplicativo.

1 - Considerações iniciais

A formulação de qualquer modelo, matemático ou não, implica necessariamente na definição de certas variáveis consideradas iniciais (ou de inicialização). Elas são geralmente levantadas sob determinadas situações que refletem características do mundo real ou pressupostos a serem posteriormente considerados no modelo. Sob essa ótica, é importante definir e salientar os seguintes aspectos básicos considerados pontos de partida do modelo aqui proposto.

O primeiro aspecto a ser destacado diz respeito à concepção de um projeto como documento aglutinador de informação sistematicamente coletada, processada e suficiente para a tomada de decisão de implementação de um empreendimento, ou seja, deverá conter, pelo menos,

informação mínima que permita apreciar sua viabilidade sob várias dimensões (tal como será mostrado mais adiante).

Assim sendo, o presente trabalho baseia-se na estrutura de elaboração e apresentação de projetos sugerida por vários organismos, tais como UNIDO, BID, CEPAL, ILPES, IPEA¹, entre outros, que consideram como elementos importantes de um projeto os seguintes aspectos:

- a análise de mercado, que considera variáveis tais como o preço de venda, os canais de distribuição, as taxas de desconto, a demanda do produto ou produtos entre outras., ou seja, a questão mercadológica do empreendimento;

- a localização, estudo que visa identificar o melhor local para assentar o empreendimento, levando-se em consideração aspectos tais como o próprio mercado, a escala de produção pretendida, os aspectos técnicos e de engenharia;

- os aspectos técnicos, referentes, notadamente, à seleção dos processos de produção, dos equipamentos ou da tecnologia a ser utilizada, o arranjo físico necessário;

- os aspectos financeiros referentes à composição do capital próprio ou de terceiros, à restituição o/ou remuneração de capital, às fontes de empréstimo, ao cronograma de desenvolvimento, ao capital de giro, ao grau de endividamento, aos índices de liquidez, à rentabilidade;

- os aspectos econômicos, que dizem respeito à rentabilidade social, à geração de emprego, ao nível de vida, ao bem-estar social entre outros, ou seja, a importância econômica do ponto de vista social do projeto.

Não obstante ser essa estrutura, de certa maneira, direcionada a um projeto de investimento de tipo industrial, ela servirá como parâmetro de referência para outros tipos de investimento, na medida em que contém informação processada e

¹ Conforme o apresentado no Capítulo I do presente trabalho.

classificada em itens bastantes específicos. Amparada por essa situação, a concepção de projetos de investimento aqui considerada tem forma bastante ampla, adotando-se essa estrutura básica para referenciar, de modo geral, um projeto de investimento.

Mas, deve ficar claramente assinalado que essa generalização não impede, de maneira alguma, considerar qualquer outro tipo de projeto de investimento. Com efeito, tal como será mostrado mais adiante, o modelo multicritério aqui proposto tem como preocupação fundamental definir e estabelecer os diversos mecanismos e formas de agregar as preferências dos decisores no processo de julgamento, permitindo certa flexibilidade como, por exemplo, na escolha dos critérios em função do problema em questão. Trata-se, portanto, de uma ferramenta capaz de ser utilizada na avaliação de projetos de investimento em geral, prévia formulação dos critérios considerados pertinentes do problema em questão.

Além dessa flexibilidade, um segundo aspecto que deve ser destacado é a relação do modelo de avaliação aqui proposto com o ciclo de desenvolvimento do projeto. Com efeito, sabe-se que um projeto tem basicamente três fases fundamentais, que são a de pré-investimento, a de investimento e a fase operacional, tal como se mostra na Figura 3 (Cap.I). A primeira fase é dividida em quatro estágios, que vão desde a identificação de oportunidades até a avaliação e decisão do pré-projeto, anteprojeto ou estudo de pré-viabilidade. É neste último estágio que se localiza o presente modelo, ou seja, ele visa fundamentalmente avaliar um pré-projeto na etapa de pré-investimento.

No entanto, nada impede a aplicação do presente modelo ao estágio superior caracterizado pela avaliação de um projeto final². Com efeito, a única diferença entre ambos os estágios é basicamente o maior grau de complexidade da

² Vale dizer um projeto e não um pré-projeto.

análise, e isto por dois motivos principais. Primeiro, porque o número de variáveis a ser estudadas é significativamente maior, como conseqüência dos resultados de todos os estudos realizados para formular, especificar e justificar o projeto³. Segundo, porque há possibilidade de aparecerem variáveis exógenas, geralmente resultantes de processos de negociação levados a cabo nas etapas anteriores⁴ de elaboração do projeto. Conseqüentemente, ambas as situações exigem muito mais do modelo proposto, mas são por ele perfeitamente contornáveis, tal como se mostra mais adiante.

Um terceiro aspecto diz respeito ao tipo de avaliação que representa o presente modelo. Em termos conceituais, como foi anteriormente apresentado, a palavra avaliação tem três conotações diferentes, que são: como medida, como congruência e como julgamento. O presente modelo encaixa-se sob esta última concepção. Assim, julga-se alguma coisa ou situação, que no caso em questão, é a pertinência (viabilidade de implementação) ou não de um projeto de investimento.

Um quarto aspecto fortemente ligado ao anterior se refere à correlação entre a avaliação e a tomada de decisão. Sabe-se que, do ponto de vista conceitual, tratam-se de duas dimensões distintas. No entanto, no presente modelo estabelece-se uma relação direta entre ambos. Com efeito, são vários os julgamentos considerados no processo de agregação (seguindo a ótica de avaliação como julgamento), de forma tal que seu resultado passa a ser considerado matéria-prima para uma posterior tomada de decisão. Equivale a dizer que o presente modelo permite, em última instância, julgar um projeto sob várias dimensões e, assim, fornecer elementos de juízo para a tomada de decisão no tocante a sua implementação. Cabe agora apresentar a estrutura do modelo de avaliação proposto.

³ Um projeto completo geralmente é formado por vários volumes contendo estudos detalhados.

⁴ Tal é o caso, por exemplo, dos projetos sociais, nos quais há pressões políticas decorrentes de negociações entre as partes envolvidas.

2 - Modelo proposto

Sabe-se que, desde a concepção de uma idéia até a operação e exploração de um empreendimento, são várias as fases a ser percorridas. Uma delas, e talvez a mais importante, é a de avaliação e tomada de decisão. Com efeito, julgar a pertinência de um projeto e decidir implementá-lo envolve certa dificuldade. Assim, pensando em termos monocriteriais e supondo-se, por exemplo, a avaliação como a simples verificação da rentabilidade de um empreendimento, são perfeitamente identificáveis três blocos principais no desenvolvimento de um projeto, como os mostra a Figura 15.

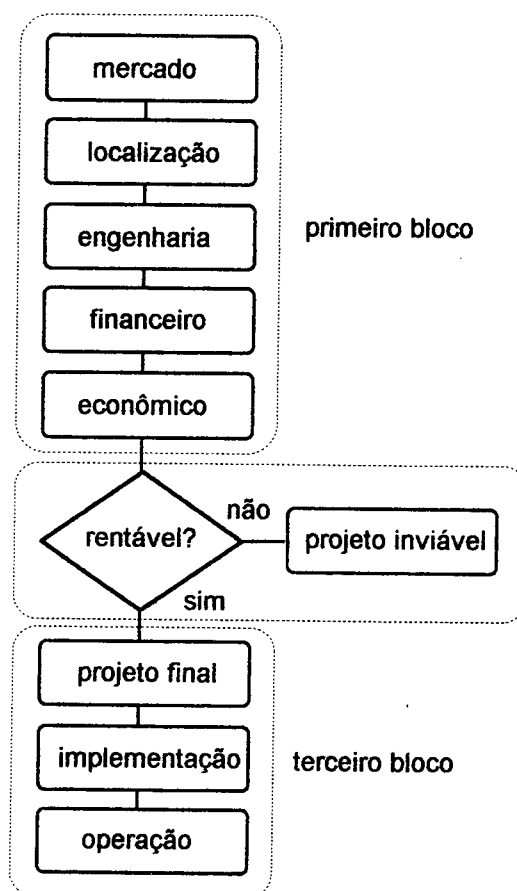


Figura 15: Desenvolvimento de um projeto⁵

⁵ Não são consideradas as fases de acompanhamento nem os canais de retroalimentação do projeto uma vez que elas escapam aos objetivos do presente trabalho.

O primeiro bloco constitui o projeto como documento, ou seja, um conjunto de informações; o segundo, a avaliação apresenta duas saídas em função do julgamento efetuado, ou seja, se for verificada a rentabilidade oferecida pelo projeto ele é aceito e passa para o terceiro bloco, que é o de implementação; caso contrário, se o projeto não é rentável ou não atinge os níveis mínimos estabelecidos, então é rejeitado e, conseqüentemente, considerado inviável.

Usando-se essa mesma estrutura, e seguindo uma ótica multicritério, a presente proposta envolve cinco blocos, como o mostra a Figura 16. Observe-se que o primeiro bloco é constituído pelo projeto como documento, isto é, um conjunto de informações ordenadas e processadas que definem, especificam e justificam o projeto.

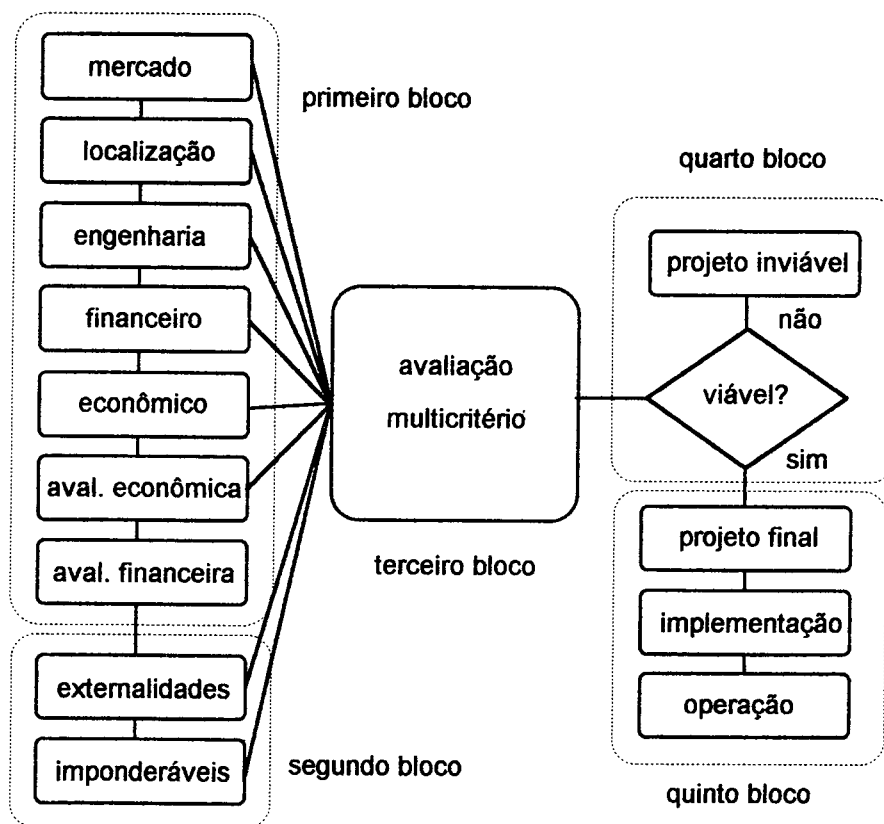


Figura 16: Estrutura proposta⁶

⁶ Não são aqui consideradas as fases de acompanhamento nem os canais de retroalimentação uma vez que elas escapam aos objetivos do trabalho.

Além dessas informações, são incluídas também no segundo bloco informações não descritas no projeto, mas de marcada importância no processo de avaliação, tais como taxas, parâmetros ou indicadores específicos (por exemplo, regionais, nacionais, setoriais), externalidades e fatores imponderáveis, entre outros.

O terceiro bloco constitui a avaliação do projeto propriamente dito, que utiliza a informação dos primeiros blocos para apreciar o projeto, ou seja, para pronunciar uma sentença. Com base nesse resultado, no quarto bloco, é tomada a decisão de implementação, ou não, do projeto. Assim, se ele é viável sob as várias dimensões estudadas e seu grau de viabilidade se mostrar pertinente, então passa à fase de implementação mostrada no quinto bloco. Caso contrário, ele é considerado inviável e, portanto, rejeitado.

O modelo de avaliação aqui apresentado se situa exatamente no terceiro bloco. Com efeito, em função da informação contida no projeto e dos julgamentos de um conjunto de especialistas, aqui denominados genericamente de decisores, passa-se por um processo de agregação de todos esses elementos para obter, na saída do bloco, um resultado caracterizado por dois aspectos: a viabilidade ou inviabilidade do projeto, e uma medida para indicar o quanto é viável, ou não, o projeto⁷.

Para tanto, faz-se necessário definir especificamente o procedimento que norteia esse processo de agregação, ou seja, sua estrutura lógica.

a) Estrutura lógica

Conforme mencionado anteriormente, a situação inicial é caracterizada por um projeto a ser avaliado e por um grupo de avaliadores (considerados aqui como decisores), que emitirão

⁷ Como o escopo desse modelo é restrito ao terceiro bloco, canais de retroalimentação entre os blocos não são considerados. Assim, situações como, por exemplo, de um projeto considerado viável mas não implementado escapam ao objetivo do modelo aqui proposto.

seus julgamentos sobre o projeto em questão. É importante ressaltar que se observa essa situação nos diferentes níveis de tomada de decisão das organizações. Assim, suponha-se, por exemplo, que um projeto de investimento social é apresentado a uma instituição governamental de financiamento. Sem levar em consideração seus procedimentos administrativos, esse documento (projeto) será objeto de estudo por uma equipe de analistas, que darão uma sentença no tocante à viabilidade⁸ do projeto. Esses julgamentos serão posteriormente agregados para obter junto dos níveis de maior hierarquia da organização um conceito final valorativo do projeto, que reflete, em última instância, o parecer final da instituição.

Interessa extrair desse cenário, fundamentalmente, quatro aspectos sob os quais é construído o modelo, que são os seguintes:

- Um projeto a ser avaliado, considerando-o como um conjunto de informações sistematicamente classificadas e processadas⁹;
- um conjunto de decisores (analistas) que emitirão seus julgamentos sobre o projeto;
- um conjunto de critérios com os quais os decisores analisam o projeto;
- a incerteza da informação e as preferências dos decisores.

Assim sendo, o modelo de avaliação segue a estrutura lógica mostrada no fluxograma da Figura 17.

⁸ Viabilidade sob várias dimensões, isto é, técnica, social e econômica, entre outras.

⁹ Geralmente são apresentados vários volumes de textos que, na maioria das vezes, formam simplesmente um amontoado de informações.

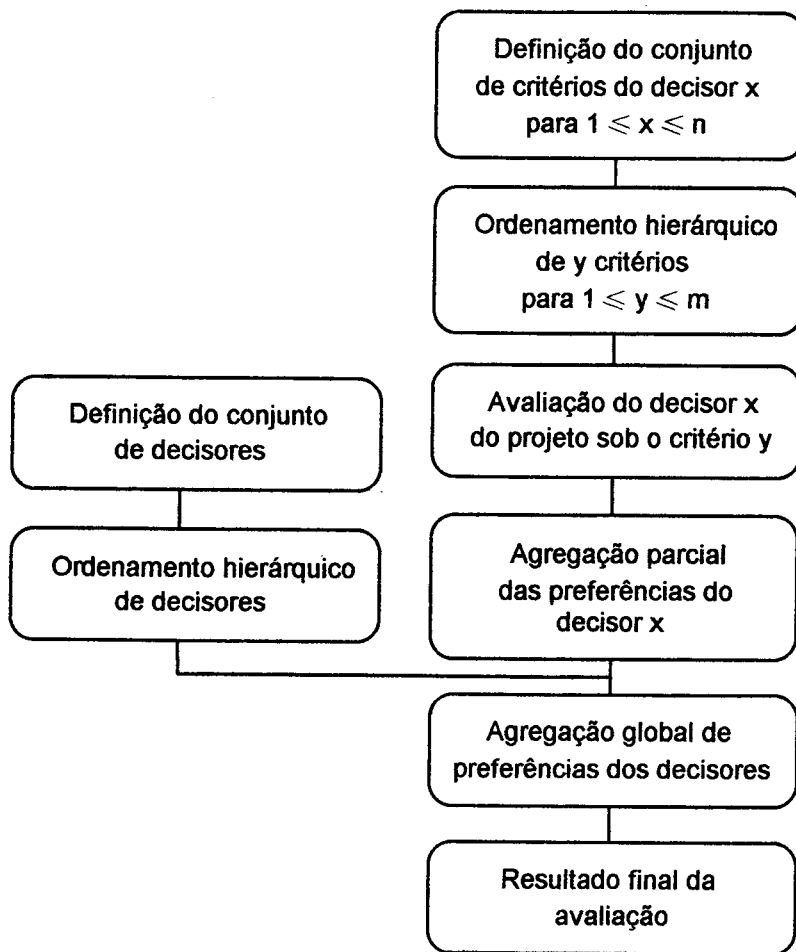


Figura 17: Estrutura lógica do modelo

Observe-se que o modelo começa com a definição de um conjunto de critérios (qualitativos e quantitativos) com função de pertinência e com os quais o decisor observará o projeto. Esse conjunto será definido por cada decisor tendo duas fontes: o próprio projeto e sua experiência e conhecimento profissional, ou seja, o seu "know how" (ver Figura 18).

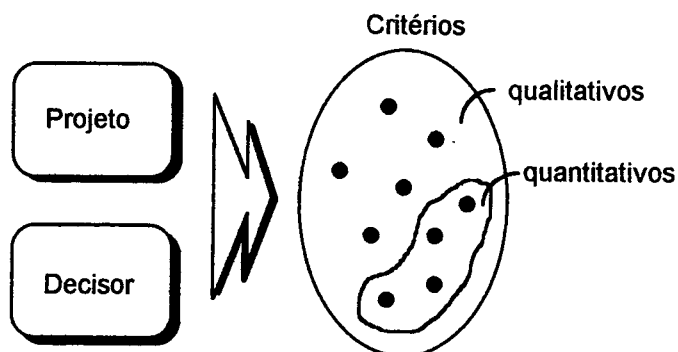


Figura 18: Conjunto de critérios definidos pelo decisor

Em seguida, estabelece-se a classificação hierárquica dos elementos do conjunto de critérios de acordo com as preferências do decisor e da função de pertinência. Isso por entender que nem todos os critérios têm o mesmo peso, ou seja, há, naturalmente, maior preferência por um critério específico comparado com um outro, e assim por diante. Portanto, dentro do conjunto de critérios haverá critérios que pesam mais na avaliação e outros, menos [GOMES, 1991; SCHOEMAKER, 1982; SOLYMOSI, 1986].

O mesmo procedimento acima descrito é adotado com os decisores envolvidos no processo de avaliação. Assim, define-se um conjunto de decisores que emitirão julgamentos acerca da viabilidade do projeto analisado. Por entender que nem todos eles têm o mesmo peso¹⁰, estabelece-se, em seguida, um ordenamento hierárquico de decisores sob responsabilidade, por exemplo, do coordenador da equipe de avaliação [KACPRZYK, 1985].

¹⁰ No estrito sentido de importância de seus julgamentos (opiniões).

Essa hierarquização visa, fundamentalmente, privilegiar determinados julgamentos. Com efeito, uma opinião sobre indicadores financeiros de um especialista da área tem, obviamente, maior peso que a apreciação de outro especialista de uma outra área. Para evidenciar esse tipo de situação, usa-se uma estrutura de ordenamento hierárquico dos decisores envolvidos na avaliação [SAATY, 1986b].

A etapa seguinte é o julgamento do projeto pelos decisores. Com efeito, cada decisor avalia o projeto em função de cada critério por ele estabelecido emitindo seus julgamentos. Considerando-se, por exemplo, a geração de emprego como um dos critérios de avaliação apontados pelo decisor, por exemplo, ele qualifica o projeto indicando o grau de seu comprometimento em função desse critério, como mostra a Figura 19.

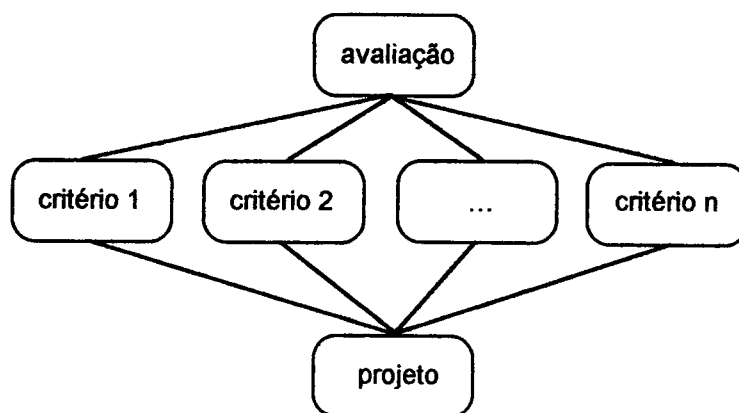


Figura 19: Estrutura de comparação de critérios

Assim, se o decisor considera que o projeto contribui fortemente para a geração de emprego, então pode qualificá-lo (de acordo com suas preferências) como sendo um projeto *bom*, *muito bom*, *relativamente bom* ou *regular*. Da mesma maneira, se ele considera que o nível de geração de emprego é baixo, então pode qualificá-lo do ponto de vista da geração de emprego como sendo *regular*, *fraco* ou *muito fraco*.

Observa-se esse procedimento com todos os critérios estabelecidos pelo decisor para, em seguida, efetuar a agregação parcial de todos esses julgamentos [BROWN, 1975].

Essa agregação parcial tem como objetivo obter uma posição final do decisor a respeito do projeto. Com efeito, se ele estabeleceu, por exemplo, cinco critérios de avaliação, ele emitirá cinco julgamentos acerca do projeto. Esses julgamentos são agregados tendo como referência o peso dos critérios também estabelecidos pelo decisor, de forma tal que seu julgamento final represente a agregação de seus julgamentos parciais [BADRAN, 1988, ORLOVSKY, 1978].

Assim, no atual estágio da avaliação, foram obtidos julgamentos parciais em número igual ao de decisores. Esses julgamentos passam a ser novamente agregados na etapa seguinte. Para tal efeito, utiliza-se o ordenamento hierárquico dos decisores para calcular uma agregação global final das preferências dos decisores.

Como resultado desse processo de agregação global, obtém-se a avaliação final do projeto na forma de um conceito que o qualifica apontando, conseqüentemente, sua viabilidade, ou não, sob várias dimensões [BUCKLEY, 1984].

Esse procedimento de avaliação é feito com o modelo multicritério difuso proposto.

b) Definição formal

A definição formal do modelo implica cumprir os seguintes passos:

i) Definição de conjuntos

Definem-se, inicialmente, os seguintes conjuntos difusos:

- Conjunto de 'n' critérios¹¹ qualitativos e quantitativos denotado por CRIT e dado pelos seguintes pares ordenados:

$$\text{CRIT} = \{(x_i, \mu_{\text{crit}}(x_i)), \forall i=1,2,\dots,n\}$$

onde x_i representa o critério i , e $\mu_{\text{crit}}(x_i) \in [0,1]$, a função de pertinência do critério x_i no conjunto CRIT.

Assim, considerando-se, por exemplo, um conjunto de três critérios e três graus de pertinência, o conjunto de pares ordenados adota esta forma:

$$\text{CRIT} = \{ \text{critério } 1/0.6, \text{ critério } 2/0.3, \text{ critério } 3/0.8 \}$$

Equivale a dizer que o grau de pertinência do primeiro critério é de 0.6, do segundo, 0.3, e do terceiro, 0.8.

- Um conjunto de 'm' decisores¹² denotado por DECI é dado pela seguinte expressão:

$$\text{DECI} = \{(y_i, \mu_{\text{deci}}(y_i)), \forall i=1,2,\dots,m\}$$

onde y_i representa o decisor i , e $\mu_{\text{deci}}(y_i) \in [0,1]$, o grau de pertinência do decisor i no conjunto DECI.

- Um conjunto unitário de decisão denotado por PROJ e definido assim:

$$\text{PROJ} = \{(x, \mu_{\text{proj}}(x))\}$$

onde "x" representa o projeto analisado e $\mu_{\text{proj}}(x)$ seu grau de pertinência nesse conjunto, de tal forma que, se $\mu_{\text{proj}}(x)=1$, a situação é absolutamente favorável para o projeto, ou seja, ele é considerado absolutamente pertinente e conseqüentemente aprovado. Mas, se $\mu_{\text{proj}}(x)=0$, a situação é absolutamente desfavorável e o projeto é considerado

¹¹ Seguindo uma concepção de um conjunto que contenha o melhor critério.

¹² Na concepção de um conjunto que contenha o melhor decisor.

absolutamente inconveniente e descabido. Já uma função no intervalo $[0,1]$ determinará seu grau de viabilidade, conforme procedimento descrito mais adiante.

Em seguida, calculam-se as funções de pertinência dos conjuntos acima definidos conforme o procedimento descrito à continuação.

ii) Definição das funções de pertinência.

Para a construção das funções de pertinência dos conjuntos de decisores e de critérios, utiliza-se a abordagem de decomposição hierárquica seguindo o Método de Análise Hierárquico AHP¹³ proposto por Saaty¹⁴. Esse autor indica que há duas formas de apreciar as funções de pertinência [SAATY, 1986a]. A primeira é utilizar algum tipo de escala em função da definição do conjunto difuso em questão, envolvendo para esse efeito algum tipo de medida ou correlação de magnitudes. A segunda, quando nenhuma escala é conhecida e é praticamente impossível construí-la.

Neste último caso, a única saída é utilizar basicamente julgamentos de especialistas (de cada área envolvida) resultantes de processos de comparações binárias entre os elementos do conjunto difuso em questão. À luz dessas observações, o cálculo das funções de pertinência dos critérios e dos decisores tomará dois rumos distintos.

* O primeiro deles, caracterizado pela presença de alguma escala ou correlação decorrente de algum tipo de medida, que permita apreciar seus graus de pertinência.

Nessa situação, os graus de pertinência serão resultado de mapeamentos de uma função genérica "g" no espaço M, ou seja, $g: X \rightarrow M$. Assim, considere-se, por exemplo, a TIR como sendo um critério apontado pelo decisor tendo quatro valores de referência por ele observados. Suponha-se que o mapeamento

¹³ Método descrito no segundo Capítulo do presente trabalho.

¹⁴ Op. cit., 1981.

no intervalo $[0,1]$ da função g é dada pelo decisor adotando comportamento linear, tal como mostra a Figura 20.

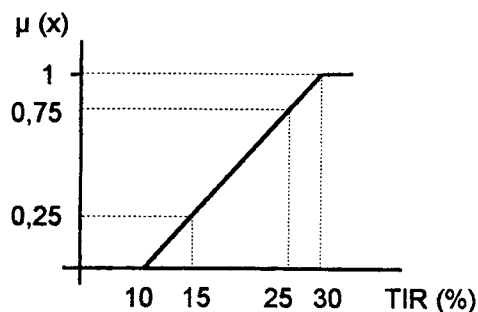


Figura 20: Função de pertinência da TIR

Observe-se que a função de pertinência aqui considerada é linear, com o objetivo de simplificar seu cálculo. No entanto, o tipo de curva é função direta da preferência do decisor, e nada impede que ela adote outra forma distinta da linear [FISHBURN, 1985].

Assim, a função de pertinência para esse critério é dada pela seguinte expressão:

$$\mu_{\text{CRIT}}(\text{TIR}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \text{TIR} \leq 10\% \\ \frac{\text{TIR}}{20} - \frac{1}{2} & \text{se } 10 \leq \text{TIR} \leq 30\% \\ 1 & \text{se } \text{TIR} \geq 30\% \end{cases}$$

No presente modelo, os valores obtidos dessa função de pertinência são ainda mapeados num intervalo de $[0,1]$ que representa as funções de pertinência de julgamentos feitos em linguagem natural, ou seja, usando variáveis e quantificadores lingüísticos.

Com efeito, dado determinado critério, o decisor não precisa indicar nem calcular ou atribuir valores para os critérios, senão apenas emitir julgamentos em linguagem natural, que serão quantificados posteriormente.

Assim, por exemplo, se o decisor considera que a taxa mínima de atratividade é muito inferior à taxa de retorno oferecida pelo projeto, a função de pertinência que reflete

essa situação estará dada por um termo lingüístico, como sendo por exemplo, "muito baixo" [BURLE, 1988]. O procedimento adotado é mostrado na Figura 21.

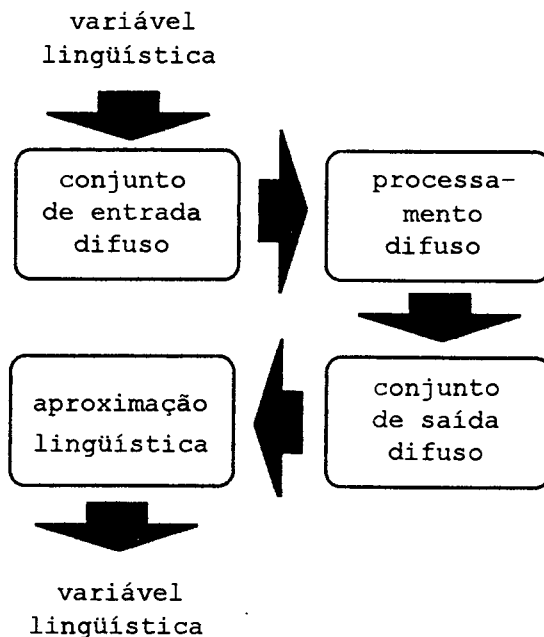


Figura 21: Estrutura do modelo lingüístico

Essa figura mostra que as expressões lingüísticas são inicialmente associadas a um conjunto difuso de entrada que se encarrega de transformar a variável lingüística numa adequada representação matemática. Em seguida, todas as variáveis de entrada são processadas conforme regras estabelecidas e seguindo um procedimento difuso. Como resultado dessa situação, obtém-se um conjunto de saída difuso que contém resultados. Como esses resultados estão na forma de complexas expressões matemáticas difusas, a última parte dessa estrutura tem como tarefa converter essas expressões em variáveis lingüísticas, ou seja, proceder-se-á sua aproximação lingüística.

Para a definição dos parâmetros desses quantificadores, optou-se por adaptar a escala de comparação de Saaty¹⁵, composta por um conjunto finito de 9 elementos. Assim,

¹⁵ Op. cit., 1981.

conforme resultados obtidos em pesquisas descritas na literatura, que mostram várias formas de aproximação dos termos linguísticos com seus correspondentes números difusos. A Figura 22 mostra alguns deles [BONISSONE, 1982; EFSTATHION, 1982].

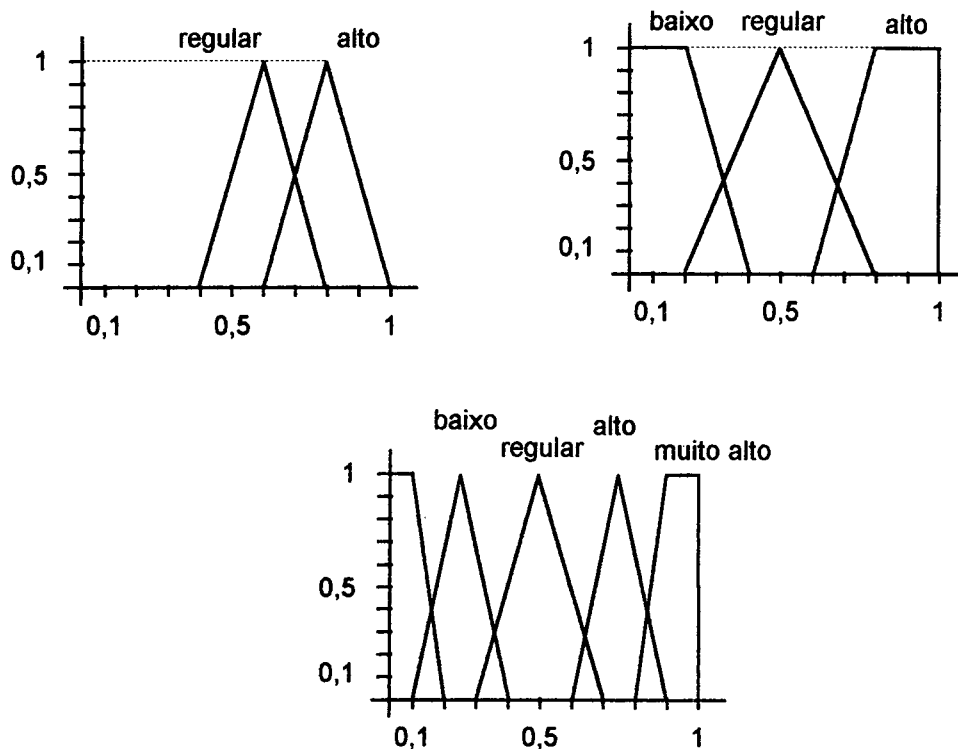


Figura 22: Exemplos de termos linguísticos

Assim sendo, o presente modelo considera uma escala de 13 termos linguísticos sob forma de números trapezoidais difusos mostrados na Figura 23. As funções de pertinência desses termos são assim definidos:

- Absolutamente importante:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.8 \\ 10x - 8 & 0.8 \leq x \leq 0.9 \\ 1 & 0.9 \leq x \leq 1.0 \\ 0 & x \geq 1.0 \end{cases}$$

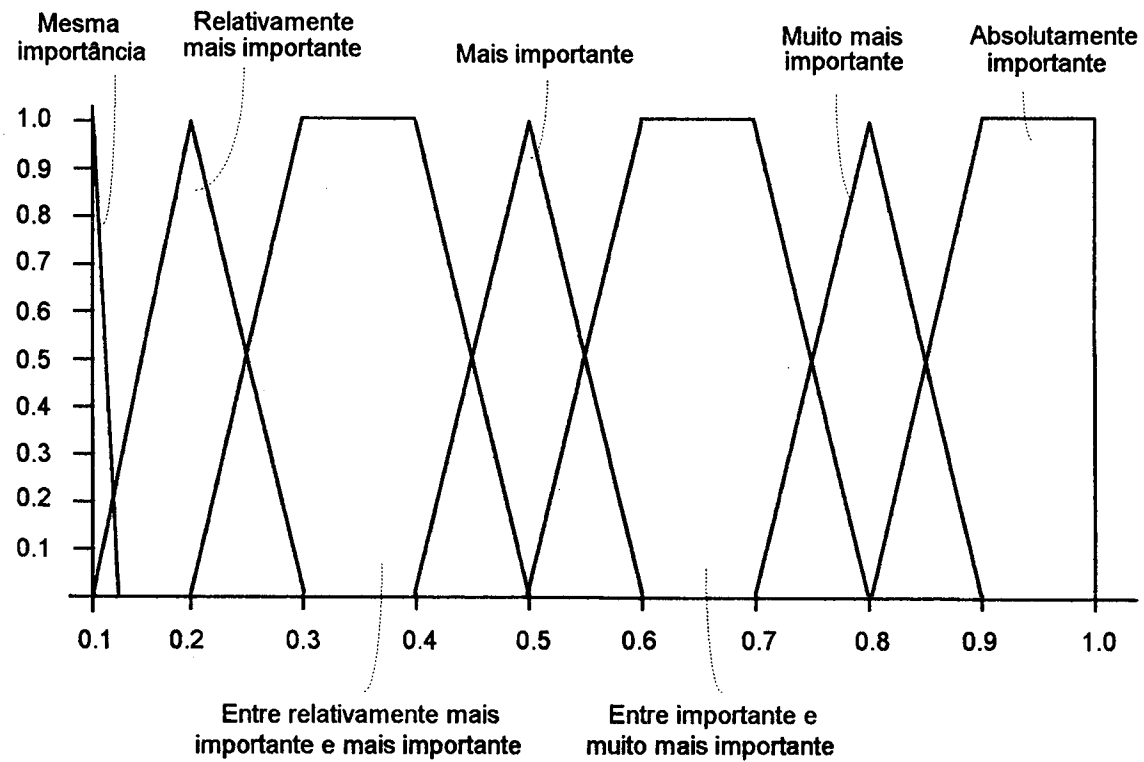


Figura 23: Termos lingüísticos para modelagem de preferências

- Muito mais importante:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.7 \\ 10x - 7 & 0.7 \leq x \leq 0.8 \\ 9 - 10x & 0.8 \leq x \leq 0.9 \\ 0 & x \geq 0.9 \end{cases}$$

- Entre mais importante e muito mais importante:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5 \\ 10x - 5 & 0.5 \leq x \leq 0.6 \\ 1 & 0.6 \leq x \leq 0.7 \\ 8 - 10x & 0.7 \leq x \leq 0.8 \\ 0 & x \geq 0.8 \end{cases}$$

- Mais importante:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.4 \\ 10x - 4 & 0.4 \leq x \leq 0.5 \\ 6 - 10x & 0.5 \leq x \leq 0.6 \\ 0 & x \geq 0.6 \end{cases}$$

- Entre mais importante e muito mais importante:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.2 \\ 10x - 2 & 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ 1 & 0.3 \leq x \leq 0.4 \\ 5 - 10x & 0.4 \leq x \leq 0.5 \\ 0 & x \geq 0.5 \end{cases}$$

- Relativamente mais importante:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.1 \\ 10x - 1 & 0.1 \leq x \leq 0.2 \\ 3 - 10x & 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ 0 & x \geq 0.3 \end{cases}$$

- Mesma importância:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.1 \\ 5 - 40x & 0.1 \leq x \leq 0.125 \\ 0 & x \geq 0.125 \end{cases}$$

Com essas funções de pertinência sob números trapezoidais difusos são preenchidas as matrizes recíprocas de comparação binária.

Segue-se esse mesmo procedimento para calcular as funções de pertinência na modelagem de preferências dos decisores quando da apreciação dos atributos do projeto. Mas, como não se tratam de matrizes de comparação dos atributos do projetos, modificam-se esses termos lingüísticos, bem como os parâmetros de seus números trapezoidais difusos, como se mostra na Figura 24. Assim, considera-se a seguinte escala composta de 11 termos lingüísticos:

- Absolutamente ruim (x);
- muito ruim (x);
- ruim (x) para muito ruim (x);
- ruim (x);
- relativamente ruim (x);
- regular (x,y);
- relativamente bom (y);
- bom (y);
- bom (y) para muito bom (y);
- muito bom (y);
- absolutamente bom (y).

onde x e y representam os adjetivos *ruim* e *bom* respectivamente, e que são adequados no problema em questão¹⁶.

¹⁶ Observe-se que x e y podem ser substituídos por outros adjetivos definidos em função dos elementos que são comparados. Assim, por exemplo, alguns deles podem ser os seguintes: "fraco", "forte", "importante", "maior", "menor", entre outros.

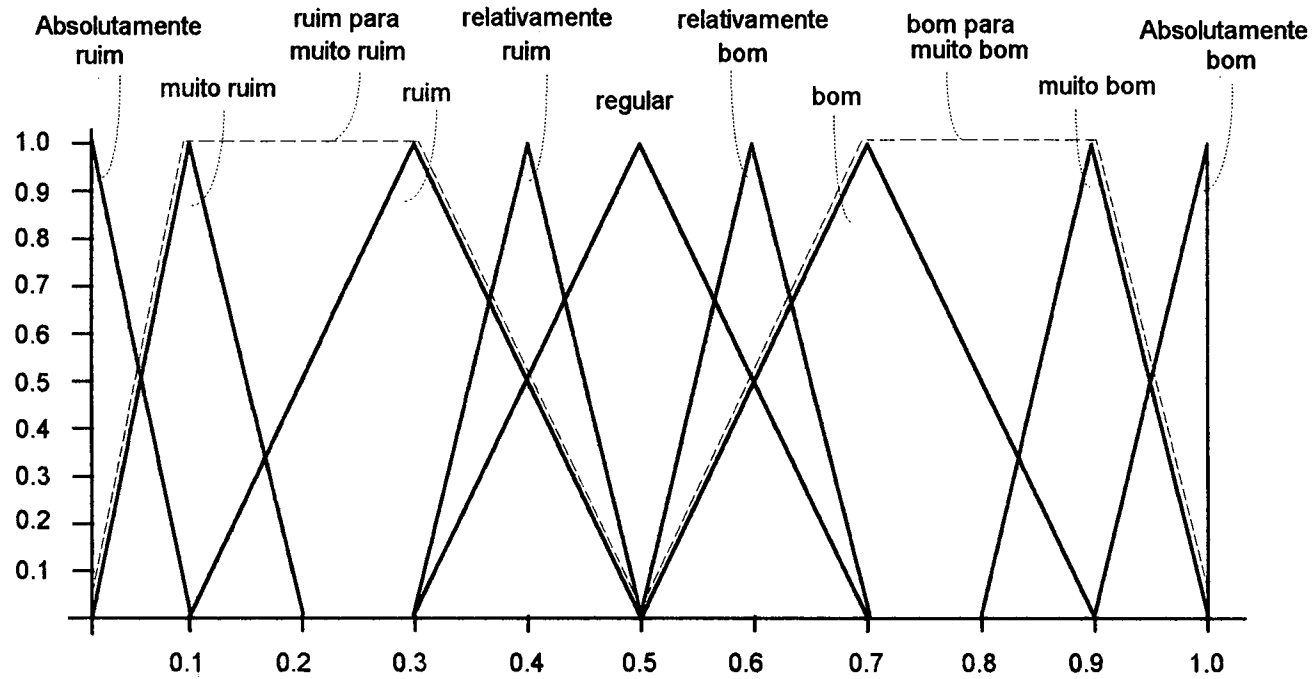


Figura 24: Termos lingüísticos utilizados no modelo

As funções de pertinência desses termos passam a ser assim definidas¹⁷:

- Absolutamente ruim:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 1 - 10x & 0 \leq x \leq 0.1 \\ 0 & x \geq 0.1 \end{cases}$$

- Muito ruim:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 10x & 0 \leq x \leq 0.1 \\ 2 - 10x & 0.1 \leq x \leq 0.2 \\ 0 & x \geq 0.2 \end{cases}$$

- Ruim para muito ruim:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 10x & 0 \leq x \leq 0.1 \\ 1 & 0.1 \leq x \leq 0.3 \\ \frac{5}{2} - 5x & 0.3 \leq x \leq 0.5 \\ 0 & x \geq 0.5 \end{cases}$$

- Ruim:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.1 \\ \frac{10x - 1}{2} & 0.1 \leq x \leq 0.3 \\ \frac{5 - 10x}{2} & 0.3 \leq x \leq 0.5 \\ 0 & x \geq 0.5 \end{cases}$$

¹⁷ Considerando-se x e y como ruim e bom, respectivamente.

- Relativamente ruim:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.3 \\ 10x - 3 & 0.3 \leq x \leq 0.4 \\ 5 - 10x & 0.4 \leq x \leq 0.5 \\ 0 & x \geq 0.5 \end{cases}$$

- Regular:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.3 \\ \frac{10x - 3}{2} & 0.3 \leq x \leq 0.5 \\ \frac{7 - 10x}{2} & 0.5 \leq x \leq 0.7 \\ 0 & x \geq 0.7 \end{cases}$$

- Relativamente bom:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5 \\ 10x - 5 & 0.5 \leq x \leq 0.6 \\ 7 - 10x & 0.6 \leq x \leq 0.7 \\ 0 & x \geq 0.7 \end{cases}$$

- Bom:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5 \\ \frac{10x - 5}{2} & 0.5 \leq x \leq 0.7 \\ \frac{9 - 10x}{2} & 0.7 \leq x \leq 0.9 \\ 0 & x \geq 0.9 \end{cases}$$

- Bom para muito bom:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5 \\ \frac{10x - 5}{2} & 0.5 \leq x \leq 0.7 \\ 1 & 0.7 \leq x \leq 0.9 \\ 10 - 10x & 0.9 \leq x \leq 1.0 \\ 0 & x \geq 1.0 \end{cases}$$

- Muito bom:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.8 \\ 10x - 8 & 0.8 \leq x \leq 0.9 \\ 10 - 10x & 0.9 \leq x \leq 1.0 \\ 0 & x \geq 1.0 \end{cases}$$

- Absolutamente bom:

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.9 \\ 10x - 9 & 0.9 \leq x \leq 1.0 \\ 0 & x \geq 1.0 \end{cases}$$

O valor fornecido por essas funções de pertinência é o número trapezoidal difuso utilizado nas matrizes de julgamentos, conforme é apresentado mais adiante.

* A segunda forma de obter as funções de pertinência é através da estruturação hierárquica dos julgamentos dos decisores como resultado da comparação binária dos elementos de cada conjunto, utilizando os termos lingüísticos anteriormente definidos, devido à impossibilidade de estabelecer correlações diretas entre valores de determinado atributo, como anteriormente descrito. Nesse caso, utiliza-se o método AHP para calcular as funções de pertinência.

Para tal efeito, apresenta-se a seguir o fundamento teórico básico que norteia a comparação binária dos elementos dos conjuntos envolvidos, de forma tal a aproveitar o autovalor principal da matriz de julgamentos como principal apontador dos graus de pertinência dos elementos em seus respectivos conjuntos.

No modelo AHP, Saaty¹⁸ propõe o uso de uma matriz recíproca composta por números racionais, escolhidos de um conjunto finito "CRISP", formado pelos seguintes elementos $\{1/9, 1/8, 1/7, \dots, 1, 2, 3, \dots, 8, 9\}$. Cada elemento da

¹⁸ Op. cit., 1990.

matriz representa um julgamento binário entre a primeira linha e a primeira coluna, cumprindo as duas condições seguintes: se o julgamento de i versus j é dado por a_{ij} , então seu julgamento inverso, isto é, a_{ji} , é dado por $a_{ji} = 1/a_{ij}$; e o julgamento de si próprio igual à unidade, ou seja, $a_{ii} = 1$.

A principal justificativa do uso dessas comparações binárias se sustenta no fato de que, em geral, as pessoas têm dificuldade em avaliar em sua integridade muitos elementos ao mesmo tempo, sendo mais fácil e confiável a avaliação de, no máximo, dois elementos de forma simultânea [BEN-ARIEH, 1992].

Assim, se a comparação binária tem como base, por exemplo, uma medida exata w_i , os elementos da matriz recíproca seriam assim calculados:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}, \quad \forall i, j$$

e portanto:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$$

Multiplicando a primeira expressão pelos valores w_i/w_j , obtém-se a unidade como resultado, ou seja:

$$a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = \frac{w_i}{w_j} \frac{w_j}{w_i} = 1 \quad \forall i, j$$

que pode ser escrito da seguinte maneira:

$$a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = 1$$

Como são "n" os elementos da matriz, essa expressão pode ser assim escrita:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = n \quad \forall i$$

ou mais simplesmente assim:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = n w_i \quad \forall i$$

Observe-se que essa expressão nada mais é que a representação matricial da seguinte equação:

$$Aw = nw$$

ou mais genericamente escrita assim:

$$Ax = \lambda x$$

onde λ é o autovalor da matriz A (é importante ressaltar que "x" pode ser obtido resolvendo esse sistema de equações). Comparando essas duas últimas expressões, todos os autovalores λ_i são zero, exceto um deles, que é igual a n. Se $a_{ij} = 1, \forall i$, o somatório de todos esses autovalores de A é igual a n, ou seja:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$$

No entanto, os elementos a_{ij} da matriz A representam julgamentos subjetivos do decisor, e portanto, espera-se que existam pequenas mudanças de proporcionalidade em a_{ij} que, por sua vez, provocará também mudanças nos autovalores λ . Isso leva a pensar que quanto mais perto de λ seja n, mais consistente é a matriz, tal como mostra a seguinte expressão:

$$Aw = \lambda_{\max} w$$

onde λ_{\max} representa o maior autovalor de A [HARKER, 1987].

Em função dessa equação, quanto mais distante λ_{\max} for de "n", isto é, $\lambda_{\max} \cong n$, mais inconsistente serão os julgamentos do decisor. Isso levou a Saaty¹⁹ definir um

¹⁹ Op. cit., 1990

índice de consistência que indica o grau de proximidade de λ_{\max} de n , dado pela seguinte equação²⁰:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

No entanto, esse problema do autovetor (base desse método) precisa ser adaptado para aceitar números difusos em lugar de expressões "CRISP" [SAATY, 1978].

Para tal efeito, o presente modelo considera a definição de um autovalor difuso $\tilde{\lambda}$ que representa a solução da seguinte equação²¹:

$$\tilde{A} \tilde{x} = \tilde{\lambda} \tilde{x}$$

onde \tilde{A} é a matriz recíproca de dimensões " $n \times n$ ", contendo números difusos; \tilde{x} , um vetor de dimensão " n ", também de números difusos [BUCKLEY, 1990].

Utilizando-se operadores de soma e multiplicação algébrica como definidos no Capítulo anterior, essa expressão passa a ser assim escrita:

$$(\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{x}_1) \oplus (\tilde{a}_{i2} \otimes \tilde{x}_2) \oplus \dots \oplus (\tilde{a}_{in} \otimes \tilde{x}_n) = \tilde{\lambda} \otimes \tilde{x}_i, \quad \forall i \leq n$$

onde \tilde{a}_{ij} é elemento da matriz de comparação difusa A ; \tilde{x}_i o vetor difuso, e " \otimes ", " \oplus " os operadores algébricos.

A solução dessa equação permite identificar o vetor prioridade e o valor de $\tilde{\lambda}$. Para tal efeito, retoma-se aqui o método da média geométrica adaptado por Buckley²² e definido segundo esta expressão:

²⁰ Em geral, o método indica que valores menores que 0.10 garantem a consistência dos julgamentos.

²¹ O símbolo "~" indica que se trata de uma expressão difusa.

²² Op. cit., 1990.

$$\tilde{z}_i = \left[\prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{\frac{1}{n}}$$

de forma tal que os pesos w_i passam a ser obtidos da normalização de z_i , $\forall i$, ou seja, seguindo esta expressão:

$$\tilde{w}_i = \frac{\tilde{z}_i}{\sum_{i=1}^n z_i}$$

É importante destacar que constam da literatura várias outras formas de se obter esse vetor de prioridade [GOETSCHEL, 1985; WAGENKNECHT, 1986; SAATY, 1990b]. No entanto, usa-se o método da média geométrica pela facilidade de cálculo e pela exatidão dos resultados obtidos.

Os elementos da matriz \tilde{A} são números trapezoidais difusos e as operações entre eles seguem as definições apresentadas no Capítulo III. Portanto, o ordenamento hierárquico de critérios e de decisores é feito por meio do método AHP, utilizando-se números trapezoidais difusos. Uma das vantagens desse método é justamente o teste de consistência. Apesar disso, como os elementos da matriz recíproca são números trapezoidais difusos, faz-se necessário transformá-los em números "CRISP", tal como se mostra na Figura 25.

Constam da literatura várias formas e procedimentos de transformar números difusos em expressões "CRISP" [CHEN, 1985; YAGER, 1980; LEE, 1988; YAGER, 1981, entre outros].

Como os números difusos são trapezoidais, o método proposto por Chen²³ e [JAIN, 1976], com base em conjuntos maximizantes e minimizantes, adapta-se melhor ao caso em questão devido à confiabilidade dos resultados e à facilidade de cálculo.

²³ Op. cit.



Figura 25: Teste de consistência

Assim, dada a matriz recíproca difusa obtida dos julgamentos dos decisores, transforma-se cada elemento difuso numa expressão "CRISP", da seguinte maneira:

- Define-se um conjunto maximizante com função de pertinência dada pela seguinte expressão:

$$\mu_{\text{MAX}}(x) = \begin{cases} x & \text{se } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{outro caso} \end{cases}$$

- Define-se um conjunto minimizante com a seguinte função de pertinência:

$$\mu_{\text{MAX}}(x) = \begin{cases} 1 - x & \text{se } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{outro caso} \end{cases}$$

Como um número trapezoidal (T) é formado por dois lados, o valor do lado direito passa a ser definido assim:

$$\mu_D(T) = \text{SUP}_x [\mu_T(x) \wedge \mu_{\text{MAX}}(x)]$$

Da mesma maneira, o lado esquerdo de T é definido por esta expressão:

$$\mu_T(T) = \text{SUP}_x [\mu_T(x) \wedge \mu_{\text{MIN}}(x)]$$

Com os valores acima calculados, o número "CRISP" correspondente ao número trapezoidal difuso é dado pela seguinte expressão:

$$\mu_F(T) = \frac{[\mu_D(T) + 1 - \mu_L(T)]}{2}$$

onde $\mu_F(T)$ representa o número "CRISP" que será utilizado para formar a matriz recíproca "CRISP" para o teste de consistência.

Com efeito, segundo Saaty²⁴, o índice de consistência de uma matriz recíproca é dado pela seguinte expressão:

$$I_c = \frac{\lambda_{\text{MAX}} - n}{n - 1}$$

e a razão de consistência assim:

$$R_c = \frac{I_c}{I_R}$$

onde I_R é o índice randômico (obtido como índice de consistência de matrizes randômicas). Como as funções de pertinência pertencem ao intervalo $[0,1]$, após algumas operações algébricas o índice de consistência para o modelo proposto passa a ser definido da seguinte maneira:

$$I'_c = \frac{(10\lambda' - 9) - n}{n - 1}$$

onde λ' é o autovalor máximo da matriz de números "CRISP" correspondente à matriz difusa de números trapezoidais.

²⁴ Op. cit., 1981.

Assim, considerando-se uma razão de consistência igual a 0, isto é, índices de consistência ideais para matrizes de "n" dimensões, simulações utilizando-se matrizes geradas aleatoriamente permitiram obter os resultados mostrados na Tabela 9:

n	λ'
2	1,1
3	1,2
4	1,3
5	1,4
6	1,5
7	1,6
8	1,7
9	1,8
10	1,9

Tabela 9: Autovalores máximos segundo a dimensão da matriz

Saaty²⁵ indica que a matriz é considerada consistente se a razão de consistência for menor ou igual a 0,10. Baseados nesse limite, e considerando λ' como autovalor máximo, simulações com matrizes aleatórias permitiram obter valores máximos de λ' , tal como descritos na Tabela 10.

Com o objetivo de flexibilizar essa regra de consistência, devido, principalmente à natureza das variáveis difusas utilizadas, faz-se necessário ainda um mapeamento do índice de consistência no espaço [0,1], seguindo variáveis lingüísticas antes definidas, tal como se mostra na Figura 26.

²⁵ Op. cit., 1981.

n	λ'	n	λ'
3	1,2116	10	2,0341
4	1,327	11	2,151
5	1,44	12	2,2628
6	1,562	13	2,3872
7	1,6792	14	2,5041
8	1,7987	15	2,6226
9	1,9128		

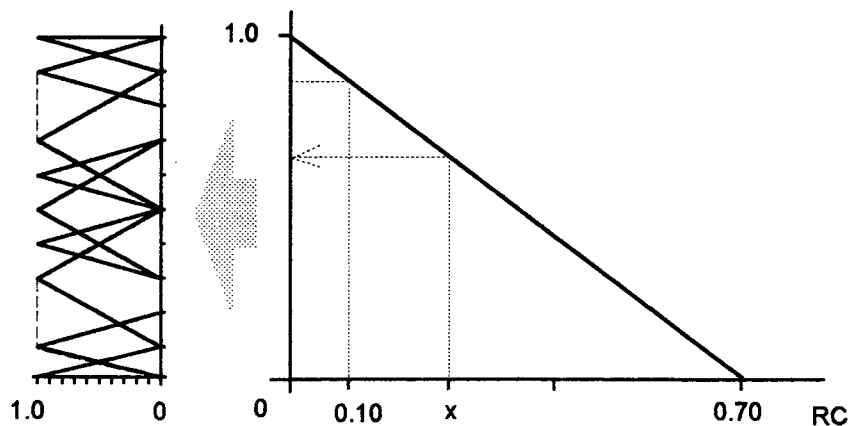
Tabela 10: Valores máximos para λ' 

Figura 26: Mapeamento do índice de consistência nas funções de pertinência das variáveis lingüísticas

Observe-se que para o índice RC igual a 0.10 o quantificador lingüístico utilizado é "alto", pois define-se que uma matriz com $RC=0,10$ apresenta uma "boa" consistência.

Assim, quanto mais distante RC seja de 0,10 menos consistente será considerada a matriz e o decisor poderá determinar o grau de consistência por ele permissível.

Aceita a matriz como consistente, o vetor prioridade de números trapezoidais obtido pela média geométrica constitui a função de pertinência dos elementos que foram comparados. Como esse procedimento é observado para cada decisor, a etapa seguinte é a agregação de preferências dos decisores, tal como se descreve a seguir.

iii) Agregação de preferências

A agregação de preferências é feita em dois estágios. O primeiro, denominada de agregação parcial, visa fundamentalmente determinar a preferência final de cada decisor envolvido no processo de avaliação.

Para tal fim, calcula-se uma utilidade parcial para cada decisor, de forma a refletir seu julgamento acerca da viabilidade e da pertinência do projeto. Assim, por exemplo, se são três os critérios levados em consideração por um decisor, serão também três os julgamentos do projeto; e serão outros três os julgamentos que apontem a importância ou significância desses critérios utilizados.

A agregação de todos esses julgamentos, para obter uma posição final do decisor acerca do projeto, é obtida mediante o cálculo da seguinte função utilidade [FARQUAR, 1984]:

$$U_i = \sum_{j=1}^m w_j \otimes r_{ij} \quad \forall i=1,2,\dots,n$$

onde U_i é a utilidade parcial do decisor i ; w_j o número trapezoidal difuso que representa o peso do critério j ; e r_{ij} , o julgamento do projeto (que também se trata de um número trapezoidal difuso).

É importante destacar que os pesos são normalizados no intervalo $[0,1]$, ou seja, eles cumprem a seguinte condição:

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1$$

Assim, por exemplo, se do processo de avaliação participam cinco especialistas, esse processo de agregação permite determinar o julgamento final de cada especialista acerca do projeto. Esse julgamento é expresso na forma de variáveis linguísticas, já que os números trapezoidais difusos utilizados são resultantes do mapeamento das funções de pertinência no espaço das funções explicativas dos termos linguísticos utilizados.

O segundo estágio do processo de agregação, denominado de agregação global, destina-se a agregar os resultados parciais obtidos seguindo o procedimento antes descrito, visando determinar o resultado global de todo o processo de avaliação de um projeto. Para esse efeito, são dois os aspectos considerados: as preferências parciais dos decisores e o peso atribuído a cada decisor no processo de avaliação.

O mecanismo de agregação é similar ao utilizado nas agregações parciais, ou seja, calcula-se uma utilidade global final envolvendo esses dois aspectos, seguindo esta expressão:

$$U_{GT} = \sum_{i=1}^n d_i \otimes U_i$$

$$\text{sendo: } \sum_{i=1}^n d_i = 1$$

onde U_i é a utilidade para o decisor i , e d_i seu peso²⁶.

O resultado assim obtido corresponde ao julgamento final do projeto. No entanto, a U_{GT} é basicamente um número trapezoidal difuso, e portanto, faz-se necessário determinar a variável linguística correspondente que, em definitivo,

²⁶ Observe-se que se os julgamentos dos decisores tiverem o mesmo valor, eles terão o mesmo peso, ou seja, $d_i = d_j, \forall i, j$

julga e qualifica o projeto. Isso é feito seguindo o procedimento mostrado na Figura 27.

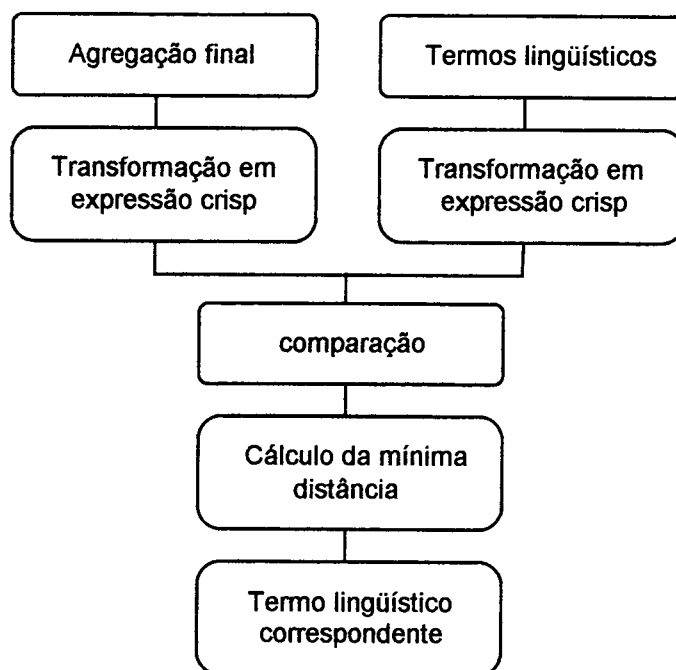


Figura 27: Correlação entre utilidade global e termo lingüístico

A função utilidade global é constituída por um número trapezoidal difuso. Para identificar o termo lingüístico correspondente bastaria sobrepor esse número com as funções de pertinência que descrevem os termos lingüísticos e observar com qual deles se assemelha mais.

Essa comparação é feita da seguinte maneira:

- Inicialmente, calcula-se a expressão "CRISP" correspondente à função utilidade global, utilizando o procedimento descrito no item ii;

- calculam-se também os valores "CRISP" dos termos lingüísticos seguindo esse mesmo procedimento;

- calcula-se a distância entre o nível "CRISP" da função utilidade e os números "crisp" dos termos lingüísticos, segundo esta expressão:

$$d_i = |\varphi_U - \delta_i| \quad \forall i$$

onde φ_U é a expressão "CRISP" da utilidade global; δ_i o número "CRISP" correspondente ao termo lingüístico i ;

- seleciona-se aquele termo lingüístico para o qual essa distância seja mínima, ou seja:

$$d_{MIN} = \text{MIN } d_i; \quad \forall i$$

O termo assim obtido representa o julgamento global do projeto resultante do processo de avaliação, que nada mais é do que uma função de pertinência do conjunto definido como *projeto absolutamente viável*.

Observe-se que as preferências dos decisores, seus julgamentos e o processo de agregação são explicitados através de termos lingüísticos baseados em números trapezoidais difusos. A concepção do presente modelo de avaliação, utilizando essas variáveis lingüísticas, permite deixar transparente algumas vantagens descritas a seguir.

3. Vantagens e limitações do modelo

Da maneira como é formulado o presente modelo, tornam-se claras suas vantagens no tocante à aplicação na avaliação de projetos de investimento. Elas apontam fundamentalmente três aspectos básicos, que são os seguintes:

i) A primeira vantagem diz respeito à pluralidade de decisores envolvidos no processo de avaliação. Com efeito, geralmente, para implementar ou executar um projeto de investimento, são várias as instâncias pelas quais ele deve passar, desde a concepção da idéia até a materialização do empreendimento. Sua aprovação é o resultado da agregação de

vários pontos de vista²⁷, às vezes contraditórios [TURNS, 1991]. Nessa situação, o modelo proposto mostra-se adequado na medida em que constitui uma ferramenta que agrega, num único espaço lógico-matemático, as diferentes preferências dos decisores.

Naturalmente, há em toda avaliação julgamentos contraditórios justificados até por interesses particulares. Um ponto favorável do modelo é sua capacidade de agregá-los na função utilidade global do projeto²⁸.

ii) A segunda vantagem é a multiplicidade de critérios qualitativos e quantitativos levados em consideração pelos decisores. Com efeito, são várias as dimensões consideradas no processo de avaliação, e mais, elas não são necessariamente as mesmas para todos os decisores [EFSTATHION, 1979]. A flexibilidade do presente modelo permite que o número e a natureza dos critérios sejam definidos pelo próprio decisor, de forma independente dos outros.

iii) A terceira vantagem é a capacidade de equacionar a incerteza na avaliação. Como apresentado ao longo do presente trabalho, uma forma de lidar com essa característica é utilizar a técnica de conjuntos difusos na captação e no manejo das preferências dos decisores [DIMITROV, 1983]. Essa situação é ainda mais fortalecida com o uso de variáveis lingüísticas como instrumento básico de apreciação de preferências. Com efeito, é muito mais natural para um decisor expressar seu parecer usando linguagem natural do que escolher um determinado valor numa escala a ele imposta. Ainda mais, às vezes é mais real a observação de variáveis e

²⁷ Geralmente de uma equipe de analistas.

²⁸ Não se trata, propriamente, de um modelo de consenso, mas, sim, de um modelo que agrega vários pontos de vista (podem ser até contraditórios).

parâmetros de um projeto amparados pelo "feeling" do decisor do que por critérios estritamente técnicos²⁹.

iv) A quarta vantagem do modelo é sua clareza e simplicidade. Com efeito, os decisores envolvidos não precisam conhecer exatamente o fundamento matemático que suporta o modelo proposto. Muito pelo contrário, basta entender seu raciocínio lógico, uma vez que o processamento é necessariamente auxiliado por ferramentas computacionais.

No entanto, é importante salientar que o presente modelo apresenta dois aspectos críticos, decorrentes das técnicas e dos métodos utilizados em sua formulação, e que são as seguintes:

i) O primeiro aspecto diz respeito ao problema da inversão do vetor de prioridades de matrizes recíprocas. Com efeito, constam da literatura críticas que apontam essa situação [BELTON, 1983, 1985; PAPPIS, 1987] e propostas de mudanças das formas de cálculo dos vetores prioridade para evitar o ordenamento inverso de seus elementos [DYER, 1990a, 1990b; BAZERMAN, 1992; HARKER, 1990; SAATY, 1987].

De certa maneira existe a possibilidade de inversão do vetor prioridade quando é adicionada, na matriz, um outro elemento com características muito próximas de qualquer um de seus elementos. No entanto, as formas de evitar essa inversão têm como característica a normalização de seus elementos considerando não o somatório deles, mas seu número máximo, isto é, considerando o maior deles como unitário.

Essa situação é contornada no presente modelo com a normalização das funções de pertinência no intervalo $[0,1]$, ou seja, todas elas têm seus valores distribuídos nesse intervalo. Isso não evita, na totalidade, o problema de inversão de ordem do vetor prioridade, uma vez que o método

²⁹ Isso se dá, notadamente, quando da avaliação de projetos de investimento social, em que geralmente são favorecidos projetos que visam privilegiar determinados objetivos, fixados "a priori" pelos diretamente interessados.

aqui utilizado é da média geométrica. No entanto, devido a essa situação, o ordenamento inverso é muito improvável de ocorrer quando bem identificados os elementos da matriz [Saaty, 1990a].

ii) O segundo aspecto a ser assinalado se refere ao número de critérios e de decisores envolvidos na avaliação. Com efeito, como as funções de pertinência são conformadas por meio de comparações binárias entre os elementos, o número de comparações cresce consideravelmente à medida que aumenta o número de elementos.

Assim, a seguinte expressão relaciona a quantidade de combinações, par a par, que serão necessárias em função do número "n" de elementos considerados:

$$N_c = \frac{n(n - 1)}{2}$$

onde N_c representa as combinações de uma matriz de dimensão "n".

Esse fato não constitui propriamente uma limitação quando as dimensões das matrizes são relativamente pequenas. Mas, o esforço será maior para o decisor quando o número de elementos considerados for relativamente maior. Essa dificuldade é, de certa forma, contornada com o auxílio de ferramenta computacional na forma de um "software" interativo.

4. Software interativo

O aplicativo desenvolvido é constituído por um módulo gerenciador, dois bancos de dados e um de modelos, tal como mostra a Figura 28. O gerenciador tem uma interface de comunicação com o usuário e encarrega-se de controlar e gerenciar o sistema. No primeiro banco de dados estão armazenadas informações acerca da equipe de avaliação e dos critérios utilizados, e a descrição e os parâmetros das

variáveis linguísticas. No segundo, são armazenados os dados do projeto e os resultados das avaliações parciais e totais.

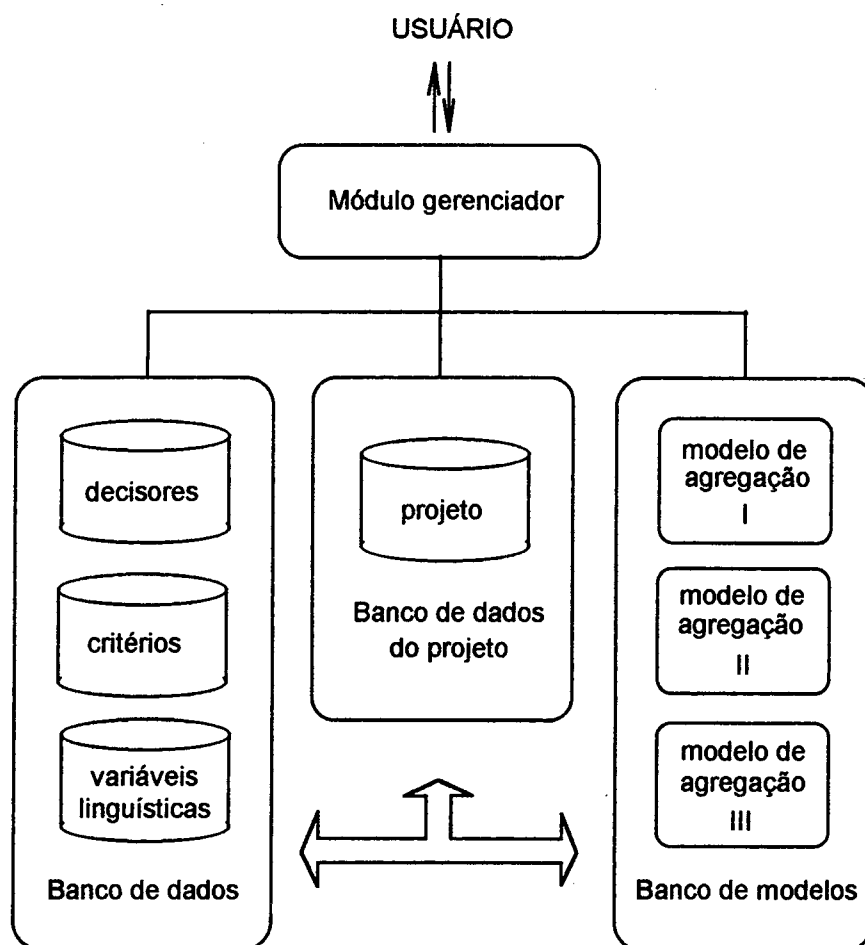


Figura 28: Estrutura do sistema

O terceiro banco contém todos os modelos matemáticos utilizados no sistema. Cada modelo recolhe a informação necessária dos outros bancos de dados e fornece resultados que são gerenciados pelo módulo central ou gerenciador.

Assim sendo, a Figura 29 mostra a tela principal do aplicativo e a Figura 30, a tela de resultados do processo de avaliação.

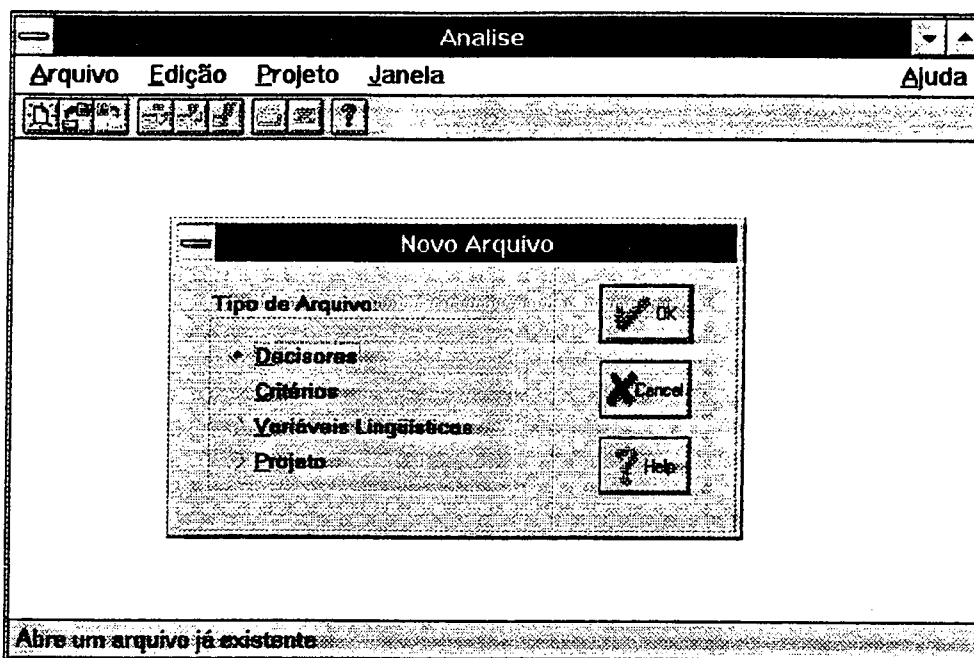


Figura 29: Tela principal do "software" de avaliação

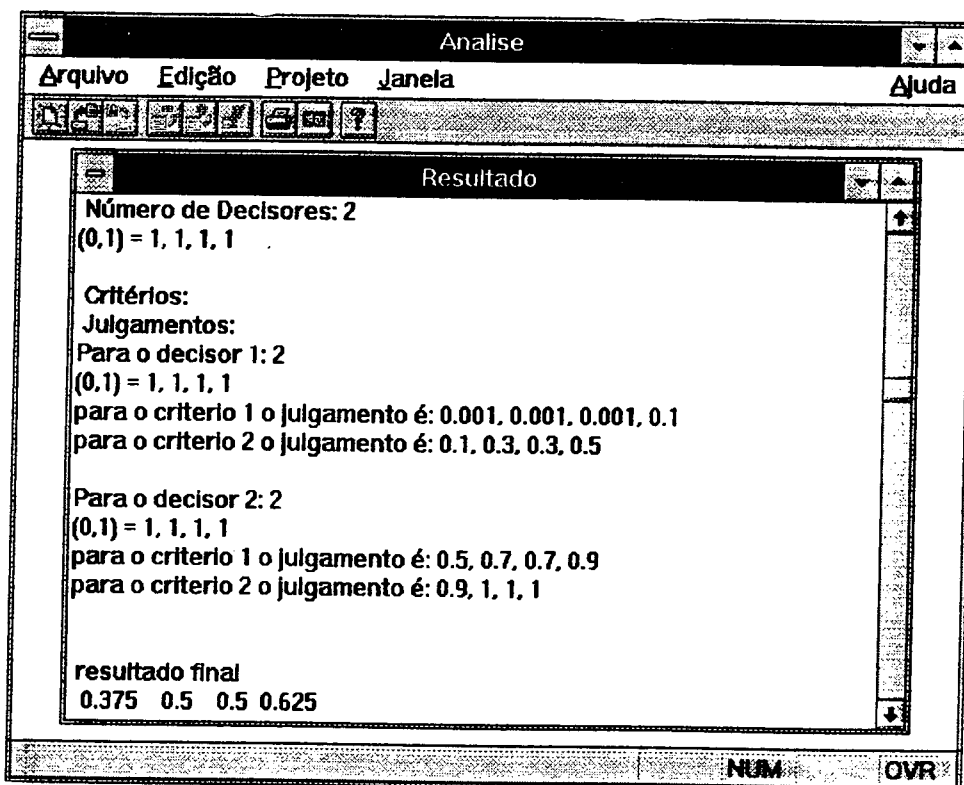


Figura 30: Apresentação de resultados

O processo de avaliação é "on line"; no entanto, os julgamentos parciais dos decisores, bem como suas preferências, são extraídos de formulários previamente

preenchidos e armazenados nos bancos de dados. Cada decisor deverá preencher, pelo menos, dois formulários.

O primeiro deles (mostrado na Figura 31) é para explicitar seu julgamento acerca do projeto como um todo, quando observado sob vários pontos de vista.

Sistema de Avaliação de Projetos de Investimento

Analista: Projeto:

Setor: Data: / /

Critério	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l

Legendas

a: Absolutamente ruim	g: Relativamente bom
b: Muito ruim	i: Bom
c: Ruim para muito ruim	j: Bom para muito bom
d: Ruim	k: Muito bom
e: Relativamente ruim	l: Absolutamente bom
f: Regular	

Figura 31: Formulário de avaliação do projeto

Nesse formulário de avaliação estão registrados, em termos linguísticos, os julgamentos (do projeto) em função dos critérios escolhidos pelo decisor. Assim, no lado esquerdo desse formulário estão listados os critérios (como por exemplo a TIR) e, do lado direito, os julgamentos em termos linguísticos conforme as legendas definidas na parte inferior do formulário (por exemplo, "Relativamente bom").

Já o segundo formulário (mostrado na Figura 32) permite captar as preferências de critérios. Nele são identificados os critérios utilizados pelo decisor bem como sua importância relativa. Na primeira coluna e na primeira linha estão listados os critérios. A interseção das linhas com as colunas são preenchidas com letras (de "a" a "n") segundo a legenda especificada na parte inferior do formulário. Observe-se que os critérios são comparados em pares, explicitando-se em termos linguísticos o resultado da comparação binária.

A informação recolhida nesses dois formulários é armazenada nos bancos de dados do aplicativo para, posteriormente, ser processada. No entanto, é importante salientar que o uso desses formulários pode ser evitado com o auxílio de um sistema de comunicação "on line", quer na forma de rede, quer via modem/FAX. Isso evitaria o preenchimento desses formulários, permitindo assim um processo de comunicação interativo entre os decisores e o sistema.

Assim, quer seja usando esses formulários ou ligados diretamente de forma interativa ao sistema, as preferências dos decisores, expressas em termos linguísticos, são agregadas utilizando-se números trapezoidais difusos, seguindo o modelo de agregação anteriormente descrito. Como o processamento matemático é baseado nesses números (com parâmetros definidos no intervalo $[0,1]$), o resultado da agregação é também um número trapezoidal difuso. Transformam-se esses números em seus correspondentes termos linguísticos, de forma que o resultado final é apresentado em linguagem natural (ver Figura 30), conforme as descrições definidas pelas funções de pertinência mostradas na Figura 24.

Sistema de Avaliação de Projetos de Investimento

Analista: _____ Projeto: _____

Setor: _____ Data: ____ / ____ / ____

Critério	Crit.2							
Crit.1								
	X							
	X	X						
	X	X	X					
	X	X	X	X				
	X	X	X	X	X			
	X	X	X	X	X	X		
	X	X	X	X	X	X	X	

Legendas

<p>a: Absolutamente importante</p> <p>b: Muito mais importante</p> <p>c: Entre mais importante e muito mais importante</p> <p>d: Mais importante</p> <p>e: Entre relativamente mais importante e muito mais importante</p> <p>f: Relativamente mais importante</p> <p>g: Mesma importância</p>	<p>i: Relativamente menos importante</p> <p>j: Entre relativamente menos importante e muito menos importante</p> <p>k: Menos importante</p> <p>l: Entre menos importante e muito menos importante</p> <p>m: Muito menos importante</p> <p>n: Absolutamente menos importante</p>
---	---

Figura 32: Formulário de avaliação de critérios

Assim, suponha-se, por exemplo, que os julgamentos de dois decisores acerca de um projeto de investimento sejam os apresentados na Tabela 11:

	Critério	Projeto
Decisor 1	TIR	Muito bom
	Geração de emprego	Regular
Decisor 2	Rentabilidade	bom
	Impacto Amb.	Muito ruim
	Risco	Regular

Tabela 11: Julgamentos de decisores

Observe-se que o primeiro decisor leva em consideração dois critérios, a taxa interna de retorno e a geração de emprego. Assim, o projeto é qualificado como sendo muito bom quando observada a TIR, mas é considerado regular segundo sua capacidade de geração de emprego na região. Já o segundo decisor utiliza três critérios, a rentabilidade (não necessariamente a TIR), o impacto ambiental e o risco do empreendimento. Sob esses três pontos de vista, o projeto é considerado como sendo um projeto bom, muito ruim e regular, respectivamente.

As preferências dos decisores pelos critérios utilizados são os mostrados na Figura 33:

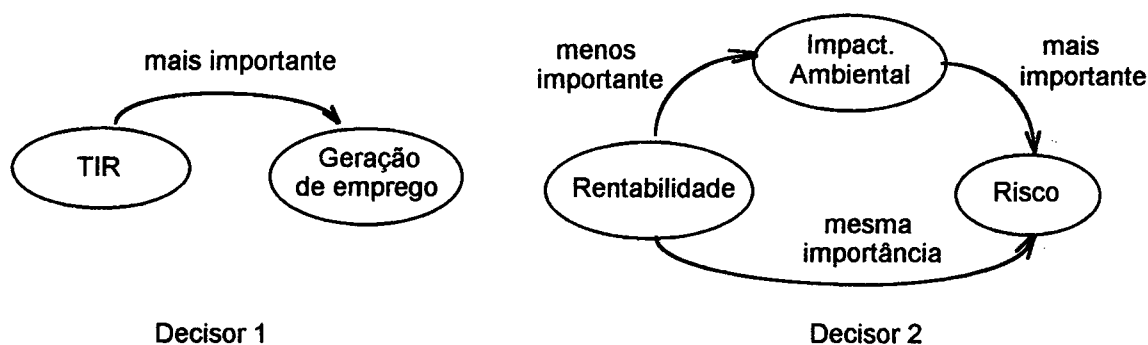


Figura 33: Preferências pelos critérios

Observe-se que, para o primeiro decisor, a TIR é mais importante do que a geração de emprego, e portanto, esse critério pesa mais na decisão. Já para o segundo decisor, o impacto ambiental é o critério mais importante, enquanto que a rentabilidade e o risco do empreendimento têm a mesma importância. O resultado da agregação dessas preferências, considerando-se que na decisão final eles têm o mesmo peso, é mostrado na Tabela 12:

	Projeto
Decisor 1	Bom
Decisor 2	Ruim
Resultado final	REGULAR

Tabela 12: Resultado da avaliação

Essa Tabela mostra que a agregação parcial para o primeiro decisor indica que o projeto é considerado bom. No entanto, para o segundo decisor, o projeto é ruim. Como ambos têm o mesmo peso na decisão final, o processo de agregação dessas funções de pertinência aponta que o projeto é considerado regular. Mas, se o parecer do primeiro decisor for mais importante do que o segundo, o resultado da agregação apontaria um projeto mais próximo de bom do que de ruim.

É importante assinalar que o "software" não tem restrições quanto ao número de decisores, nem ao de critérios utilizados. No entanto, cabe indicar que se o número de critérios for relativamente grande, seu processamento poderá se tornar apenas um pouco pesado.

5. Conclusão

Do exposto, deduz-se a importância do modelo de avaliação de projetos de investimento aqui descrito. Com efeito, são principalmente as seguintes peculiaridades as que apontam essa situação. A primeira se refere à capacidade de levar em consideração critérios qualitativos e quantitativos de forma simultânea. Isso significa que não há necessidade de reduzir todos os critérios contemplados no processo de avaliação a um único denominador comum para agregá-los. A abordagem multicritério do modelo garante essa situação.

Uma outra característica que deve ser salientada é a capacidade do modelo de gerenciar uma multiplicidade de julgamentos, como resultado da formação de funções utilidade parcial para cada decisor envolvido no processo de avaliação. Além dessa característica, o modelo permite também que os critérios sejam definidos e escolhidos pelos próprios decisores, de tal forma que os critérios não são obrigatoriamente os mesmos para todos os decisores (é definido um conjunto geral de critérios). Em termos práticos, o modelo permite que a quantidade e a descrição de critérios sejam de acordo com as preferências dos decisores.

A agregação das preferências deve também ser salientada. Ela se dá pela construção de funções utilidade parciais, seguindo processos de agregação aditiva conforme a ótica multiatributo. Essas funções utilidade parciais são também agregadas para formar uma função utilidade global, seguindo o mesmo procedimento, ou seja, através da conjunção da utilidade multiatributo com o método AHP e as técnicas de conjuntos difusos.

As preferências e os julgamentos dos decisores são expressas em linguagem natural. Essa é uma outra característica a ser assinalada no modelo. Com efeito, utilizam-se quantificadores lingüísticos para representar as preferências e os julgamentos com palavras ou frases no lugar de expressões numéricas. Esse é o caso, por exemplo, da

determinação verbal da importância relativa de um critério comparado com outro, ou seja, seu peso na tomada de decisão.

O modelo utiliza números trapezoidais difusos para representar internamente esses termos lingüísticos, o que facilita, e muito, sua manipulação. Acrescenta-se a esse fato o uso de funções de pertinência mapeadas no intervalo $[0,1]$ para incorporar a incerteza no processo de avaliação. Os parâmetros que definem essas funções não são rígidos. Isso garante que eles possam ser modificados em função de preferências ou ajustes circunstanciais do modelo.

Essas características pesam, notadamente, na complexidade matemática do modelo. Por esse motivo, sua operacionalização é necessariamente auxiliada por ferramentas computacionais, na forma de um "software" desenvolvido em linguagem C++ para Windows.

CONCLUSÕES E
RECOMENDAÇÕES

O estudo detalhado de projetos de investimento, "como documento de análise", permitiu observar que são considerados vários aspectos, tais como econômicos, técnicos, financeiros, organizacionais, legais e administrativos, entre outros, ou seja, um projeto contém informação necessária que descreve, detalha e justifica o empreendimento.

Observou-se também que fazem parte dessa documentação duas categorias de avaliações, a financeira e a econômica¹. A primeira determina basicamente a rentabilidade do empreendimento, enquanto a segunda, dita também rentabilidade social, determina o impacto econômico do projeto sobre as demais atividades econômicas ou na economia nacional.

O estudo aprofundado dessa abordagem tradicional de avaliação de projetos de investimento permitiu constatar que são levados em consideração, do ponto de vista formal, principalmente critérios econômico-financeiros, ou seja, segue-se, geralmente, uma ótica monocriterial na avaliação dos projetos de investimento.

Essa concepção mostrou-se suficiente e adequada quando aplicada à avaliação de projetos de investimento

¹ Atendendo diferenciação estabelecida em UNIDO, 1987, op. cit.

relativamente simples, em que a quantidade de elementos a ser estudados é pequeno e, fundamentalmente, quando não há necessidade de levar em consideração mais elementos de análise. Comprovou-se que isso é decorrência de duas situações: primeiro, porque os indicadores econômicos descrevem mais do que satisfatoriamente o empreendimento; e segundo, porque o esforço em analisar o empreendimento sob outros pontos de vista não se justifica, porque não compensam os benefícios obtidos.

No entanto, a análise detalhada dessa concepção tradicional de avaliação de projetos de investimento, perfeitamente válida nas situações acima descritas, permitiu mostrar que ela é insuficiente na avaliação de complexos projetos de investimento. Com efeito, demonstrou-se que a avaliação de um empreendimento que envolve uma diversidade de recursos econômicos e não econômicos, que visa vários objetivos e que influi em outros setores ou atividades econômicas, caracteriza-se pela multiplicidade de critérios qualitativos e quantitativos levados em consideração por uma pluralidade de decisores.

Mostrou-se também que esse cenário é claramente observado na avaliação de um projeto de investimento de grande porte. Considerando-se um empreendimento dessa natureza, observou-se que são vários os aspectos estudados que vão desde os econômicos, técnicos, sociais, políticos, administrativos, até os ambientais, isto é, aspectos qualitativos e quantitativos. Isso levou a verificar que a tomada de decisão de implementação baseia-se numa avaliação sob vários pontos de vista, ou seja, seguindo uma ótica multicriterial. Para tanto, o projeto (como documento) é geralmente apreciado por uma equipe de analistas que indicarão sua viabilidade sob esses aspectos².

O exposto levou a formular um modelo lógico-matemático que complementa a ótica monocriterial recorrendo-se à

² Na realidade são várias as instâncias de análise do projeto, que vão desde a formulação, a elaboração, a aprovação, o financiamento, até a posterior implementação.

abordagem multicriterial para construir uma ferramenta flexível na avaliação de projetos de investimento de grande porte, ou seja, empreendimentos muito complexos envolvendo uma equipe de vários decisores.

Assim, o modelo proposto permite maior qualidade de decisão final no tocante à avaliação de um projeto. Com efeito, um empreendimento passa a ser aprovado após uma rigorosa bateria de testes que examinarão suas várias dimensões. O modelo permite também que cada decisor defina seus próprios critérios, independentemente dos demais decisores envolvidos no processo de avaliação.

A estrutura multicriterial adotada permite a junção, num mesmo espaço lógico matemático, de variáveis qualitativas e quantitativas. As preferências dos decisores são expressas em linguagem natural através de termos lingüísticos. Isso permitiu, de certa maneira, uma modelagem muito mais próxima da realidade, até porque o modelo permite lidar com incerteza e informação imperfeita, refletidas nos julgamentos e preferências dos decisores.

A estrutura acima descrita fez com que a agregação de preferências e de julgamentos seja fortemente favorecida no modelo proposto. Assim, utilizaram-se mecanismos de agregação baseados nos mesmos termos lingüísticos (antes mencionados), o que levou ao resultado final da agregação global ser também expresso em linguagem natural, isto é, utilizando-se variáveis lingüísticas³. Dessa maneira, os julgamentos dos decisores são agregados para obter-se uma posição final que descreve o projeto e que representa os pareceres de todos os analistas.

No entanto, essas características pesaram no esforço computacional necessário ao equacionamento e ao processamento de todas essas variáveis envolvidas. Por esse motivo, o

3 É importante destacar que não se trata de um modelo de ordenamento ou classificação de projetos seguindo uma ótica multicriterial. A este respeito há na literatura alguns trabalhos que descrevem e propõem formas e métodos de ordenar e selecionar projetos [MARTEL, 1982; GOMES, 1990].

modelo torna-se operacional na forma de "software" e, mais especificamente, como um sistema de apoio à tomada de decisão na avaliação de projetos de investimento. Assim, foi desenvolvido um sistema para a plataforma "Windows" em linguagem orientada a objeto C++.

Esse sistema mostrou ser de grande valia na avaliação de projetos de investimento de grande porte, devido fundamentalmente à melhoria da qualidade da decisão permitindo reduzir sua complexidade seguindo uma forma alternativa de avaliação. No entanto, é importante salientar principalmente três recomendações a respeito do presente trabalho.

O primeiro se refere aos parâmetros das funções de pertinência utilizadas no modelo. Elas foram definidas com funções padrão, de forma tal que poderão ser necessários ajustes posteriores de acordo com o perfil ou preferências dos decisores. Portanto, para futuros trabalhos e pesquisas nesta área é interessante o estudo de novas funções de pertinência de acordo com as preferências e perfil dos decisores, para desta maneira, aperfeiçoar um sistema inteligente de ajuste dessas funções em decorrência das variações dos parâmetros do sistema.

O segundo aspecto se refere à definição das variáveis lingüísticas. No modelo proposto foram utilizadas um total de onze variáveis lingüísticas padrão sob forma de números trapezoidais difusos; no entanto, esse número pode ser maior ou menor de acordo com as preferências dos decisores. Portanto, sugere-se para próximos trabalhos um estudo muito mais detalhado para cada tipo particular de avaliação de maneira a representar o mais fielmente possível as situações do mundo real.

A terceira recomendação diz respeito da operacionalização do sistema proposto sob forma de um "Sistema Especialista". Assim, sugere-se para próximos trabalhos o desenvolvimento de um "Expert System" aplicado à avaliação de projetos de investimento com base no modelo aqui

apresentado. Devido às características do sistema proposto ele poderia ser perfeitamente incluído num sistema muito maior ligado "on line" via modem ou em rede. Assim, pode ser instalada uma estação central de processamento com vários usuários ligados ao sistema ao mesmo tempo.

Descrevem-se, a seguir, os principais métodos de análise de rentabilidade de projetos de investimento¹ (Valor Presente, Taxa Interna de Retorno, Tempo de Retorno do Capital Investido, Razão Receita-Custo, Valor Anual Equivalente e Índice Benefício/Custo), segundo a avaliação econômica-financeira de projetos conforme apresentado no Capítulo I do presente trabalho.

1 - Valor Presente

A avaliação de alternativas é apreciada através de um valor representativo dos fluxos de caixa, que é a soma algébrica de seus valores (receitas e despesas) descontados e reduzidos ao instante inicial (considerado zero), segundo uma taxa de juro i , (dita taxa de desconto) durante os n períodos de vida útil do projeto. Assim, essa expressão permite obter o valor atual dos custos e das receitas de cada alternativa:

$$VP = \sum_{j=0}^n X_j (1 + i)^{-j}$$

¹ Koppitke, 1990; Woiler, 1985; Contador, 1981; Faro, 1971, op. cit.

onde: VP: valor presente;
n, número de períodos considerados;
 x_j , elemento do fluxo de caixa (receitas e despesas) no período j;
i, a taxa de desconto.

Se o valor acima calculado for positivo (para determinada taxa de juros), as receitas futuras serão superiores às despesas. Mas, se são várias as alternativas analisadas, o critério de discernimento estabelece escolher aquela que apresente o maior ou menor VP, dependendo das características do problema em questão. Assim, visando maior rentabilidade, escolher-se-á o maior VP; se, em compensação, quer-se avaliar custos, deixando de lado as receitas, optar-se-á pela alternativa com menor VP. Neste último caso, os elementos do fluxo de caixa são unicamente os de custos. Essas duas opções resumem-se na escolha da alternativa de maior valor presente líquido (VPL), isto é, o maior valor resultante do somatório de todos os custos com sinal negativo e das receitas com sinal positivo, naturalmente de ambos descontados a taxa de juros i.

2 - Taxa Interna De Retorno

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR), dito também fluxo de caixa descontado, exige a descrição de cada alternativa de investimento em termos de custos e receitas a ela associados (levando-se em consideração os momentos em que ocorrem esses fluxos). Esses custos e receitas são utilizados para calcular a TIR a ser obtida em função do investimento total. A comparação com a taxa mínima fixada pelo decisor permite identificar a alternativa mais econômica. Em outros termos, a TIR é a taxa que torna nulo o VPL (quando o somatório no instante inicial dos benefícios, é exatamente igual ao dos custos). Vale dizer, os juros redundam num custo anual uniforme, ou valor atual nulo. Isto expressa-se da seguinte maneira:

$$\sum_{t=0}^n X_{jt} (1 + i_j)^{n-t} = 0$$

onde i_j representa a TIR da alternativa j e n , o número de períodos analisados.

Decidir baseando-se nesse método significa admitir que uma alternativa deve ser escolhida se o custo de oportunidade do capital for menor do que a TIR.

3 - Tempo de Retorno do Capital Investido

Define-se o tempo de retorno, ou de recuperação do capital investido, como sendo o tempo necessário para recuperar o investimento inicial considerando-se uma taxa de juro nula. Assim, o critério de discernimento constitui o "tempo necessário" para que o somatório das receitas líquidas nominais futuras seja igual ao valor do investimento inicial.

Denotando como IN_j o investimento inicial, para uma alternativa representada por j e R_{jt} o retorno (líquido) desse investimento durante o período de tempo t , o menor valor do parâmetro n que define o período de recuperação do capital investido é dado pela seguinte expressão:

$$\sum_{t=1}^n R_{jt} \geq IN_j$$

4 - Razão Receita-Custo

Este método objetiva calcular uma razão, ou medida proporcional, entre os benefícios (entendidos aqui como receitas) e os custos (definidos como despesas). No cálculo desses valores não é considerada a variável "tempo", ou seja, não são aplicadas taxas de desconto das receitas e das despesas.

Assim sendo, o critério de discernimento estabelece que uma alternativa será melhor que outra quanto maior for a taxa de receita-custo associada a cada uma delas (esse critério também pode ser utilizado em análises de alternativas sob condição de risco). Essa razão receita/custo é dada pela seguinte expressão:

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{IN}$$

onde: IN representa o investimento inicial e R_j seu retorno para o período j .

Destaca-se a atribuição dos mesmos pesos para todas as receitas e despesas ao longo do tempo, ou seja, elas têm o mesmo valor nominal. No entanto, a variável "tempo" deve ser considerada na avaliação econômica de projetos. De fato, um real disponível hoje vale mais do que um real disponível amanhã, porque ele pode ser aplicado e render juros.

5 - Valor Anual Equivalente

Define-se o valor anual equivalente como sendo a soma algébrica dos valores do fluxo de caixa a uma taxa de desconto i , sob forma unitária, relativa ao mesmo período (considerando os benefícios positivos e os custos negativos). Vale dizer que se obtém uma série uniforme anual que é equivalente ao fluxo de caixa do projeto segundo a taxa de desconto i , que pode ser expressa assim:

$$VAE = \sum_{t=0}^n X_t (1+i)^{-t} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

onde: VAE: valor anual uniforme equivalente;

X_t , o elemento do fluxo de caixa;

i , a taxa de desconto;

n, o número de períodos considerado.

Se o VAE for positivo, haverá predominância dos valores anuais dos benefícios em relação aos custos e, se for negativo, a situação será inversa, ou seja, os benefícios serão menores que os custos. Conseqüentemente, na avaliação de alternativas, aponta-se aquela que apresentar o maior VAE (líquido) por apresentar maior receita esperada.

O critério de seleção pode ser, no entanto, baseado no menor VAE. Por exemplo, na escolha de vários equipamentos para a execução de uma mesma tarefa, sendo as receitas (ou benefícios) idênticas, poder-se-á construir para cada alternativa o fluxo de caixa dos custos (aquisição, instalação, operação e manutenção etc). O critério de seleção, nesse caso, baseia-se no menor custo anual equivalente do equipamento (CAE). Logo, a alternativa econômica será aquela que apresentar o custo anual mais baixo.

6 - Índice Benefício/Custo

O índice benefício/custo como ferramenta de avaliação apresenta diferenças sob os pontos de vista social e privado. Geralmente, os benefícios privados excedem os custos privados e o custo social excede o benefício social. A partir disso, pode-se pensar numa fronteira entre a rentabilidade privada ou comercial e a rentabilidade social. Com efeito, a utilidade comercial mede a diferença entre o valor das receitas (benefícios) e despesas (custos) num determinado período considerado em termos monetários (e a preço de mercado).

Em geral, os benefícios são avaliações específicas de receitas, de faturamentos, de dividendos e tudo o mais que tende a remunerar o empreendimento previsto. Ao contrário, aos custos estão associados os dispêndios, os gastos, as despesas de pagamentos e tudo o mais que tende a endividá-lo. Vale dizer que um custo é um benefício sacrificado.

Apresentar uma avaliação com base no índice de benefício-custo, dito também índice de rentabilidade, consiste em apresentar a relação de proporcionalidade entre os benefícios (B) e os custos (C), vale dizer B/C. Há um outro índice também utilizado como elemento de referência no processo de avaliação, que é a diferença entre ambos, ou seja (B-C).

As relações (B/C) e (B-C) podem ser expressas assim:

$$B / C_{(i)} = \frac{\sum_{t=0}^n B_{jt} (1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_{jt} (1+i)^{-t}}$$

$$(B - C)_{(i)} = \sum_{t=0}^n (B_{jt} - C_{jt})(1+i)^{-t}$$

onde:

B_{jt} , o benefício² associado ao projeto j, durante o ano t;

C_{jt} , o custo associado ao projeto j, durante o ano t;
i, a taxa de juro.

Esse fluxo contínuo de benefícios e custos, na prática, é considerado em magnitudes discretas, vale dizer, B_1, B_2, B_3, \dots e C_1, C_2, \dots, C_n . Assim, a série de benefícios líquidos (ou seu excesso) sobre os custos pode ser escrita segundo a expressão: $(B_0 - C_0), (B_1 - C_1), \dots, (B_n - C_n)$,

Quando são comparadas duas ou mais alternativas com estes índices, a análise deve ser feita em base incremental, isto é, os custos devem ser ordenados do menor ao maior (e aqui refere-se ao CAE). Logo, cabe determinar o benefício incremental da segunda alternativa em relação à primeira, ou seja, $\Delta B_{2-1}(i)$, a qual é dividida pelo custo também

² No ano zero, o benefício é considerado nulo, sendo C_{j0} distinto de 0.

incremental desta última em relação à primeira, isto é, $\Delta C_{2-1}(i)$. Isto expressa-se assim:

$$\Delta B / C_{2-1}(i) = \frac{\Delta B_{2-1}(i)}{\Delta C_{2-1}(i)}$$

$$\Delta B / C_{2-1}(i) = \frac{\sum_{t=1}^n (B_{2t} - B_{1t})(1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (C_{2t} - C_{1t})(1+i)^{-t}}$$

Nesse caso, o critério de decisão estabelece que tão logo $\Delta B/C_{2-1}(i)$ exceda o valor unitário, a segunda alternativa é preferível à primeira. Num outro caso, a primeira será preferível à segunda. Se fossem avaliadas mais de duas alternativas, as comparações aos pares deverão ser feitas com cada uma delas até que se obtenha, após exame de todas as demais, a melhor alternativa.

Esse critério expressa-se na relação (B-C), ou seja:

$$\Delta(B - C)_{2-1}(i) = \Delta B_{2-1}(i) - \Delta C_{2-1}(i)$$

isto é:

$$\Delta(B / C)_{2-1}(i) = \sum_{t=0}^n (B_{2t}(i) - B_{1t}(i))(1+i)^{-t} - \sum_{t=0}^n (C_{2t}(i) - C_{1t}(i))(1+i)^{-t}$$

O critério de decisão estipula que se $\Delta B_{2-1}(i) - \Delta C_{2-1}(i) \geq 0$, então a alternativa 2 tem maior preferência em relação à alternativa 1.

REFERÊNCIA
BIBLIOGRÁFICA

- AKSOY Y., "Interactive Multiple Objective Decision Making: A Bibliography (1965-1988)", Management Science, 16, 1989.
- AMIN S., Franco M. & Sow S., "La planification du sous développement. Critique de l'analyse de projets", Ed. Anthropos, 1975.
- BADINELLI R. & J. Baker, "Multiple attribute decision making with inexact value-function assessment", Decision Sciences, 21, 1990.
- BADRAN Y., "Preference Ranking of Discrete Multiattribute Instances", EJORS, 1988.
- BALESTRA G. & A. Tsoukias, "Multicriteria Analysis by Artificial Intelligence Techniques", EJORS, 41, 5, 1990.
- BANA COSTA, "Readings in Multicriteria Decision Aid", Springer Verlag, 1990.
- BAZERMAN M, et alli, "Reversals of Preference in Allocation Decisions: Judging an Alternative versus Choosing among Alternatives", Science Quarterly, 37, 1992.
- BELLMAN R. & L. Zadeh, "Decision Making in a Fuzzy Environment", Management Science, 17, 1970.
- BELLMAN R.E & M. Giertz, "On the analytic formalism of the theory of fuzzy sets", Information Control, 5, 1973.
- BELTON V. & T. Gear, "On a Short-coming of Saaty's Analytic Hierarchies", Omega, 11, 1983.
- BELTON V. & T. Gear, "The Legitimacy of Rank Reversal", Omega, 13, 1985.

- BEN-ARIEH D. & E. Triantaphyllou, "Quantifying data for Group Technology with Weighted Fuzzy Features", Production Research, 30, 1992.
- BNDES, "Metodologia de Análise de Projetos", BNDES, 1988.
- BONISSONE P., "A Fuzzy Set Based Linguistic Approach: Theory and Applications", (in) Aproximate Reasoning Analysis, Gupta & Sanches (Ed.), North Holland, 1982.
- BORTOLAN G. & R. Degani, "A Review of Some Methods for Ranking Fuzzy Sets", Fuzzy Sets and Systems, 15, 1985.
- BOUYSSOU D. & P. Perny, "Ranking Methods For Valued Preference Relations", EJORS, 61, 1992.
- BRANS J., B. Marschal & P. Vincke, "Promethee. A new Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis", Operations Research, 2, 1984.
- BRANS J. & P. Vincke, "A preference Ranking Organization Method", Management Science, 31, 1985.
- BROWN D.J., "Agregation of preferences", Quant. J. Economics, 89, 1975.
- BUCKLEY J., "Multiple Judge, Multiple Criteria Ranking Problems: a Fuzzy Set Approach", Fuzzy Sets and Systems, 13, 1984.
- BUCKLEY J., "Fuzzy Hierarchical Analysis", Fuzzy Sets and Systems, 17, 1985.
- BUCKLEY J., "Fuzzy Eigenvalues and Input-Output Analysis", Fuzzy Sets and Systems, 34, 1990.
- BURLE G., "The Role of Qualitative Reasoning in Modeling", Artificial Intelligence, Elsevier Science, 1988.
- BUSSEY E.L., "The economic analysis of industrial projects", Ed. Prentice Hall, 1978.
- CAMES J., "Decision Making in Presence of Fuzzy Variables", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 1976.
- CEPAL, "Manual on Economic Development Projects", ONU, 1958.
- CHEN S.H., "Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Sets and Minimizing Sets", Fuzzy Sets and Systems, 17, 1985.
- COHON J.L. & D. Marks, "A review and evaluation of multiobjective programming techniques", Water Resources Research, 11, 1975.
- CONTADOR C. R., "Avaliação Social de Projetos", Atlas, SP, 1981.

- DANIELS R., "Analytical Evaluation of Multi-Criteria Heuristics", Management Science, 4, 1992.
- DANILA N., "Strategic evaluation and selection of R&D projects", R&D Management, 19, 1, 1989.
- DASGUPTA P. & W. Pearce, "Cost Benefit Analysis. Theory and Practice", London MacMillan, 1972.
- DE LUCA A. & S. Termini, "A Definition of Nonprobability Entropy in the Setting of Fuzzy Sets Theory", Information and Control, 20, 1972.
- DIMITROV V., "Group Choise under Fuzzy Information", Fuzzy Sets and Systems, 9, 1983.
- DUBOIS D. & Prade H., "Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications", Academic Press, 1980.
- DUBOIS D. & H. Prade, "Ranking of Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory", Information Science, 30, 1983.
- DUBOIS D. & Prade H., "A Review of Fuzzy Sets Agregation Connectives", Information Science, 36, 1985.
- DUBOIS D. & H. Prade, "Fuzzy Sets, Probability and Measurement", EJORS, 40, 1989.
- DYER J.S., "A Time -Sharing Computer Program for the Solution of the Multiple Criteria Problem", Management Science, 19, 1973.
- DYER J.S. & K. Sarin, "Measurable Multiattribute Value Functions", Operational Research, 27, 1979.
- DYER J., "Remarks on the Analytic Hierarchy Process", Management Science, 36, 3, 1990a.
- DYER J., "A Clarification on the Remarks on the Analytic Hierarchy Process", Management Science, 36, 3, 1990b.
- DYER J.S. et alli, "Multiple criteria decision making, Multiattribute utility theory: the next ten years", Management Science, 38, 5, 1992.
- EFSTATHION J. & Rajkovid V., "Multipleattribute Decision Making Using a Fuzzy Heuristic Approach", IEEE Trans, Man and Cybernetics, 9, 6, 1979.
- EFSTATHION J. & R. Tong, "Ranking Fuzzy Sets: a Decision Theoretic Approach", IEEE Trans. Systems, Man and Cibernetics, 1982.

- EHRlich P.Jacques, "Avaliação e seleção de projetos de investimento. Critérios quantitativos", Ed. Atlas, 1977.
- FARO C., "Critérios Quantitativos da Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento", IPEA/INPES, 1971.
- FARQUAR P.H., "Utility assessment methods", Management Science 30, 1984.
- FISHBURN P.C., "Multiattribute nonlinear utility theory", Management Science, 30, 1985.
- FLEISCHER G., "Teoria da aplicação do capital: um estudo das decisões de investimento", Ed. Edgard Blucher, 1973.
- FRESKA C., "Linguistic Description of Human Judgements", Expert Systems in the Soft Sciences, Gupt S. (Ed.), 1982.
- GABBANI D. & M. Magazine, "An Interactive Heuristic Approach for Multi-Objective Integer Programming Problems", Operational Research Society, 37, 1986.
- GOETSCHEL R. & W. Voxman, "Eigen Fuzzy Number Sets", Fuzzy Sets and Systems, 3, 1985.
- GOLABI K., K Kirwood & A Sicherman, "Selecting a portfolio os solar energy projects using multiattribute theory", Management Science, 27, 1981.
- GOMES L.A. & J. Duarte, "A Avaliação de Projetos com Múltiplos Critérios", Produção, 2, 1990.
- GOMES L.A., "As questões da atribuição de pesos e da escolha dos critérios nas análises de decisões com múltiplo critérios", Revista de Transporte e Tecnologia, 3, 6, 1991.
- HARKER P. & G. Vargas, "The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytical Hierarchy Process", Management Science, 33, 1987.
- HARKER P. & L. Vargas, "Replay to Remarks on The Analytic Hierarchy Process by J.S. Dyer", Management Science, 36, 3, 1990.
- HARTLEY R., "Transmission of Information", The Bell Systems Technical, 7, 1928.
- HARVERGER A.C., "Survey of Literature on Cost-Benefit Analysis for Industrial Project Evaluation", NY, 1968.
- HIPEL K., Randford J. & L. Fang, "Multiple Participant-Multiple Criteria Decision Making", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, 3, 1993.

- HOLANDA N., "Planejamento e Projetos", Ed. Estrela, 1987.
- HUBER G., "Multi-attribute Utility Models: a Review of Field and Field-like Studies", Management Science, 20, 10, 1974.
- HWANG C. & K. Yoon, "Multiple Attribute Decision Making", Springer Verlag, 1981.
- IGNIZIO J., "A review of goal programming: A tools for multiobjective analysis", JORS, 29, 1977.
- ILPES, "Guia para a apresentação de Projetos", Ed. Difel/Forum, SP., 1975.
- IPEA/INPES, "Análise Governamental de Projetos de Investimento no Brasil", RJ, 1974.
- IRVING R. & D. Conrath, "The Social Context of Multiperson, Multiattribute Decision Making", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 18, 3, 1988.
- JACQUET-LAGREZE E. & J. Siskos, "Assessing a Set of Additive Utility Functions for Multiplecriteria Decision Making, The UTA Method", EJORS, 10, 1982.
- JAIN R., "Outline of an Approach for the Analysis of Fuzzy Systems", Journal of Control, 23, 1976.
- JANSEN H., "Project evaluation and discounted cash flow", Ed. Prentice Hall, 1977.
- KACPRZYK J., "Zadeh's Commonsense Knowledge and its use in Multicriteria, Multistage and Multiperson Decision Making", Aproximate Reasoning in Expert Systems, Elsevier Science, 1985.
- KANDEL A., "Fuzzy Mathematical techniques with Applications", Addison Wesley, 1986.
- KAUFMANN A., "Introduction to the Theory of Fuzzy Sets", Academic Press, 1975.
- KEENEY R.L. & H. Raiffa, "Decision with Multiple Objectives: preferences and value tradeoff", John Wiley and Sons, 1976.
- KEVIN S., "Designing with Fuzzy Logic", IEEE, 7, 1990.
- KIM K. & S. Park, "Ranking Fuzzy Numbers With Index of Optimism", Fuzzy Sets and Systems, 35, 1990.
- KING T., "Development Strategy and Investment Criteria: Complementary or Competitive?", Quarterly, J. of Economics, 86, 1966.

- KIRKWOOD C. & R. Sarin, "Preference conditions for multiattribute value functions", Operation Research, 28, 1980.
- KIRKWOOD C, "Estimating The Impact Of Uncertainty on a Deterministic Multiattribute Evaluation", Management Science, 6, 1992.
- KLEMENT E..P., "Operations on Fuzzy Sets and Axiomatic Approach", Informations Sciences, 27, 1984.
- KLIR G., "Where Do We Stand on Measures of Uncertainty, Ambiguity, Fuzziness, and the like?", Fuzzy Sets and Systems, 24, 1987.
- KLIR G., "Fuzzy Sets, Uncertainty and Information", Prentice Hall, 1988.
- KO Chen-En & T. Lin, "Multiple Criteria Decision Making and Expert Systems", Management Science, 17, 1988.
- KOOPMAN B.O., "Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities", (in) Activity Analysis of Production and Allocation, Wiley, 1951.
- KOOPMAN B.O., "The Optimum Distribution of Effort", Operations Research, 1, 2, 1953.
- KOOPMAN B.O., "Fallacies in Operations Research", Operations Research, 4, 4, 1956.
- KOPITTKE B. & Casarotto F., "Análise de investimentos", Ed. Revista das Tribunas, 1990.
- KORHONEN P.H & J. Laakso, "A visual Interactive Method for Solving the Multiple Criteria Problem", EJORS, 24, 1986a.
- KORHONEN P.H., J. Wallenius & S. Zionts, "Solving the Discrete Multiple Criteria Problem Using Convex Cones", Management Science, 30, 1986b.
- KWAKERNAAK H., Joerd J & M. Bass, "Rating and Ranking of Multiple-aspects Alternatives Using Fuzzy Sets", Automatica, 13, 1977.
- LEE E. & R. Li, "Comparison of Fuzzy Numbers Based on the Probability Measure of Fuzzy Events", Computer and Mathematics with Applications, 15, 1988.
- LEFF H., "Escolha Ótima De Investimento Para Países Em Desenvolvimento", IPEA, 16, 3, 1986.
- LEVINE P. & C. Pomerol, "PRIAM, an interactive program for chosing among multiple attribute alternatives", EJORS, 25, 1986.

- LIN T. & Chen-En Ko, "Multiple Criteria Decision Making and Expert Systems", Studies in Management Science, 1989.
- LITTLE I. & J. Mirrlees, "Manual of Industrial Projects Analysis in Developing Countries", OECD, 1968.
- LITTLE I. & J. Mirrlees, "Project Appraisal on Planning for Developing Countries", OECD, Reino Unido, 1974.
- MACCRIMMON K.R., "An Overview of Multiple Objective Decision Making", In "Multiple Criteria Decision Making", Ed. Zeleny M., 1973.
- MAGALHÃES C.M. F., "Técnica de Elaboração e Avaliação de Projetos", Ed. UFMA, 1987.
- MARKOWITZ H., "Portfolio Selection: Diversification on Investment", John Wiley & Sons, 1959.
- MARTEL J. & G. d'Avignon, "Project Ordering with Multicriteria Analysis", EJORS, 10, 1982.
- MATARAZZO B., "Preference ranking global frequencies in multicriterion analysis (PRAGMA)", EJORS, 36, 1988.
- MERKURYEVA G. & N. Borisov, "Decomposition of Multiattribute Fuzzy Utility Functions", Fuzzy Sets and Systems, 24, 1987.
- NARASIMHAN R. & S. Vickery, "An Experimental Evaluation of Articulation of Preferences in Multiple Criterion Decision Making Methods", Decision Sciences, 19, 1988.
- OHAYON P., "Critérios e Bloqueios para Avaliação de Projetos de P&D: um estudo exploratório", Dissertação de Mestrado, FEA/USP, 1983.
- OHAYON P., "Metodologia de Avaliação "ex-post" de Projetos de Pesquisa em Órgãos Governamentais de Coordenação e Apoio à P&D do Brasil e da França", Tese de Doutorado, FEA/USP, 1985.
- ORLOVSKY S., "Decision Making with Fuzzy Preference Relation", Fuzzy Sets and Systems, 1, 1978.
- OSTANELLO A., "Outranking Methods", In "Multiple criteria Decision Methods and Applications", Ed. Spronk J, 1985.
- OZERNOY V.M., "Multiple Criteria Decision Making in the USSR: A Survey", Naval Research Logist., 36, 1988.
- PAPPIS C., "Multi-input Multi-output Fuzzy Systems and the Inverse Problem", EJORS, 28, 1987.

- PARK W.R., "Cost engineering analysis: a guide to economic evaluation of engineering projects". Ed. Wiley Interscience, 1973.
- PASCHE C., "EXTRA: An expert system for multicriteria decision making", EJORS, 52, 1992.
- POMERANZ L., "Elaboração e Análise de Projetos", Ed. HUCITEC, 1988.
- ROMAN D., "Managing Projects", Ed. Elsevier, 1986.
- ROY B., "Classement et choix em présence de points de vue multiples: la méthode ELECTRE", Revue Française de Recherche Opérationelle, 8, 1968.
- ROY B. & P. Bertier, "La méthode ELECTRE II, une application au média-planning", Operational Research, 1973.
- ROY B. & P. Vincke, "Multicriteria Analysis: A survey and New Directions", EJORS, 8, 3, 1981.
- ROY B., "Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision", Ed. Economica, Paris, 1985.
- ROY B., "Des critères multiples em recherche operationelle: pour qui?", EURO, 1987.
- ROY B., "Decision-aid and decision-making", EJORS, 45, 1990.
- SAADE J. & H. Schwarzlander, "Ordering Fuzzy Sets Over the Real Line: An Approach Base on Decision Making Under Uncertainty", Fuzzy Sets and Systems, 50, 1992.
- SAATY T.L., "Exploring the Interface Between Hierarchies, Multiple Objectives and Fuzzy Sets", Fuzzy Sets and Systems, 1, 1978.
- SAATY T.L., "Analytic Hierarchy Process", Mac Graw Hill, 1981.
- SAATY T.L., "Priority Setting in Complex Problems", IEE Transactions of Engineering Management, 3, 1983.
- SAATY T.L., "Scaling the Membership Function", EJORS, 25, 1986a.
- SAATY T.L., "Dependence and Independence: From Linear Hierarchies to Nonlinear Networks", EJORS, 26, 1986b.
- SAATY T.L., "Concepts, Theory and Techniques: Rank Generation, Preservation and Reversal in the Analytic Hierarchy Decision Processes", Decision Science, 18, 1987.

- SAATY T.L., "An Exposition of the AHP in Reply to the paper: Remarks on the Analytic Hierarchy Process", Management Science, 36, 3, 1990a.
- SAATY T.L., "Eigenvector and Logarithmic Least Squares", EJORS, 48, 1990b.
- SAUL N., "Análise de Investimentos", Ed. Ortiz, 1993.
- SHANNON C., "The Mathematical Theory of Communication", The Bell System Technical, 27, 1948.
- SHARPE W. A., "A simplified model for Portfolio Analysis", Management Science, 9, 9, 1963.
- SKALKA J.M., D. Bouyoussou & Y.A Bernabeu, "ELECTRE III et IV; aspect méthodologique et guide d'utilisation", LAMSADE, 25, 1983.
- SOLAND R., "Multicriteria optimization: A general characterization of efficient solutions", Decision Sciences, 10, 1979.
- SOLYMOSI T. & J. Dombi, "A method for determining the weights of criteria: the centralized weights", EJORS, 26, 1986.
- SOTO C. P. & Vieira Attie E., "Análise de Projetos de Investimento", Ed. FGV, 1990.
- SPRONK J. & Fandel G, "Multiple criteria decision methods and applications", Ed. Springer-Verlag, 1985.
- SQUIRE L. & Van der Tak H., "Análise econômica de projetos", Banco Mundial, Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- STEUER R.E., "An interative multiple objective linear programming procedure", In "Multiple Criteria Decision Making", Ed. Zeleny M., 1977.
- STEWART T.J., "Inferences in multiple criteria decision analysis using a logistic regression model", Management Science, 30, 1984.
- STUFFLEBEAM D., et alli, "Educational Evaluation and Decision Making", Itasca, III, 1971.
- SUCHMAN E., "Evaluative Research", Ed. Russell Sage, 1967.
- SUGENO M., "Fuzzy Measures and Fuzzy Integrals", Trans. Management Science, 8, 1972.
- TAKEDA E. & H. Toshio, "Multiple Criteria Decision Problems with Fuzzy Dominations Structures", Fuzzy Sets and Systems, 3, 1980.

- TURN S J. & Krzysztofowicz R., "Reconciling Incoherence in Expressed Preferences", IEE, 8, 1991.
- UNIDO, "Manual de Preparação de Estudos de Viabilidade Industrial", Atlas, 1987.
- VINCKE P., "Multiattribute utility theory as a basic approach", In "Multiple Criteria Decision Methods and Applications" Ed. Spronk J., 1985.
- VINCKE P., "Analysis of Multicriteria Decision Aid in Europe", EJORS, 10, 1986.
- WAGENKNECHT M. & K. Hartmann, "Fuzzy Modelling with Tolerance", Fuzzy Sets and Systems, 1986.
- WALLEN IUS J, "Comparative evaluation of some interative approaches to multicriteria optimization", Management Science, 21, 1975.
- WATSON R., Weiss J. & M. Donnel, "Fuzzy Decision Analysis", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetic, 9, 1979.
- WILLIAMS T., "Fuzzy Logic Simplifies Complex Control Problems", Computer Design, 1, 1991.
- WINKLER R., "Decisions Modeling and Rational Choise AHP and Utility Theory", Management Science, 36, 3, 1990.
- WOILER S., "Técnica de simulação aplicada na avaliação, seleção e ordenação de projetos", Engenharia de Produção, 2, 1975.
- WOILER S. & W.F. Mathias, "Projetos, Planejamento, Elaboração e Análise", Ed. Atlas, 1985.
- YAGER R., "On a General Class of Fuzzy Connectives", Fuzzy Sets and Systems, 1980.
- YAGER R., "A Procedure for Ordering Fuzzy Subsets on the Unit Interval", Information Sciences, 24, 1981.
- YAGER R., "Forms of Multicriteria Decision Functions and Preferences Information Type", Apropriating Reasoning in Expert Systems, Elsevier Science, 1985.
- YUAN Y., "Criteria for Evaluation Fuzzy Rankig Methods", Fuzzy Sets and Systems, 44, 1991.
- ZADEH L.A., "Fuzzy Sets", Information and Control, 8, 1965a.
- ZADEH L.A., "Fuzzy Sets and Systems", System Theory, Polytechnic Press, 1965b.
- ZELENY M., "Multiple Criteria Decision Making", Ed. Mc.Graw Hill, 1982.

ZIMMERMANN H. J., "Fuzzy Sets Theory and Applications",
Kluwer Nijhoff, 1985.

ZIONTS S. & Wallenius J., "An interactive programming method
for solving the multiple criteria problem", Management
Science, 22, 1976.

ZIONTS S. & Wallenius J., "An interactive multiple objective
linear programming method for a class of underlying
nonlinear utility functions", Management Science, 29,
1983.