

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO E GESTÃO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL
COM APOIO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PROMETHEE**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

LUCIANA HAZIN ALENCAR

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida

Recife, outubro de 2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE

LUCIANA HAZIN ALENCAR

**“AVALIAÇÃO E GESTÃO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL
COM APOIO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PROMETHEE”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata LUCIANA HAZIN ALENCAR **APROVADA COM DISTINÇÃO.**

Recife, 31 de outubro de 2003

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Profª. VILMA MARIA VILLAROUÇO SANTOS, Doutor (UFPE)

Prof. CARLOS FRANCISCO SIMÕES GOMES, Doutor (UFRJ)

A meus pais, *Ana Lúcia e Adalmi*,
com todo carinho, por todo amor e
incentivo.

AGRADECIMENTOS

É sempre arriscado citar nomes quando queremos expressar nossa gratidão às pessoas que de alguma forma nos ajudaram a superar obstáculos, a vencer desafios e novamente nos animam a continuar o caminho, nem sempre florido, que leva à realização pessoal e profissional. Por isso mais do que simplesmente agradecer, quero compartilhar essa conquista com todos os que de uma forma ou de outra contribuíram para que ela acontecesse:

- Minha família, em especial meus pais e meu irmão Marcelo, amigo e confidente de todas as horas.
- Pedro, que me apoiou e incentivou nos momentos de dificuldade.
- Prof. Adiel Teixeira de Almeida, orientador e amigo, que com seu jeito de ser peculiar vem me impulsionando a trilhar novos caminhos e a superar desafios.
- Prof. Beda Barkokébas, que já na graduação em Engenharia Civil, orientou-me pelos caminhos da Investigação Científica, incentivando-me a continuar na atividade.
- Amigos que reclamaram da minha ausência, justificada pela necessidade de estudar para cumprir os prazos exigidos.
- Todos os que fazem o PPGEP/UFPE, pela disponibilidade e presteza;
- Colegas do curso com os quais compartilhei dificuldades e agora também vitórias.

RESUMO

A indústria da construção civil possui grande importância sócio-econômica e estratégica para o desenvolvimento do país. A crescente competitividade no setor e o aumento das exigências dos clientes finais têm pressionado as empresas a oferecer produtos de melhor qualidade, executados dentro de prazos e custos cada vez menores, o que nem sempre é tarefa fácil. Daí a importância da gestão do projeto.

A questão básica a ser tratada é a forma como o controle e acompanhamento das atividades contidas no cronograma do projeto são realizados, uma vez que dificilmente consegue-se aplicar o planejamento a longo prazo sem efetuar qualquer alteração. Muitas vezes os empreendimentos são executados com base em um planejamento excessivamente informal o que acarreta um desconhecimento das tarefas a serem executadas e das providências a serem tomadas tanto pela administração da obra quanto pelos responsáveis pela execução do trabalho.

Diante da complexidade do problema, o modelo foi apresentado sob o enfoque da problemática de escolha, envolvendo as restrições impostas ao problema. Portanto, este trabalho apresenta um estudo de caso, objetivando apresentar um modelo mais estruturado para o processo decisório no que diz respeito à gestão de projeto na construção civil, através da aplicação de um modelo com apoio do método multicritério PROMETHEE V, visando selecionar um conjunto de atividades às quais devem ser dispensadas uma atenção especial, dentro do período em estudo, de acordo com cronograma preestabelecido.

ABSTRACT

The civil construction industry has great social, economic and strategic relevance for the development of the country. The increasing competition in the sector and higher standards set by the final clients have pressured the enterprises to offer products with the best quality, built within the established time and with lower costs, which is not always an easy task. This is why the management project is of great importance.

The basic question to be considered is how the control and monitoring of the activities contained in the project's schedule are accomplished, since long term planning hardly ever occurs without any changes. Many times the undertakings are executed based on extremely informal planning, which causes a lack of knowledge of the tasks to be performed and of the necessary steps to be taken by the building management and by the ones responsible for carrying out the job.

Having faced the complexity of the problem, the model was presented focusing on the choice problematic, including the constraints imposed to the problem. Thus, this project presents a more structured model for the decision-making process with regards to project management in civil construction, through the application of the PROMETHEE V multicriteria decision aid method as a support in one model, aiming at selecting a set of activities which deserve special attention, during the time studied, according to the schedule established and the criteria of the decision maker.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Relevância do estudo.....	3
1.2. Objetivo do Trabalho.....	4
1.3. Estrutura da dissertação	4
2. BASE CONCEITUAL.....	6
2.1. Apoio Multicritério à Decisão	6
2.1.1. Visão Geral	6
2.1.2. Conjunto de ações	8
2.1.3. Atores do processo decisório	9
2.1.4. Problemáticas de referência	9
2.1.5. Modelagem das preferências.....	10
2.1.5.1. Sistemas de relações de preferências	11
2.1.5.2. Estruturas de preferências	14
2.1.6. Conceitos básicos utilizados	15
2.1.6.1. Critério	15
2.1.6.2. Relação de dominância	16
2.1.6.3. Ação eficiente	16
2.1.6.4. Limiares de indiferença e de preferência	17
2.1.6.5. Taxa de substituição (compensação).....	17
2.1.7. Métodos multicritério.....	17
2.1.7.1. Abordagem do critério único de síntese.....	18
2.1.7.2. Abordagem do julgamento interativo	19
2.1.7.3. Abordagem da sobreclassificação (outranking ou surclassement)	20
2.1.7.4. Informações intercritérios	21
2.2. Gestão de Projeto	38
2.2.1. Visão geral	38
2.2.2. Ciclo de vida de um projeto	39

2.2.2.1.Fases do ciclo de vida de um projeto	40
3. MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO	49
3.1 Pesquisa Bibliográfica	49
3.1.1.Gestão de projeto na construção civil	49
3.1.2.Uso da decisão multicritério no gerenciamento de projeto.....	53
3.2 Descrição do modelo de gerenciamento de projeto	55
3.2.1.Modelo Proposto	55
3.2.2.Modelo Proposto adaptado.....	56
4. APLICAÇÃO DO MODELO.....	59
4.1.Sistema de apoio à decisão.....	59
4.2.Descrição da empresa	61
4.2.1.Estrutura do gerenciamento de projeto da empresa	62
4.2.2.Identificação dos atores.....	63
4.2.3.Identificação da problemática	64
4.3.Aplicação - Mês 1	65
4.3.1.Levantamento das atividades e dos dados referentes.....	65
4.3.2.Determinação dos critérios.....	66
4.3.3.Avaliação das alternativas.....	70
4.3.4.Determinação do método multicritério	71
4.3.5.Aplicação do método PROMETHEE.....	73
4.3.6.Resultado comparativo.....	84
4.4.Aplicação - Mês 2	84
4.4.1.Levantamento das alternativas	84
4.4.2.Avaliação das alternativas.....	84
4.4.3.Aplicação do método multicritério	86
4.4.4.Resultado comparativo.....	90
4.5.Simulação de Parâmetros.....	91
4.6.Comentários sobre a aplicação	100
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	102
5.1. Conclusões.....	102
5.2. Sugestões para futuros trabalhos.....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
APÊNDICE.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Gráfico de sobreclassificação	28
Figura 2.2: Projeção no plano gaia	35
Figura 2.3- Stick de decisão e eixo de decisão do PROMETHEE	36
Figura 2.4- Espaço de liberdade	37
Figura 2.5: Processo de planejamento de projeto	42
Figura 3.1. - Modelo de gerenciamento de projetos	56
Figura 3.2. - Modelo adaptado para gestão de projetos	58
Figura 4.1. – Tela inicial do Sistema de Apoio a Decisão	60
Figura 4.2. – Formulário de entrada de dados e saída de resultados.....	60
Figura 4.3. - Plano GAIA - mês1.....	82
Figura 4.4. - Plano GAIA - mês 2.....	89
Figura 4.5. - Plano GAIA - simulação1.1	92
Figura 4.6. - Plano GAIA - simulação 1.2	94
Figura 4.7. - Plano GAIA - simulação 2.1	95
Figura 4.8. - Plano GAIA - simulação 2.2	97
Figura 4.9. - Plano GAIA - simulação 3.1	98
Figura 4.10. - Plano GAIA - simulação 3.2	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Situações básicas de preferência para comparar duas ações potenciais.....	12
Tabela 2.2 - Situações consolidadas de preferências para comparar duas ações potenciais	13
Tabela 2.3 - Estruturas básicas de sistemas de relações de preferências sem incomparabilidade	14
Tabela 2.4 - Estruturas básicas de sistemas de relações de preferências com incomparabilidade	15
Tabela 2.5 - Tabela de avaliação	23
Tabela 2.6 - Critério Generalizado	25
Tabela 2.7. - Matriz de avaliação	34
Tabela 4.1. - Nível de preferência associado ao critério recursos humanos.....	67
Tabela 4.2. - Nível de preferência associado ao critério recursos materiais disponíveis	68
Tabela 4.3. - Nível de preferência associado às condições físicas de realização das atividades	69
Tabela 4.4. - Nível de preferência associado às condições climáticas	69
Tabela 4.5. Codificação de alternativas.....	70
Tabela 4.6. Codificação de critérios	70
Tabela 4.7. - Tabela de Avaliação 1	71
Tabela 4.8 - Escala para julgamento da importância do critério recursos humanos	73
Tabela 4.9 - Escala para julgamento da importância do critério condições físicas de realização da atividade.....	73
Tabela 4.10 - Escala para julgamento da importância do critério condições climáticas.....	73
Tabela 4.11 - Escala para julgamento da importância do critério recursos materiais	74
Tabela 4.12 - Tabela de avaliação 2	74
Tabela 4.13 - Informações adicionais.....	75
Tabela 4.14 - Índices de preferência, fluxos positivo, negativo e líquido.....	80
Tabela 4.15 - Resultado final do PROMETHEE II.....	80
Tabela 4.16. - Análise de sensibilidade 1 - mês1	82
Tabela 4.17 - Análise de sensibilidade 2 - mês 1	83
Tabela 4.18. Codificação de alternativas.....	85
Tabela 4.19. - Tabela de Avaliação 1	85
Tabela 4.20 - Tabela de avaliação 2	86
Tabela 4.21 - Índices de preferência, fluxos positivo, negativo e líquido.....	87

Tabela 4.22 - Resultado final do PROMETHEE II.....	87
Tabela 4.23. - Análise de sensibilidade 1 - mês 2	89
Tabela 4.24. - Análise de sensibilidade 2 - mês 2	90
Tabela 4.25. - Resultado da simulação 1 - mês 1	92
Tabela 4.26. - Resultado da simulação 1 - mês 2	93
Tabela 4.27. - Resultado da simulação 2 - mês 1	95
Tabela 4.28. - resultado da simulação 2 - mês 2.....	96
Tabela 4.29. - Resultado da simulação 3 - mês 1	97
Tabela 4.30. - resultado da simulação 3 - mês 2.....	99

1. INTRODUÇÃO

A indústria da Construção Civil tem grande importância sócio-econômica e estratégica para o desenvolvimento do país. Sendo um setor dos mais dinâmicos da economia brasileira, a cadeia produtiva da construção civil tem participação de 13,2% na formação do produto interno bruto (PIB), conforme revelam os resultados de uma pesquisa realizada em 2001 pela Fundação Getúlio Vargas (Gazeta Mercantil, 2002). Essa cadeia é formada por construtoras (73,45% de participação), fornecedores de matérias-primas e equipamentos (20,34%), assim como por empresas prestadoras de serviços de apoio (6,21%). Importante é destacar que, o macrosetor da construção emprega diretamente cerca de 5,4 milhões de pessoas e importa apenas 7,1% dos insumos que utiliza. Por outro lado, tem uma alta participação tributária, arcando com 26% dos impostos sobre os produtos para consumo intermediário.

Numa visão macrosetorial pode-se classificar a indústria da construção civil em três setores distintos: construção pesada, montagem industrial e edificações. Além destes três, pode-se ainda dizer que existe um outro setor de obras especiais e/ou auxiliares que engloba atividades muito diferenciadas, dentre as quais destacam-se as relacionadas a projetos, ressaltando-se o estreito relacionamento deste com os outros três segmentos.

O setor considerado como Construção Pesada compreende as obras viárias, hidráulicas, de urbanização e obras diversas. Cada uma dessas categorias é formada por subcategorias de obras definidas em termos de sua finalidade ou função. Pode-se dizer que as principais atividades deste setor compreendem a construção de pontes, elevados, contenção de encostas, túneis, captação, adução, tratamento e distribuição de água, redes coletoras de esgotos emissários, barragens hidrelétricas, dutos e obras de tecnologia especial como as usinas atômicas, fundações especiais, perfurações de poços de petróleo e gás.

De acordo com a classificação aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, o setor de Montagem Industrial está incluído na categoria de Obras de Sistemas Industriais, abrangendo a implantação de indústrias de transformação, sistemas de exploração e transporte de recursos naturais, sistema de geração e transmissão de energia, sistema de comunicação e outras obras de sistemas industriais.

Diferentemente dos setores anteriormente citados, as principais atividades do setor de edificações compreendem a construção de edifícios residenciais, comerciais, de serviços e institucionais, assim como, a construção de edificações modulares verticais e horizontais; como exemplos, podem-se citar os conjuntos habitacionais e as edificações industriais. As

empresas que se autoclassificam nessa área, podem ainda, exercer trabalhos complementares e auxiliares, como reformas e demolições.

Em relação aos setores de construção pesada e montagem industrial, o de edificação é o que apresenta maior heterogeneidade interna, marcada pela presença de empresas de diferentes portes, com predominância daquelas de pequeno e médio, inclusive de microunidades com precária e, em muitos casos, sem nenhuma organização industrial.

Segundo a caracterização aqui considerada, a especialização dentro do setor de edificações tende a seguir uma orientação que prioriza mais o porte do que, propriamente, o tipo ou finalidade do produto. Desta forma, as grandes empresas têm condições de executar qualquer tipo de obra, orientando-se por uma estratégia de mercado. Já as pequenas empresas não têm essa finalidade e se mantêm na realização de obras de pequeno porte, de natureza limitada.

Altos índices de rotatividade de pessoal são peculiares ao trabalho de edificações. Os trabalhadores deixam seus empregos sem terem conhecido todos os detalhes da organização diária do trabalho, forçando os empresários a formar continuamente novos empregados; muitos destes, por sua vez, deixam o emprego no momento em que passam a fazer parte integrante de uma equipe, o que diminui as possibilidades de se desenvolver, entre os operários, relações humanas mais intensas.

Não obstante, nas empresas do setor e em particular nas de construção de edifícios, freqüentemente são executados serviços por sub-empresas, contratando-se empresas especializadas nas diversas etapas da obra.

A disposição das obras e as adaptações que se fazem em cada local dependem diretamente da topografia do lugar, dos tipos de trabalhos a serem executados, das máquinas e ferramentas disponíveis, da organização do serviço, do volume da mão-de-obra e de alguns outros elementos.

No ambiente da construção civil, as obras são consideradas eventos temporários, gerando pouco empenho para investir tempo e recursos na implantação de melhorias perenes. No entanto, pode-se dizer que os canteiros estão melhores do que há 5 ou 10 anos atrás.

Técnicas de planejamento e controle têm sido apontadas ao mesmo tempo, ora como causadoras fundamentais do sucesso do empreendimento, ora como motivos principais do fracasso (Vargas, 1998). Segundo Kumaraswamy (1996), um gerenciamento bom ou de sucesso é uma condição necessária, mas não suficiente para um projeto de sucesso. Por outro lado, falhas de projeto nem sempre implicam em um mau gerenciamento.

O gerenciamento de projetos ainda é uma das áreas mais abandonadas na construção civil, conforme afirmam Koskela et al. (1997), por ser uma área onde impera o caos e a improvisação, principalmente no que se refere ao planejamento e controle na construção.

De uma maneira geral, o planejamento e gerenciamento do empreendimento, dentre os instrumentos falhos da construção civil, têm sido apontados como a origem de vários outros problemas encontrados nas obras. De tal constatação, deduz-se a necessidade de aprofundar os estudos sobre a gestão de projeto² da construção civil, enfocando-se especificamente a parte de controle e acompanhamento das atividades, fazendo-se replanejamentos quando necessário, de forma a identificar os objetivos da empresa estabelecidos na fase de definição do projeto.

1.1. Relevância do estudo

Diante das problemáticas atuais, das flutuações da economia e da conscientização crescente do consumidor dos problemas decorrentes do elevado custo e da não-qualidade dos produtos, uma maior atenção dos empresários da construção civil tem sido dirigida para o gerenciamento de projeto (Limmer, 1997). Embora não seja conclusivo, alguns estudos mostram que dentre os instrumentos falhos no contexto da construção civil, o gerenciamento da obra em si e, em maior âmbito, o planejamento do empreendimento são apontados como sendo a origem de todos os outros problemas encontrados nas obras.

Daí a importância do estudo aqui apresentado que teve por objetivo demonstrar como a implantação de um processo mais estruturado de gestão do projeto, levando-se em consideração as preferências do decisor, pode levar a resultados satisfatórios. Algumas conclusões deste estudo não poderão ser generalizadas, por se tratar de um caso único, mas podem mostrar uma parte do benefício resultante da implantação de um sistema de gerenciamento para empresas de construção. No caso específico deste trabalho o sistema de gerenciamento foi aplicado no controle do cronograma da obra e nas decisões a serem tomadas em função das circunstâncias atuais em que se encontra a obra, uma vez que a programação feita no planejamento a longo prazo está repleta de incerteza.

A importância do modelo aplicado reside principalmente em mostrar como os gerentes responsáveis pelo controle e acompanhamento do projeto - no que diz respeito a priorizar

² O gerenciamento de projeto é abordado na literatura como sistema de produção do tipo grandes projetos (Gaither & Frazier, 2001; Slack et al., 1995).

atividades à luz dos critérios por eles estabelecidos - podem utilizar os métodos de apoio multicritério à decisão para dar suporte às suas decisões, juntamente com a técnica PERT/CPM (Program Evaluation and Review Technique – Critical Path Method). A associação desses procedimentos permite tratar o problema de forma mais realista e colaborar para que o construtor alcance os seus objetivos: construir com a mais alta qualidade e o mais baixo custo, dentro do prazo determinado.

1.2. Objetivo do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo geral aplicar as técnicas multicritério à gestão de projeto na construção civil, apresentando uma forma mais estruturada do processo decisório no que diz respeito à priorização das atividades a serem executadas na obra em estudo.

Para a sua efetivação foram identificados os problemas existentes no gerenciamento do projeto estudado, mais especificamente no que concerne ao controle e acompanhamento das atividades planejadas e na forma como são feitos os replanejamentos. Também foram detectadas e analisadas as causas da existência de tais problemas, assim como determinados os critérios considerados relevantes pela empresa e as restrições impostas durante a seleção das atividades. Após essa etapa, podem-se utilizar os métodos multicritério como instrumento para apoiar o decisor na difícil tarefa de tomar decisões em relação à priorização de atividades, considerando-se os fatores descritos no item anterior.

Como última etapa do estudo, foram analisadas e avaliadas as consistências dos resultados obtidos, verificando-se então a robustez do modelo.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em seis capítulos:

- O capítulo I apresenta uma visão geral da indústria da construção e da situação do gerenciamento do projeto nesse setor; também define o objetivo do estudo e destaca sua relevância.
- A base conceitual que embasa este trabalho foi desenvolvida no capítulo II, no qual também são discutidas questões gerais inerentes à decisão multicritério e ao gerenciamento de projeto.
- No capítulo III é apresentada a pesquisa bibliográfica - relativa ao gerenciamento de projeto na construção civil e ao uso da decisão

multicritério na gestão de projeto - e o modelo de gerenciamento de projeto com apoio do método multicritério utilizado neste estudo.

- O capítulo IV trata da aplicação do modelo proposto em um estudo de caso realizado em uma construção vertical residencial, com o intuito de apoiar os gerentes durante o controle e acompanhamento do projeto.
- Finalmente, no capítulo V são apresentadas as conclusões do estudo e algumas recomendações para futuros trabalhos.

2. BASE CONCEITUAL

Este capítulo apresenta a base conceitual que dá suporte ao desenvolvimento deste trabalho, sendo tratados os conceitos relativos a Apoio Multicritério à Decisão, destacando-se os métodos: Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), idealizado pela Escola Americana, e os métodos de Sobreclassificação (conhecidos como *Outranking* ou *Surclassement*²) da Escola Francesa. Foram abordados igualmente alguns conceitos relevantes sobre a Gestão de Projeto.

Apoio Multicritério à Decisão

2.1.1. Visão Geral

A maioria dos problemas econômicos, industriais, financeiros ou políticos são problemas de decisão multicritério. Segundo Roy (1996), decisões são tomadas quando escolhemos fazer ou não fazer algo. Essas decisões relatam os objetivos das organizações, sejam planos de crescimento, implementação de estratégias, desenvolvimento político, dentre outros fatores que podem ser considerados.

Conforme Bana e Costa (1988) afirma, a tomada de decisão é de fato parte integrante da vida cotidiana, mas é também uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, diante da qual tem-se que escolher não apenas entre possíveis alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações. Por isso, é preciso considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a ser tomada.

O apoio multicritério à decisão oferece ao decisor algumas ferramentas capazes de torná-lo apto a resolver problemas levando em consideração os mais diversos pontos de vista, muitas vezes contraditórios (Vincke, 1992). Pode ser definido como a atividade de um analista, baseado em modelos claramente identificados e suficientemente formalizados, que procuram por elementos de respostas às questões postas pelos decisores ao longo do processo levando, muitas vezes, a recomendações de ação ou simplesmente a um favorecimento de uma evolução do processo mais consistente com os objetivos e sistemas de valores dos decisores (Roy, 1996).

² Essa palavra, de origem francesa, foi traduzida para o inglês como *outranking*. Em português existem traduções diferenciadas, tais como: subordinação, superação, prevalência e sobreclassificação

Os métodos de decisão multicritério não visam encontrar uma solução que seja uma verdade única representada pela ação selecionada, e sim apoiar o processo de decisão. Portanto, tão importante quanto a qualidade da informação disponível é a forma de tratamento analítico aplicada (Gomes, 1998).

Os métodos multicritério são apontados por Zeleny (1982) como instrumentos de apoio à tomada de decisão definida como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflitantes, que impedem a presença da “solução ótima” e conduzem à busca da “solução de melhor compromisso”. Daí decorre a sua importância.

Segundo Gomes et al. (2002) o apoio multicritério à decisão permite que se tenha uma visão prescritiva e construtiva ou aproximação criativa (Roy, 1977 e 1985) dos problemas. Na visão prescritiva, fazem-se modelos que são apresentados ao decisor e este decide se os aceita ou não. A visão construtiva consiste em construir modelos utilizando o processo decisório; sua estruturação avança de forma interativa e coerente com os objetivos e valores do decisor. Orzenoy (1992) apresenta uma proposta de metodologia, para o apoio à decisão, dividida em três etapas:

1. Estruturação do problema de decisão: inclui a especificação dos objetivos e atributos, a geração de alternativas e a avaliação das conseqüências de cada alternativa em termos de múltiplo critério;
2. Formulação do modelo de preferência: um modelo de preferência é desenvolvido de forma a representar os valores do decisor e elicitar a informação relevante sobre as suas preferências;
3. Avaliação e comparação das alternativas: fornece a ordenação das alternativas de decisão requisitadas no problema.

A principal dificuldade encontrada em problemas de decisão multicritério consiste no fato de não serem eles matematicamente bem definidos, ou seja, não têm uma solução ótima. A personalidade do decisor, as circunstâncias que envolvem o problema e sua forma de apresentação são fatores que influenciam decisivamente no processo e conseqüentemente, no resultado obtido. Normalmente, não existe uma solução ótima, melhor que as demais, considerados simultaneamente, todos os critérios. Por outro lado, algumas metodologias de Decisão Multicritério transformam o problema inicial num problema de otimização, agregando todos os critérios em uma única função analítica que seria otimizada pela escolha da ação (Vincke, 1992).

2.1.2. Conjunto de ações

A definição do conjunto de ações não depende apenas do problema a solucionar e dos decisores, mas se relaciona fortemente com todos os elementos que influenciam o processo de tomada de decisão: definição dos critérios, modelagem das preferências, estado das variáveis do problema e a escolha do método de decisão a utilizar. Além disso, muitas vezes, em face da dificuldade de definição *a priori*, o conjunto de ações é definido progressivamente ao longo do processo (Vincke, 1992).

Uma ação, ou alternativa, constitui uma das possibilidades de escolha do agente de decisão, identificada no início, ou mesmo no decorrer de um processo decisório, podendo vir a tornar-se uma solução para o problema em estudo. Para Gomes et al. (2002), uma ação pode ser definida como:

- Real: quando se refere a um projeto completamente elaborado que pode ser materializado.
- Fictícia: quando corresponde a um projeto idealizado, não completamente elaborado ou, ainda, uma construção mental.
- Realista: quando é factível ou viável.
- Irrealista: quando não é factível ou viável.

Segundo Roy (1996) chama-se de *ação potencial*, toda ação real ou fictícia julgada provisoriamente realista por pelo menos um dos atores do processo, decisor ou analista.

Como o problema de decisão pode ser modelado utilizando-se vários conjuntos de ações diferentes, e suas características dependem do conjunto selecionado, não existe a melhor definição do referido conjunto que passa a ser denominado *A* (Vincke, 1992).

Tal conjunto pode ser definido da seguinte forma:

- Por uma lista dos seus elementos quando é finito e suficientemente pequeno para que possa ser enumerado;
- Por propriedades que o caracterizem quando é infinito, ou muito grande para ser enumerado (ibidem).

A identificação da ação envolve ainda os conceitos de globalizado ou fragmentado. Uma ação é dita globalizada, quando é mutuamente exclusiva em relação a todas as outras. No caso contrário, quando a ação é somente parte de uma alternativa específica incompleta, ela é dita fragmentada (Roy, 1996).

2.1.3. Atores do processo decisório

O conceito de atores engloba indivíduos ou grupos de pessoas, perfeitamente identificáveis, que participam direta ou indiretamente do processo decisório. De acordo com Roy (1996), dentre os atores, podem-se identificar os decisores, aos quais atividade de apoio está especialmente dirigida, e os analistas de decisão.

Para Gomes et al. (2002), os seguintes atores estão envolvidos no processo decisório:

- Decisor: exerce influência no processo de decisão de acordo com o juízo de valor que representa e/ou relações que se estabeleceram. São os homens e/ou instituições que estabelecem os limites do problema, especificam os objetivos a serem alcançados e emitem julgamentos. São aqueles sobre os quais normalmente recai o financiamento e/ou a responsabilidade legal/moral pela escolha.
- Facilitador: é um líder experiente que deve focalizar a sua atenção na resolução do problema, coordenando os pontos de vista dos decisores mantendo o decisor motivado e destacando o aprendizado no processo de decisão. Seu papel é esclarecer e modelar o processo de avaliação e/ou negociação conducente à tomada de decisão, mantendo sempre uma postura neutra em relação ao processo decisório.
- Analista: é o que faz a análise, auxilia o facilitador e o decisor na estruturação do problema e identificação dos fatores do meio ambiente que influenciam na sua evolução, solução e configuração.

Existem também os "grupos de pressão", ou *stakeholders*, na terminologia consagrada em inglês, que, mesmo não tendo responsabilidade formal pela escolha, conseguem, muitas vezes, por sua ação, participar ativamente do processo decisório. Além destes, há o grupo dos terceiros, que são aqueles grupos que não participam ativamente do processo de decisão, sendo, no entanto, afetados pelas conseqüências que dele decorrem, de maneira direta ou indireta. Suas preferências precisam, portanto, ser consideradas pelos decisores (Roy, 1996).

2.1.4. Problemáticas de referência

No contexto do apoio à decisão, o resultado pretendido em determinado problema pode ser identificado entre quatro tipos de problemáticas de referência, descritas a seguir:

- Problemática de Escolha - $P\alpha$: tem como objetivo esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto tão restrito quanto possível, tendo em vista a escolha final de uma única ação;

- Problemática de Classificação - $P\beta$: tem como objetivo esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas *a priori* com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações;
- Problemática de Ordenação - $P\gamma$: tem como objetivo esclarecer a decisão por um arranjo obtido pelo reagrupamento de todas ou parte (as mais satisfatórias) das ações em classes de equivalência. Essas classes são ordenadas de modo completo ou parcial, conforme as preferências;
- Problemática de Descrição - $P\delta$: tem como objetivo esclarecer a decisão a ser tomada, por uma descrição, em linguagem apropriada, das ações e de suas conseqüências (Gomes et al., 2002).

Em alguns casos, o resultado pretendido não é a seleção de uma ação particular ou a ordenação das ações partindo da melhor para pior, mas ao contrário, a seleção de um subconjunto de ações. A problemática não é mais do tipo P_α ou P_γ , mas de um tipo mais complexo, $P_{\alpha, \theta/n}$ (Bana e Costa, 1993 *apud* Brans & Mareschal, 2002). Ela consiste em escolher θ ações entre n , sendo o número θ fixado com antecedência ou a determinar, segundo o caso.

No entender de Roy (1996) a maneira de formular o problema de decisão depende de se precisar a natureza do que se procura e do espírito da recomendação, podendo ser escolhida uma problemática, um caso especial de uma delas, uma seqüência de mais de uma problemática ou até mesmo uma mistura diferente, quando não se verificar nenhuma das opções citadas.

2.1.5. Modelagem das preferências

Com o objetivo de apoiar o processo decisório, torna-se necessário estabelecer certas condições que possam expressar as preferências do decisor quando da comparação entre duas ações potenciais. Essas condições são definidas por relações binárias que fazem a ligação entre dois objetos ou descrevem a presença ou ausência de certa propriedade (Roy, 1996).

A relação binária H sobre um conjunto de ações A pode apresentar, de acordo com Gomes et al. (2002) e Roy (1996) as seguintes propriedades:

- reflexividade - $\forall a \in A, aHa$;
- irreflexividade - $\forall a \in A, \text{não } aHa$;
- simetria - $\forall a, b \in A, aHb \Rightarrow bHa$;

- assimetria - $\forall a, b \in A, aHb \Rightarrow \text{não } bHa$;
- transitividade - $\forall a, b, c \in A, [aHb \text{ e } bHc] \Rightarrow aHc$.

2.1.5.1. Sistemas de relações de preferências

A esse respeito Roy (1996) afirma que as preferências do decisor são modeladas através de sistemas de relações de preferências, sendo os principais o Sistema Básico de Relações de Preferência (*BSPR – Basic System of Preference Relations*) e o Sistema Consolidado de Relações de Preferência (*CSPR – Consolidated System of Preference Relations*).

Quando o decisor se depara com a necessidade de definir suas preferências entre duas alternativas a e a' de um conjunto A de ações, são identificadas as seguintes situações no sistema básico (BSPR): Indiferença (I), Preferência Estrita (P), Preferência Fraca (Q) e Incomparabilidade (R), conforme apresentadas na tabela 2.1.

A teoria de decisão clássica, idealizada pela Escola Americana, considera apenas duas situações como sendo básicas: a Indiferença e a Preferência Estrita. As situações de Incomparabilidade ou Preferência Fraca não existem ou estão combinadas a outras situações. Roy (1996) coloca que esta visão não incorpora a existência de situações nas quais o decisor ou o analista apresenta um dos seguintes comportamentos:

- Não é capaz de decidir: existência de dados subjetivos ou mal coletados;
- Não sabe como decidir: o analista não é sensível às preferências do decisor ou o decisor está inacessível no momento;
- Não deseja decidir: opta por continuar o desenvolvimento dos estudos deixando a definição para uma etapa posterior, quando então terá mais condições de realizá-la.

Tabela 2.1 – Situações básicas de preferência para comparar duas ações potenciais

Situação	Definição	Propriedades
Indiferença (I)	Existência de razões claras e positivas que justificam a equivalência entre duas ações.	I: relação reflexiva e simétrica
Estrita Preferência (P)	Existência de razões claras e positivas que justificam uma preferência significativa em favor de uma das duas ações identificadas .	P: relação assimétrica (não reflexiva)
Fraca Preferência (Q)	Existência de razões claras e positivas que invalidam a estrita preferência em favor de uma das duas ações identificadas, mas que são insuficientes para deduzir uma estrita preferência em favor da outra ação ou indiferença entre as duas ações, não permitindo, deste modo, diferenciar nenhuma das duas situações precedentes.	Q: relação assimétrica (não reflexiva)
Incomparabilidade (R)	Ausência de razões claras e positivas que justificam quaisquer das três situações precedentes.	R: relação simétrica (não reflexiva)

Adaptado de Roy (1996)

O Sistema Consolidado descrito por Roy (1996) introduz outras situações além das quatro caracterizadas pelos agrupamentos ou combinações das situações básicas, sendo conhecidas como situações consolidadas de preferências assim representadas: Não-Preferência (\sim), Preferência (\succ), J-Preferência (J), K-Preferência (K) e Sobreclassificação (S), mostradas na tabela 2.2, a seguir.

Tabela 2.2 - Situações consolidadas de preferências para comparar duas ações potenciais

Situação	Definição	Propriedades
Não – Preferência (\sim)	Corresponde a uma ausência de situações claras e positivas para justificar a preferência estrita ou preferência fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolida as situações de indiferença ou de incomparabilidade, sem ser capaz de diferenciá-las.	$\sim: a \sim b \leftrightarrow aIb \text{ ou } aRb$
Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma (bem identificada) das duas ações e, portanto, consolida as situações de preferência estrita e preferência fraca, sem no entanto possibilitar a diferenciação entre elas.	$\succ: a \succ b \leftrightarrow aPb \text{ ou } aQb$
J-Preferência (Presunção de Preferência)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência fraca, sem se preocupar o quão fraca ela é, em favor de uma (bem identificada) das duas ações, ou no limite, a indiferença entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.	$J: aJb \Rightarrow aQb \text{ ou } aIb$
K – Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita em favor de uma (bem identificada) das duas ações, ou a incomparabilidade entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita e incomparabilidade.	$K: aKb \Rightarrow aPb \text{ ou } aRb$
Sobreclassificação (<i>Outranking</i>)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam tanto a preferência ou a J-preferência em favor de uma (bem identificada) das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença. Uma ação a sobreclassifica b (aSb) se a é considerada ao menos tão boa quanto b .	$S: aSb \Rightarrow aPb \text{ ou } aQb \text{ ou } aIb$

Adaptado de Roy (1996)

2.1.5.2. Estruturas de preferências

Segundo Vincke (1992) a maioria dos estudos sobre modelagens de preferências, trata principalmente de situações envolvendo: Preferência (P), Indiferença (I) e Incomparabilidade (R).

Com base nas quatro relações de preferências básicas são apresentadas, a seguir, as estruturas de preferências mais comuns que não aceitam a incomparabilidade entre ações, ou seja, a relação R é vazia.

Tabela 2.3 - Estruturas Básicas de Sistemas de Relações de Preferências sem Incomparabilidade

Estrutura	Representação Funcional (g definida em A, $\forall a, b \in A$)	Propriedades das Relações	Observações
Classes de equivalência	Não forma uma ordem; as ações são equivalentes.	I: Simétrica e Transitiva; ~: Simétrica e Transitiva.	Sistemas de relação com apenas uma relação simétrica.
Pré-Ordem Completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$ $a I b \Leftrightarrow g(a) = g(b)$	P :Transitiva e Assimétrica; I : Reflexiva, Simétrica e Transitiva; R=0; Ausência de Incomparabilidade.	Noção intuitiva de classificação com possibilidade de empate por similaridade.
Ordem Completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$	P :Transitiva e Assimétrica; I : Reflexiva, Simétrica e Transitiva; R = 0.	Noção intuitiva de classificação sem possibilidade de empate por similaridade.
Quase-Ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q$ $a I b \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| \leq q$ <i>q = limiar de indiferença</i>	P :Transitiva e Assimétrica; I : Reflexiva e Simétrica ; R = 0 .	Existência de um limiar, abaixo do qual o decisor não consegue explicitar a diferença ou se recusa a declarar a preferência.
Ordem de Intervalo (Limiar de Indiferença Variável)	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b))$ $a I b \Leftrightarrow \begin{matrix} g(a) \leq g(b) + q(g(b)), \\ g(b) \leq g(a) + q(g(a)) \end{matrix}$	P :Transitiva e Assimétrica; I : Reflexiva e Simétrica ; R = 0 . $aPb, bIc, cPd \Rightarrow aPd$	Limiar que varia ao longo da escala de valores.
Pseudo-Ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b))$ $aQb \Leftrightarrow q < g(a) - g(b) \leq p(g(b))$ $a I b \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| \leq q$	P e Q: Transitiva e Assimétrica; I : Reflexiva e Simétrica; R = 0 .	Limiar de indiferença (q): abaixo do qual é clara a indiferença Limiar de Preferência (p): acima do qual não há dúvida da preferência.

Adaptado de Vincke (1992) e Roy (1996)

Através da análise do comportamento dos decisores, observa-se que a situação de ausência de incomparabilidade não é muito realista, uma vez que, em muitas situações, não desejam expressar suas preferências ou se sentem incapazes de fazê-lo. A incomparabilidade aparece mais freqüentemente quando opiniões contraditórias são agregadas (Vincke,1992).

As estruturas parciais de preferência, que aceitam incomparabilidade, são uma generalização das estruturas representadas na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Estruturas Básicas de Sistemas de Relações de Preferências com Incomparabilidade

Estrutura	Representação Funcional (g definida em A , $\forall a, b \in A$)	Propriedades das Relações	Observações
Pré-Ordem Parcial	$aPb \Rightarrow g(a) > g(b)$ $aIb \Rightarrow g(a) = g(b)$	P: Assimétrica e transitiva; I: Simétrica, transitiva e reflexiva; R: Simétrica e não-reflexiva.	Noção intuitiva de classificação com possibilidade de empate por similaridade. $R \neq \emptyset$
Ordem Parcial	$aPb \Rightarrow g(a) > g(b)$	P: Assimétrica e transitiva; I: Simétrica, transitiva e reflexiva; R: Simétrica e não-reflexiva.	Noção intuitiva de classificação sem possibilidade de empate por similaridade. $R = \emptyset$

Adaptado de Vincke (1992) e Roy (1996)

2.1.6. Conceitos básicos utilizados

2.1.6.1. Critério

Um critério pode ser definido, segundo Vincke (1992) como uma função g definida em A , que toma seus valores em um conjunto totalmente ordenado, representando as preferências do decisor sob determinado ponto de vista.

Roy (1996) descreve um critério através da relação binária S_g , apresentada abaixo, representando que uma ação é pelo menos tão boa quanto outra, relativamente às avaliações segundo as dimensões levadas em consideração na definição de g , assumindo a hipótese que a preferência cresce com os valores de g .

$$g(b) \geq g(a) \Rightarrow b S_g a$$

De acordo com a estrutura de preferência verificada, os critérios classificam-se em :

- *Critério verdadeiro*: se a estrutura de preferência é uma estrutura de pré-ordem completa (modelo tradicional) - qualquer diferença implica em uma preferência estrita;
- *Semi-critério*: no caso da estrutura de preferência ser uma estrutura de quase-ordem, modelo de limiar, quando existe uma zona de indecisão constante entre a indiferença e a preferência estrita;
- *Critério de Intervalo*: se a estrutura de preferência é uma estrutura de intervalo, ou modelo de limiar variável, quando existe uma zona de indecisão, variável ao longo da escala, entre a indiferença e a preferência estrita;
- *Pseudo-critério*: se a estrutura de preferência é uma estrutura de pseudo-ordem, modelo de duplo limiar, quando evita-se uma passagem repentina entre a

indiferença e a preferência estrita, existindo uma zona de hesitação, representada pela preferência fraca (Vincke, 1992).

Bana e Costa (1993) *apud* Gomes et al. (2002) chama a atenção para o fato de que os critérios devem possuir duas qualidades: *legitimidade* (a família de critérios deve considerar todos os atores como base para continuar o processo de apoio à decisão); e, operacionalidade (a família de critérios deve conter um número suficiente e pequeno de critérios que permita, em uma análise intercritério, obter a informação necessária para a implementação do procedimento de agregação).

A avaliação de um ação a de acordo com o critério j , é representada por

$$g_j.$$

A representação dos diferentes pontos de vista (aspectos, fatores ou características), com a ajuda de uma família $F = \{g_1, \dots, g_j, \dots, g_n\}$ de critérios, constitui-se em uma das partes mais delicadas na formulação dos problemas de decisão.

2.1.6.2. Relação de dominância

Dados dois elementos a e b de A , a domina b (aDb), se e somente se:

$$g_j(a) \geq g_j(b), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

onde pelo menos uma das inequações é estrita.

A relação de dominância é uma ordem parcial estrita, ou seja, é uma relação assimétrica e transitiva. Se a domina b , significa que a é superior a b sob todos os pontos de vistas considerados. Constata-se, assim, que na maioria das situações tratadas esta é uma relação, quando não vazia, verificada entre poucos pares de ações (Vincke, 1992).

Uma ação a é não-dominada ou eficiente, se e somente se, é impossível encontrar em A uma outra solução b que tenha uma melhor performance em relação a um critério, sem ter uma pior performance em pelo menos um outro critério (Roy, 1996).

2.1.6.3. Ação eficiente

A ação a é eficiente se e somente se, nenhuma outra ação do conjunto A , a domina.

O conjunto de ações eficientes de A , pode ser o próprio A se a relação de dominância é vazia, sendo geralmente considerado como um conjunto que contém as ações interessantes, a serem analisadas com maior profundidade, mesmo que faltem boas razões para desconsiderar as não eficientes (Vincke, 1992).

2.1.6.4. Limiares de indiferença e de preferência

O limiar de indiferença é explicitado por uma função $q[g(a)]$, que pode ser constante em algumas situações, e representa um limite superior (q), para a diferença $g(b)-g(a)$, tal que, qualquer valor desta diferença inferior a ele, não é suficiente para garantir a preferência estrita de b sobre a , ou até mesmo a preferência fraca (Roy, 1996).

O limiar de preferência é representado por uma função $p[g(a)]$, que representa a diferença $g(b)-g(a)$, podendo ser constante em algumas situações, e representa um limite inferior (p), abaixo do qual não é suficiente para optar por uma preferência estrita de b sobre a (Roy, 1996).

2.1.6.5. Taxa de substituição (compensação)

Pode ser definida como uma quantidade que deve ser adicionada ao critério de referência para compensar a perda de uma unidade no critério j , ou seja, a taxa de substituição em a de um critério j com respeito ao critério r , é uma quantidade $S_{jr}(a)$, tal que a ação b , cujas avaliações são descritas a seguir (Vincke, 1992), é indiferente a a :

$$\begin{aligned} g_l(a) &= g_l(b) \quad \forall l \neq j, r \\ g_j(b) &= g_j(a) - 1 \\ g_r(b) &= g_r(a) + S_{jr}(a) \end{aligned} \tag{2.2}$$

Portanto, segundo Bana e Costa (1988), compensar significa que a alternativa a_k de A , definida por $\{g_1(a_k), \dots, g_j(a_k), \dots, g_m(a_k)\}$ é para o decisor indiferente à alternativa $\{g_1(a_k), \dots, g_j(a_k), \dots, g_m(a_k)\}$.

2.1.7. Métodos multicritério

Levando em conta a importância dos métodos multicritério no tratamento da realidade humana, numerosas abordagens foram propostas. Todas substituem a busca da solução ótima por aquelas soluções de melhor compromisso.

Ressalte-se que não existe método ideal nem jamais existirá. Cabe, portanto, ao decisor escolher o método que ele prefere em função da clareza e da pertinência das informações que o método coloca à sua disposição e da natureza da realidade humana considerada.

Os métodos multicritério são divididos em três grandes grupos ou famílias de abordagens que se referem aos princípios de modelagem de preferência. Pode-se distinguir então, a abordagem do critério único de síntese, a do julgamento interativo e a abordagem da sobreclassificação (Roy, 1985).

2.1.7.1. Abordagem do critério único de síntese

Idealizada pela Escola Americana, consiste na agregação de diferentes pontos de vista em uma única função que deve ser subsequente otimizada (Roy, 1985).

Consiste em substituir o problema multicritério inicial:

$$\text{Max}\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_j(x), \dots, f_k(x) | x \in A\} \quad (2.3)$$

onde A é um conjunto finito de n ações potenciais e $\{f_j(\cdot), j=1, 2, \dots, k\}$, um conjunto de critérios de avaliação, pelo problema multicritério seguinte:

$$\text{Max}\{U(x) | x \in A\} \quad (2.4)$$

onde $U(x)$ chamado função utilidade ou função de valor é do tipo:

$$U(x) = U[f_1(x), f_2(x), \dots, f_j(x), \dots, f_k(x)] \quad (2.5)$$

e agrega k critérios em um único critério de síntese.

A utilização de uma função utilidade possibilita ordenar as soluções da melhor à pior, permitindo que seja tratada tanto a problemática de escolha quanto a de ordenação. O método mais abordado é o da Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory – MAUT*).

√ Teoria da Utilidade Multiatributo

No conjunto de métodos de apoio multicritério à decisão, esse é o único que recebe o nome de teoria. Essa distinção está associada à forma como se obtém a função utilidade multiatributo. Como teoria, a determinação da função está associada à confirmação da relação que existe entre a estrutura axiomática da teoria e a estrutura de preferências do decisor. Como método, essa confirmação não é efetuada, pelo menos em alguns estágios do processo de análise (Gomes et al., 2002).

Proveniente da Escola Americana consiste na agregação de diferentes atributos com critério único de síntese. Esse método de agregação dos critérios equivale a uma compensação entre os mesmos, o que sugere, segundo Vincke (1992) uma quantidade que contrabalance a desvantagem de um, em relação à vantagem de outro. Por esse motivo é chamado de método compensatório.

O princípio fundamental desta teoria baseia-se no seguinte axioma: qualquer decisor tende a inconsciente, ou implicitamente, maximizar alguma função que agrega todos os pontos de vista a considerar. Em outras palavras, quando o decisor é indagado a respeito de

suas preferências, ele responde de forma coerente com alguma função U (2.5) não conhecida. Cabe ao analista estimar esta função, por meio de questionamentos ao decisor (Vincke, 1992; Olson, 1996).

A metodologia de utilidade multiatributo inicia-se com a avaliação de várias condições de independência sobre as atitudes do decisor acerca de suas preferências relativas ao problema que se está analisando e, em seguida, obtém-se uma forma funcional consistente com as condições consideradas (Keeney & Raiffa, 1976; Vincke, 1992; Olson, 1996).

Keeney e Raiffa (1976) *apud* Gomes et al. (2002), apresenta uma metodologia que permite a determinação da função utilidade por um processo composto de cinco etapas que proporcionam a intensificação de aspectos importantes do problema e permitem uma discussão mais profunda entre o analista e o decisor sobre as variáveis que compõem a estrutura do problema. As cinco etapas que compõem a metodologia para a elicitacão³ da função utilidade multiatributo são:

- Preparação do decisor para a avaliação.
- Identificação de independência.
- Avaliação da função utilidade condicional.
- Avaliação das constantes de escala.
- Checagem da consistência.

2.1.7.2. Abordagem do julgamento interativo

Um método interativo é um processo seqüencial composto de várias interações (Brans & Mareschal, 2002). Cada interação compreende uma fase de cálculo - quando é elaborada uma solução de compromisso - e uma fase de decisão. Durante essas fases o decisor constrói progressivamente o modelo de suas preferências. Embora sejam desenvolvidos principalmente para a armação de uma programação matemática, com múltiplos objetivos, alguns desses métodos podem ser aplicados a casos mais gerais.

2.1.7.3. Abordagem da sobreclassificação (*outranking ou surclassement*)

Idealizada pela Escola Francesa, consiste na construção das relações de sobreclassificação, ou *surclassement*, que representam as preferências estabelecidas pelo decisor de forma a auxiliá-lo na solução do problema. Diferencia-se principalmente da

³ Elicitação: palavra derivada de elicitare origina-se do termo inglês elicitation

Abordagem da Escola Americana, por admitir a possibilidade de incomparabilidade entre alternativas.

A idéia básica destes métodos de sobreclassificação consiste no enriquecimento das relações de dominância. Evitam-se, desta forma, hipóteses matemáticas muito rígidas e questionamentos intrigantes ao decisor, exigidos pela teoria da utilidade multiatributo, e que introduzem uma série de dificuldades na modelagem de problemas reais (Vincke, 1992). Requerem uma informação intercritério correspondente à relativa importância entre os critérios. Assim, esses métodos favorecem as ações mais balanceadas, que possuem melhor performance média.

Em geral, uma relação de sobreclassificação não permite responder imediatamente a uma problemática de escolha ou de ordenamento. É preciso ainda explorá-la visando obter os elementos de resposta ao problema de decisão (Brans & Mareschal, 2002).

Todo método de sobreclassificação pode ser decomposto em duas etapas: construção de uma relação de sobreclassificação, que representa as preferências fortemente estabelecidas pelo decisor; e a exploração dessa relação que se propõe a apoiar o decisor a resolver seu problema. Destacam-se nesse método as famílias do método *ELECTRE* e *PROMETHEE*.

√ Método *ELECTRE*

A Família *ELECTRE* (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*), de origem francesa, foi inicialmente proposta por Benayoun, Roy, e Sussman, em 1968 e desenvolvida, posteriormente, por Bernard Roy (Roy, 1996) sendo seu intuito obter um subconjunto de N alternativas, que sobreclassificam as que não entraram no subconjunto N . O procedimento é continuado até se obter um pequeno subconjunto, representado por alternativas de melhor compromisso com o problema (Vincke, 1992).

Dito de outra forma, o método *ELECTRE* se propõe a reduzir o tamanho do conjunto de alternativas, explorando o conceito de dominância. É utilizado um índice de concordância $C(a,b)$ para medir a vantagem relativa de cada alternativa sobre todas as outras. De forma similar, é definido um índice de discordância $D(a,b)$, que mede a relativa desvantagem (Roy, 1996; Vincke 1992).

É assumido que o decisor é capaz de fornecer informações intercritérios, que refletem a importância relativa entre os k objetivos, ou seja, pesos dos critérios (Roy, 1996). Esses pesos podem ser decorrentes de cálculos técnicos ou de expressões de julgamento de valor. As seguintes versões do *ELECTRE* são apresentadas por Roy (1996), cada uma aplicável a um caso diferente:

- ELECTRE I: procura seleccionar um conjunto de alternativas dominantes, sendo indicado para problemáticas de escolha ($P.\alpha$);
- ELECTRE II: resulta num ranking das alternativas não dominadas, sendo indicado para problemáticas de ordenação ($P.\gamma$);
- ELECTRE III: aplicável aos casos onde a família de pseudo-critério se verifica, sendo indicado para problemáticas de ordenação ($P.\gamma$);
- ELECTRE IV: é igualmente aplicável nos casos onde a família de pseudo-critério se verifica. Sua característica principal consiste na não utilização de ponderação associada à importância relativa dos critérios, sendo indicado para problemáticas de ordenação ($P.\gamma$);
- ELECTRE IS: indicado para problemáticas de escolha ($P.\alpha$) e para a família de estrutura de pseudo critério;
- ELECTRE TRI: aplicável aos casos da família de pseudo-critério, sendo indicado para problemáticas de classificação ($P.\beta$).

2.1.7.4. Informações intercritérios

Os conceitos de compensação, ponderação e independência entre os critérios, merecem uma atenção especial quando da sua aplicação nos diversos métodos multicritérios (Vincke, 1992).

Para o autor, a escolha da utilização de um método de agregação dos critérios, como o MAUT, por exemplo, é equivalente a escolher um tipo de "compensação entre os critérios". Intuitivamente, o aspecto de compensação de um método sugere uma quantidade que contrabalance a desvantagem de um critério em relação à vantagem de um outro. Já os métodos não-compensatórios, Métodos *Outranking*, requerem uma informação intercritério correspondente à relativa importância entre os critérios. Assim, os métodos compensatórios, podem favorecer ações não balanceadas, ou seja, aquelas cuja performance é excelente sob algum aspecto, mas que é sofrível nos demais. Já os métodos não compensatórios, favorecem a ações mais balanceadas, o que significa que possuem uma melhor performance média. Ressalte-se, no entanto, que sempre que um decisor é confrontado com uma agregação de critério ele faz uso da noção de compensação.

A grande maioria dos métodos traduz a importância relativa entre os critérios em números, denominados *pesos*, embora esta noção esteja estreitamente relacionada com a forma como são levantados e com que objetivo são utilizados. Desta forma, Vincke (1992) sugere um cuidado especial quando se utiliza a mesma ponderação em diferentes métodos

para comparação de resultados. No entanto considerando que métodos como o ELECTRE I traduz a noção de importância entre critérios e que G e H são dois subconjuntos da família de critérios F , G é mais importante que H , se duas ações a e b são encontradas tal que:

- a é melhor do que b para todos os critérios de G ;
- b é melhor do que a para todos os critérios de H ;
- a e b são indiferentes para todos os outros critérios;
- a é globalmente melhor do que b .

Assumindo-se que "mais importante do que" pode ser representada por n constantes, p_1, p_2, \dots, p_n , associados aos n critérios, tem-se que a comparação entre G e H é equivalente ao somatório dos pesos dos critérios nos quais a é melhor que b , e o somatório dos pesos dos critérios nos quais b é melhor do que a , levando-se a mesma noção dos métodos compensatórios (ibidem).

Figueira & Roy (2002) consideram que no contexto de apoio à decisão, conhecer as preferências do decisor e determinar os pesos dos critérios são questões muito difíceis. No entanto, Vincke (1992) afirma que do ponto de vista prático, vários métodos têm sido propostos na literatura para estimar "os pesos" dos critérios.

De acordo com Vincke (1992), é importante notar que, muito freqüentemente, a pessoa que está sendo interrogada, atribuirá pesos aos critérios de uma forma essencialmente qualitativa ou imprecisa. Isso é resultado da escassez de experiências sobre o assunto, o que dificulta a utilização adequada dos pesos e o conhecimento do que eles realmente significam em termos de preferências.

Finalmente, Vincke (1992) afirma que nesse problema de determinação dos pesos, é claramente utópico esperar por qualquer precisão sendo preferível considerar-se várias séries de pesos.

No que diz respeito à independência dos critérios, o autor afirma que muitos métodos assumem a hipótese de independência preferencial entre os critérios, como no modelo aditivo MAUT, por exemplo, no qual os critérios podem ser analisados individualmente, sem sofrer interferências dos demais critérios. Em muitas aplicações práticas, torna-se difícil reduzir a uma família de critérios consistentes, na qual não exista relação de dependência entre eles. Por outro lado, a simples eliminação dos critérios fortemente dependentes, pode levar a uma perda de informações indispensáveis, que não são necessariamente redundantes.

√ Métodos da família PROMETHEE

O método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) (Brans & Vincke, 1985) consiste em construir uma relação de sobreclassificação de valores (Vincke, 1992) tendo sido proposto pela primeira vez em 1982 (Brans, 1982), não cessando, desde então, de ser objeto de desenvolvimento e adaptações complementares.

De acordo com o problema multicritério apresentado (2.3), o decisor estará diante da seguinte tabela contendo $n \times k$ avaliações, considerando A como o conjunto finito das possíveis alternativas:

Tabela 2.5 – Tabela de avaliação

	$f_1(\cdot)$	$f_2(\cdot)$	...	$f_j(\cdot)$	...	$f_k(\cdot)$
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_j(a_1)$	...	$f_k(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_j(a_2)$	...	$f_k(a_2)$
...
a_i	$f_1(a_i)$	$f_2(a_i)$	...	$f_j(a_i)$	...	$f_k(a_i)$
...
a_n	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	...	$f_j(a_n)$	...	$f_k(a_n)$

No caso do tratamento de uma Realidade Humana, a elaboração da tabela representa uma parte muito importante do trabalho de análise. É preciso determinar as ações potenciais, os critérios de avaliação e as avaliações propriamente ditas.

Entretanto, mesmo quando a tabela está disponível, o decisor não possui evidências suficientes para decidir. O método PROMETHEE se propõe a apoiar o decisor a partir deste momento, para os casos da problemática de escolha (PROMETHEE I e II) e de ordenação (PROMETHEE II) (Brans & Mareschal, 2002).

Esses métodos pertencem à classe dos métodos de sobreclassificação e baseiam-se nas duas etapas seguintes: construção de uma relação de sobreclassificação - agregando informações entre as alternativas e os critérios; e exploração dessa relação para apoio à decisão (Dias et al., 1998). A etapa de construção engloba o Enriquecimento da Estrutura de Preferência na qual a noção de critério generalizado é introduzida com a finalidade de captar a amplitude das diferenças entre as avaliações de cada um dos critérios; e o Enriquecimento da Estrutura de Dominância na qual é estabelecida, para cada par de ações, um grau de preferência global de uma ação sobre a outra. Na fase de exploração tem-se o apoio à decisão no qual a relação de sobreclassificação de valor é explorada visando esclarecer melhor o decisor.

√ *Enriquecimento da Estrutura de Preferência*

É sabido que as comparações por pares entre as ações de A dão lugar a uma relação de dominância natural (I,P), tal que:

$$\forall a, b \in A: \begin{cases} f_j(a) > f_j(b) & \Leftrightarrow & aP_j b \\ f_j(a) = f_j(b) & \Leftrightarrow & aI_j b \end{cases}$$

No caso de comparações paritárias, observa-se as diferenças entre os valores das alternativas dentro de cada critério. Para pequenas diferenças, o decisor posicionará uma pequena preferência para a melhor alternativa; para grandes diferenças, uma maior preferência será posicionada:

$$d_j(a, b) = f_j(a) - f_j(b) \tag{2.6}$$

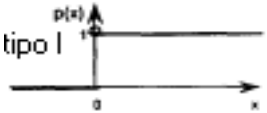
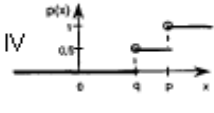
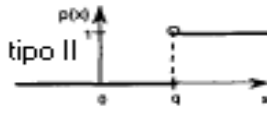
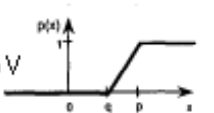
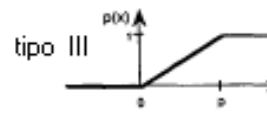
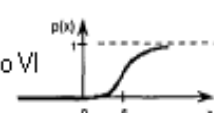
Essas preferências assumirão um número real variando entre 0 e 1, o que significa que para cada critério $f_j(\cdot)$, o decisor tem uma função do tipo (Brans & Mareschal, 1998):

$$P_j(a, b) = P_j [d_j(a, b)] \quad a, b \in A, \quad \text{com: } 0 \leq P_j(a, b) \leq 1 \text{ e,} \tag{2.7}$$

$$\left\{ \begin{array}{llllll} P_j(a, b) & = & 0 & \text{se} & d_j(a, b) & 0 & \text{Nenhuma preferência} \\ P_j(a, b) & \approx & 0 & \text{se} & d_j(a, b) & 0 & \text{Preferência fraca} \\ P_j(a, b) & \approx & 1 & \text{se} & d_j(a, b) & 0 & \text{Preferência forte} \\ \\ P_j(a, b) & = & 1 & \text{se} & d_j(a, b) & 0 & \text{Preferência estrita} \end{array} \right.$$

O par $\{f_j(a), P_j(a, b)\}$ é chamado critério generalizado associado ao critério $f_j(\cdot)$. Trata-se simplesmente do critério de avaliação completado pela sua função de preferência. É uma informação complementar importante. Para facilitar a tarefa, um conjunto de seis tipos é proposto ao decisor. A escolha é efetuada interativamente pelo analista e pelo decisor levando-se em conta os graus de preferência em função das diferenças observadas. Em cada caso é preciso fixar no máximo dois parâmetros (Brans & Mareschal, 1992).

Tabela 2.6 – Critério Generalizado

Critério Generalizado	Parâmetro	Critério Generalizado	Parâmetro
 <p>tipo I</p>	-	 <p>tipo IV</p>	q, p
 <p>tipo II</p>	q	 <p>tipo V</p>	q, p
 <p>tipo III</p>	p	 <p>tipo VI</p>	s

Adaptado de Dias et al. (1998)

Tipo I: Critério Usual

Qualquer diferença entre a avaliação das alternativas de um determinado critério implica numa situação de preferência estrita. A situação de indiferença ocorre quando as duas alternativas possuem desempenho equivalentes.

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & \text{se } d_j = 0 \\ 1, & \text{se } d_j \neq 0 \end{cases} \tag{2.8}$$

Nenhum parâmetro precisa ser determinado pelo decisor e o sistema relacional de preferência é uma pré-ordem completa.

Tipo II: Quase-critério

No tipo II, as alternativas permanecem indiferentes enquanto a diferença entre as suas avaliações não ultrapassa o limiar de indiferença, q_j ; acima desse limiar, a preferência é estrita.

{

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & \text{se } |d_j| \leq q_j \\ 1, & \text{se } |d_j| > q_j \end{cases} \quad (2.9)$$

Um só parâmetro – limiar de indiferença - deve ser fixado. Este tipo de critério está relacionado à noção de semi-ordem introduzida por D. Luce (1956) (Brans & Mareschal, 2002).

Tipo III: Critério de Preferência Linear

Um determinado critério permite ao decisor preferir a a b em função da diferença observada entre $f_j(a)$ e $f_j(b)$. O grau de preferência cresce linearmente até que o limiar p_j seja atingido. Após esse limiar, a preferência é estrita (Brans & Mareschal, 2002).

$$P_j(d_j) = \begin{cases} \frac{|d_j|}{p_j}, & \text{se } |d_j| \leq p_j \\ 1, & \text{se } |d_j| > p_j \end{cases} \quad (2.10)$$

Um só parâmetro deve ser determinado pelo decisor, constituindo o limiar de preferência.

Tipo IV: Critério em nível

Nesse caso, a e b são considerados como indiferentes até que a diferença entre $f_j(a)$ e $f_j(b)$ não ultrapasse q_j ; entre q_j e p_j o grau de preferência é fraco e acima de p_j a preferência se torna estrita.

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & \text{se } |d_j| \leq q_j \\ 1/2, & \text{se } q_j < |d_j| \leq p_j \\ 1, & \text{se } |d_j| > p_j \end{cases} \quad (2.11)$$

Dois parâmetros deverão ser fixados pelo decisor. Brans & Mareschal (2002) afirmam que esse critério generalizado é usado com frequência quando, no início do procedimento, as avaliações são apreciações qualitativas. Como o método PROMETHEE requer avaliação numérica, é feita uma conversão de escala, de modo que a diferença entre os níveis consecutivos possua a mesma amplitude. Dessa maneira, a diferença de um nível dá lugar a uma indiferença; uma diferença de dois níveis a uma preferência fraca e uma diferença de três níveis ou mais dá lugar a uma preferência estrita. Porém, nada impede que se utilizem outras escalas.

Tipo V: Critério de Preferência Linear com Zona de Indiferença

Nesse caso, igualmente a e b são considerados como indiferentes até que a diferença entre $f_j(a)$ e $f_j(b)$ não ultrapasse q_j . Acima desse limiar o grau de preferência cresce linearmente com d_j até atingir uma preferência estrita a partir de p_j .

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & \text{se } |d_j| \leq q_j \\ \frac{|d_j| - q_j}{p_j - q_j}, & \text{se } q_j < |d_j| \leq p_j \\ 1, & \text{se } |d_j| > p_j \end{cases} \quad (2.12)$$

Os dois parâmetros – limiar de indiferença e de preferência – precisam ser determinados. Este tipo de critério aproxima-se da noção de pseudo-critério (Brans & Mareschal, 2002).

Tipo VI: Critério Gaussiano

O desvio padrão (s_j) deve ser fixado e a preferência aumenta segundo uma distribuição normal.

$$P_j(d_j) = 1 - e^{-d_j^2/2s_j^2} \quad (2.13)$$

O grau de preferência cresce de maneira contínua em função de d_j .

Cada um dos parâmetros definidos (q_j , p_j , s_j) tem um significado “físico” ou “econômico” bem preciso para o decisor (Brans & Mareschal, 2002):

- Limiar de indiferença (q_j): representa a maior diferença entre $f_j(a)$ e $f_j(b)$ abaixo da qual o decisor considera que a e b são indiferentes;
- Limiar de preferência (p_j): é o menor valor dessa diferença acima do qual o decisor exprime uma preferência estrita em favor de uma das ações;
- Limiar s_j : corresponde a um grau de preferência médio e se situa entre um limiar de preferência q e um limiar de preferência estrita p .

√ *Relação de sobreclassificação de valor*

Uma vez que a tabela de avaliação, os pesos e os critérios generalizados foram definidos, pode - se dar início ao procedimento PROMETHEE.

Retomando-se o problema (2.3) e considerando que um critério generalizado foi associado a cada critério $f_j(\cdot)$, $j=1, 2, \dots, k$, dispõe-se então, dos seguintes dados numéricos:

$$\forall j, \forall a, b \in A : f_j(a), f_j(b) \rightarrow \{f_j(a), f_j(b), P_j(a, b)\}$$

A partir da intensidade de preferência estabelecida $[P_j(a, b)]$, calcula-se o índice de preferência multicritério (grau de sobreclassificação) $[\pi(a, b)]$ - o qual é definido para todos os pares ordenados de alternativas (Brans & Vincke, 1985) - como segue:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) \times p_j \quad \left(\sum_{j=1}^k p_j = 1 \right) \tag{2.14}$$

com $p_j > 0$, $j=1, 2, \dots, k$, são os pesos representando a importância relativa de cada critério. Eles constituem a informação adicional requisitada para o enriquecimento da estrutura de preferência entre os critérios.

Brans & Mareschal (1998) explicam que o índice de preferência multicritério $[\pi(a, b)]$ está expressando como e com que grau a é preferível a b sobre todos os critérios; e, $[\pi(b, a)]$ como b é preferível a a . Tanto $\pi(a, b)$ quanto $\pi(b, a)$ são normalmente positivos. Verifica-se que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi(a, a) = 0 \\ 0 \leq \pi(a, b) \leq 1 \quad \forall a, b \in A \end{array} \right.$$

Sendo claro que:

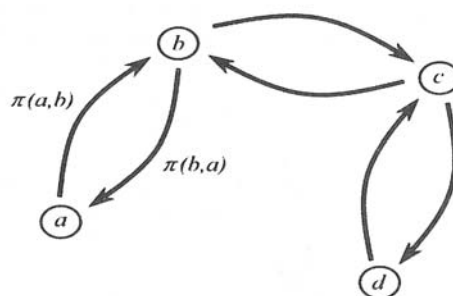
$$\left\{ \begin{array}{l} \pi(a, b) \sim 0 \quad \text{implica em uma preferência global de } a \text{ sobre } b \\ \pi(a, b) \sim 1 \quad \text{implica uma forte preferência global de } a \text{ sobre } b. \end{array} \right.$$


Figura 2.1 - Gráfico de sobreclassificação

Com o propósito de explorar esse gráfico de sobreclassificação para apoio a decisão, foi proposto observar como cada ação de A se comporta diante de $(n-1)$ outras ações. Para isso foram introduzidos os seguintes fluxos de sobreclassificação:

- Fluxo positivo de sobreclassificação (fluxo de saída):

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad , \quad (2.15)$$

Esse fluxo representa a intensidade de preferência de a sobre todas as alternativas. Expressa o caráter sobreclassificador da alternativa. Quanto maior $\phi^+(a)$, melhor a alternativa.

- Fluxo negativo de sobreclassificação (fluxo de entrada):

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (2.16)$$

Esse fluxo representa a intensidade de preferência de todas as outras alternativas sobre a . Quanto menor o valor de $\phi^-(a)$, melhor a alternativa.

- Fluxo líquido de sobreclassificação:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (2.17)$$

Esse fluxo expressa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa. Quanto maior $\phi(a)$, melhor a alternativa.

O fluxo líquido pode ser positivo ou negativo. Sendo ele positivo, a ação sobreclassifica mais as outras do que é sobreclassificada, ou seja, expressa a vantagem dessa alternativa sobre todas as outras; caso contrário, o fluxo líquido será negativo.

- PROMETHEE I

Uma ordenação das alternativas pode ser obtida dos fluxos de sobreclassificação positivos e negativos. A ordenação parcial do PROMETHEE I é a intercessão entre esses fluxos, conforme explicitado por Brans & Mareschal (1998). Tem-se assim:

$$aP^I b, \text{ se } \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b) \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b) \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases}$$

$$aI^I b, \text{ se } \quad \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b)$$

$$aR^I b \quad \text{em outros casos}$$

onde, P^I , I^I e R^I correspondem, respectivamente, à preferência, indiferença e incomparabilidade.

Quando $aP^I b$, um maior poder de a está associado a uma menor fraqueza de a . A informação de ambos os fluxos de sobreclassificação é consistente e pode ser considerada como certa.

Quando $aI^I b$, ambos os fluxos positivo e negativo são iguais.

Quando $aR^I b$, um maior poder de uma alternativa está associado a uma menor fraqueza de outra. Isso freqüentemente ocorre quando a alternativa a é boa num conjunto de critérios nos quais b é fraco e inversamente b é uma boa alternativa em outro conjunto de critérios nos quais a é fraco. Como a informação correspondente a ambos os fluxos não é consistente, parece natural considerar as alternativas como incomparáveis. Logo, o método não deve decidir qual alternativa é a melhor – cabe ao decisor a escolha da alternativa.

- PROMETHEE II

O decisor freqüentemente solicita uma ordenação completa, o que facilita a decisão final. O PROMETHEE II ordena as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente de $\phi(a)$ (fluxo líquido), e completa entre elas.

A preordem completa do PROMETHEE II é definida por Brans & Mareschal (1998) como segue:

$$aP^{II} b, \text{ se } \phi(a) > \phi(b)$$

$$aI^{II} b, \text{ se } \phi(a) = \phi(b)$$

No caso da problemática de ordenação, o decisor usará o PROMETHEE II que fornece diretamente uma ordenação completa enquanto que ao tratar da problemática de escolha, o decisor deverá observar ao mesmo tempo o PROMETHEE I e II. Muitas vezes os resultados destes se completam harmoniosamente ajudando na decisão final.

- PROMETHEE III

No PROMETHEE I e II a indiferença entre duas ações só ocorre quando os correspondentes fluxos líquidos são estritamente iguais, mesmo que duas ações apresentem fluxos líquidos muito próximos um do outro. O PROMETHEE III, segundo Brans & Mareschal (2002) permite solucionar esse problema substituindo os fluxos líquidos pontuais por intervalos. Para isso, observou-se que calcular o fluxo líquido associado a uma ação a equivale a compará-la com as $n-1$ outras e a tomar a média dos índices de preferências

resultantes $[\pi(a,x) - \pi(x,a), x \neq a]$, podendo ser interpretada como uma posição esperada de a logo que ela é comparada a uma outra ação qualquer. Nessa ótica, a variância destas quantidades traz uma informação adicional sobre a posição de a :

$$\sigma^2(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} [\pi(a,x) - \pi(x,a) - \phi(a)]^2 \quad (2.18)$$

O intervalo do fluxo líquido é associado à ação a , da seguinte maneira:

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi_{\min}(a) = \phi(a) - \alpha \sigma(a) \\ \phi_{\max}(a) = \phi(a) + \alpha \sigma(a), \end{array} \right. \quad \text{onde } \alpha \text{ é um número real positivo.} \quad (2.19)$$

A estrutura de preferência construída é a seguinte ordem intervalar completa:

$$\left\{ \begin{array}{l} a P^{III} b \leftrightarrow \phi_{\min}(a) > \phi_{\max}(b) \\ a I^{III} b \leftrightarrow \phi_{\min}(a) \leq \phi_{\max}(b) \text{ e } \phi_{\min}(b) \leq \phi_{\max}(a) \end{array} \right.$$

A principal característica dessa estrutura de preferência é que I^{III} não é transitiva, o que permite levar em consideração um certo limiar de indiferença.

A escolha do parâmetro α dependerá da aplicação; para evitar muitas indiferenças considera-se o comprimento médio do intervalo como sendo menor do que a distância média entre dois sucessivos fluxos líquidos médios, o que leva a um valor de 0,15 para α , na maioria dos casos (Brans et al., 1984). Se a obtenção de uma preordem é a desejada, é possível obtê-la reduzindo-se suficientemente o valor do parâmetro α .

- PROMETHEE IV

Esse método é apresentado por Brans et al (1984) como uma extensão do PROMETHEE II para o caso de um conjunto contínuo de ações A que surge quando as ações são, por exemplo, percentagens, dimensões de um produto, investimentos.

Os fluxos de entrada e saída não podem ser definidos conforme mostrado anteriormente. Eles são, então, definidos como segue:

$$\phi^+(a) = \int_A \pi(a,b) db \quad (2.20)$$

$$\phi^-(a) = \int_A \pi(b,a) db \quad (2.21)$$

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (2.22)$$

A partir da função $\phi(a)$, pode-se definir um conjunto G de boas ações como segue:

$$G = \{a \in A : \phi(a) \geq \bar{\phi} - \delta\}, \quad \text{onde } \bar{\phi} = \max_{a \in A} \phi(a)$$

e δ é um limiar que depende da precisão do cálculo e da severidade do decisor.

- PROMETHEE V

Os métodos PROMETHEE I e II são particularmente apropriados para escolher uma alternativa. No entanto, em certos casos, o problema colocado não é selecionar uma ação particular ou ordenar as ações partindo da melhor para a pior, mas, ao contrário, selecionar um subconjunto de ações, dado um conjunto de restrições (Brans & Mareschal, 1992). A problemática não é mais do tipo P_α ou P_β , mas de um tipo mais complexo, $P_{\alpha, \theta/n}$ (Bana e Costa, 1993 *apud* Brans & Mareschal, 2002). Em geral, esse problema não se resume à escolha das θ primeiras ações do ordenamento PROMETHEE II.

Neste contexto, o problema inicialmente colocado (2.3), passa a ser definido por Brans & Mareschal (2002) da seguinte forma:

$$\text{Max } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \mid x \in A \text{ sob as restrições adicionais}\} \quad (2.23)$$

Eles afirmam que embora ainda se trate de um problema mal definido matematicamente, é um problema economicamente bem colocado pelo decisor.

Para que se possa fazer facilmente a seleção de θ ações entre n (tendo ou não fixado θ), sendo $\{a_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ o conjunto das possíveis alternativas, introduziu-se, segundo os autores acima referenciados, as seguintes variáveis *booleanas* para cada alternativa tal que :

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{se } a_i \text{ é selecionado;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Seguindo ainda a linha de raciocínio de Brans & Mareschal (1998) é pertinente destacar que o procedimento PROMETHEE V compreende duas etapas:

- (1) O problema multicritério sem restrições é primeiramente considerado. Os fluxos líquidos de sobreclassificação $\phi(a_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ são calculados e a ordenação do PROMETHEE II é obtida.
- (2) As restrições adicionais são agora integradas levando-se em consideração a seguinte programação linear (0-1):

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n \phi(a_i)x_i$$

(2.24)

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{m,i} x_i \sim \beta_m \quad m=1,2,\dots,n;$$

(2.25)

$x_i \in \{0, 1\} \quad i=1, 2, \dots, n,$ onde \sim verifica para \leq, \geq ou $=$.

Os coeficientes da função “objetivo” (2.24) são os valores associados ao fluxo líquido de sobreclassificação. Tal função expressa que x procura selecionar um conjunto de ações totalizando o fluxo líquido mais elevado possível. O propósito é obter tantos fluxos de sobreclassificação quanto possível, levando-se em consideração as restrições (2.24), que podem incluir cardinalidade, orçamento, pessoal, investimento, marketing, entre outras (Brans & Mareschal, 1998).

Um subconjunto de alternativas satisfazendo as restrições e fornecendo tanto fluxo líquido quanto possível é então obtido pela resolução da programação linear (0-1). As ações que permanecem são aquelas para as quais as variáveis x_i são iguais a 1 e que totalizam o fluxo líquido mais elevado possível. São, portanto, as melhores ações, respeitadas as restrições.

- PROMETHEE- GAIA

O procedimento GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) completa e prolonga harmoniosamente os resultados obtidos por PROMETHEE. Este método foi objeto de uma primeira publicação em 1988 (Mareschal & Brans, 1988) tendo conhecido, desde então, desenvolvimentos complementares e sido utilizado em numerosas aplicações econômicas e industriais.

O procedimento GAIA, segundo Mareschal & Brans (1988), consiste de um módulo de interação visual complementar ao PROMETHEE. O plano GAIA fornece uma informação gráfica clara sobre o caráter conflitante do critério e sobre o impacto dos pesos na decisão final, possuindo várias ferramentas de sensibilidade que enriquecem a visão que o decisor tem do seu problema (ibidem). Logo, enquanto as análises do PROMETHEE I e II são mais prescritivas, o GAIA é mais descritivo e graficamente orientado.

A análise completa do GAIA é baseada na análise unicritério dos fluxos líquidos obtidos pela decomposição do fluxo líquido.

De acordo com a definição dos fluxos de sobreclassificação positivos (2.15) e negativos (2.16) e os índices de preferência (2.14), tem-se:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^k \sum_{x \in A} [P_j(a, x) - P_j(x, a)] \cdot p_j \tag{2.26}$$

Conseqüentemente,

$$\phi(a) = \sum_{j=1}^k \phi_j(a) \cdot p_j, \tag{2.27}$$

se

$$\phi_j(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} [P_j(a, x) - P_j(x, a)] \tag{2.28}$$

$\phi_j(a)$ é um fluxo líquido unicritério obtido como se somente o critério $f_j(\cdot)$ fosse considerado. Cada alternativa pode então ser caracterizada por seu k fluxo líquido unicritério.

$$\alpha(a) : \{\phi_1(a), \phi_2(a), \dots, \phi_j(a), \dots, \phi_k(a)\}$$

Logo, os eixos correspondentes aos diferentes critérios podem ser representados por um ponto $\alpha(a)$ de um espaço k- dimensional \mathfrak{R}^k .

Os fluxos unicritério para todas as alternativas determinam a seguinte matriz $M(n \times k)$:

Tabela 2.7. – Matriz de avaliação

	$\phi_1(\cdot)$	$\phi_2(\cdot)$	...	$\phi_j(\cdot)$	...	$\phi_k(\cdot)$
a_1	$\phi_1(a_1)$	$\phi_2(a_1)$	...	$\phi_j(a_1)$	...	$\phi_k(a_1)$
a_2	$\phi_1(a_2)$	$\phi_2(a_2)$	...	$\phi_j(a_2)$	...	$\phi_k(a_2)$
\vdots
a_i	$\phi_1(\cdot)$	$\phi_2(\cdot)$	...	$\phi_j(\cdot)$	...	$\phi_k(\cdot)$
\vdots
a_n	$\phi_1(\cdot)$	$\phi_2(\cdot)$	...	$\phi_j(\cdot)$	...	$\phi_k(\cdot)$

Esta matriz é comparável à tabela da avaliação inicial, sendo, todavia, mais rica em informações, pois os fluxos líquidos unicritério levam em conta os graus de preferências atribuídos às diferenças observadas entre as avaliações. Ela é também mais fácil de tratar, pois

os $\phi_j(a_i)$ são números reais independentes das diferentes unidades em que cada critério é expresso.

Portanto, para cada $a \in A$, os seguintes fluxos líquidos unicritério ($\phi_1(a)$, $\phi_2(a)$, ..., $\phi_j(a)$, ..., $\phi_k(a)$) são considerados como as coordenadas de um ponto em \mathfrak{R}^k . Todas as alternativas podem então ser representadas como uma nuvem de n pontos nesse espaço.

O procedimento GAIA apresenta uma interpretação visual na forma de nuvem e da posição relativa de seus diferentes elementos. Considera-se que $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n$, são as projeções dos n pontos da nuvem. A qualidade da representação obtida é medida pela percentagem δ do poder de explicação. Além do mais os vetores unitários dos eixos do espaço \mathfrak{R}^k , cada um deles sendo associado a um critério particular, pode também ser projetado no plano GAIA. Sendo $c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_k$, essas projeções.

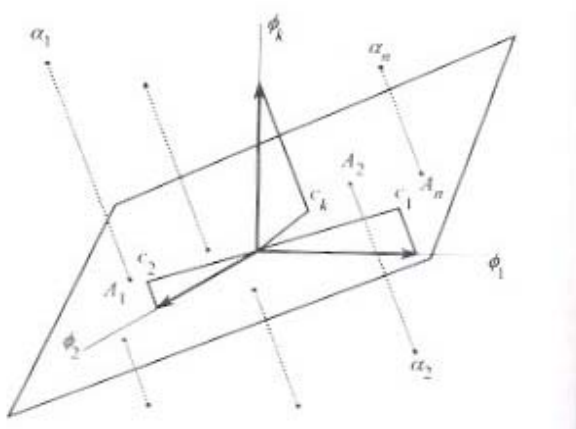


Figura 2.2: Projeção no plano gaia (Brans & Mareschal, 2002)

Portanto, o plano GAIA inclui:

- Diferentes pontos α_i representando as alternativas.
- Diferentes eixos c_j representando o critério.

Segundo Mareschal & Brans (1988) as seguintes propriedades geralmente se verificam:

- Sendo as alternativas boas para um critério particular elas serão representadas por pontos localizados na direção do eixo desse critério.
- As alternativas similares serão representadas por pontos localizados próximos uns aos outros.
- Os critérios que expressem preferências similares no conjunto das alternativas serão orientados no plano GAIA por eixos posicionados na mesma direção.

- Critérios expressando preferências conflitantes serão representados por eixos em direções opostas.
- Critérios independentes serão representados por eixos ortogonais.
- Quanto maior for o eixo de um critério no plano GAIA, mais esse critério diferencia as alternativas.

O vetor dos pesos p ($p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_k$) no espaço K-dimensional pode ser considerado como um *stick* de decisão. A projeção desse *stick* no plano GAIA indica a direção na qual o decisor é convidado a decidir de acordo com os pesos considerados. Essa direção π é chamada de eixo de decisão do PROMETHEE (Brans & Mareschal, 1996).

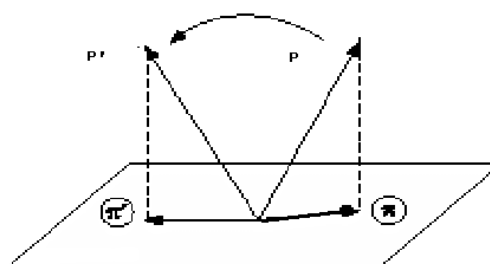


Figura 2.3- *Stick* de decisão e eixo de decisão do PROMETHEE (adaptado de Brans, 2002)

Se π é longo, o eixo de decisão do PROMETHEE tem um forte poder de decisão e o decisor é convidado a selecionar as alternativas que estão localizadas o mais próximo possível nessa direção. Por outro lado, se π é curto, o eixo de decisão não tem um poder suficientemente forte para decidir. Nesse caso, o vetor p , está quase ortogonal ao plano GAIA, o que significa que, de acordo com os pesos, os critérios são muito conflitantes e que um bom compromisso deve ser selecionado próximo à origem.

Se o decisor mudar seus pesos, ele simplesmente moverá a direção do *stick*, e o eixo de decisão do PROMETHEE será orientado em outra direção possibilitando a escolha de outras alternativas. Logo, pode-se dizer que o *stick* de decisão é um instrumento de liberdade para o decisor (Brans & Mareschal, 1998).

- PROMETHEE VI

O desenvolvimento do PROMETHEE VI surgiu diante da necessidade de se apresentar um modelo menos prescritivo em que se preservasse alguma tolerância para o espaço de liberdade do decisor, oferecendo-lhe não só uma quantificação do mundo real, mas também uma visão da sua própria imagem e da liberdade que ele tem diante desse mundo

(Brans, 1996). Essa ferramenta permite-lhe ainda, segundo a ótica do problema multicritério, analisar, de acordo com suas próprias preferências, se o problema que ele está enfrentando é fácil ou difícil (Brans & Mareschal, 1985).

O decisor sabe muito bem que fixando os valores dos pesos ele obterá respostas prescritivas. Tal situação não lhe agrada por remover toda discussão, todo espaço de liberdade. Além do mais, ocorrem muitos casos em que o decisor não está apto a alocar valores precisos para os pesos, devido a vários fatores, como por exemplo, indeterminação, imprecisão, dúvida, incerteza, etc. sobre os valores a serem determinados.

Por essa razão, deve-se definir um limite inferior e um superior entre os quais os pesos possam variar uma vez que, como afirmam Brans & Mareschal (1998), o decisor normalmente tem em mente uma ordem de magnitude para os pesos, que possibilita a determinação de intervalos nos quais os pesos podem variar. Tem-se dessa forma:

$$p_j^- \leq p_j \leq p_j^+, \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad \text{onde } p_j^- \text{ e } p_j^+ \text{ são valores numéricos fixados.} \quad (2.29)$$

Tais intervalos podem também ser fixados a partir de um valor conhecido p_j tolerando uma percentagem θ_j de variação em torno deste valor:

$$p_j \pm \theta_j \cdot p_j, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (2.30)$$

Nesse caso, o *stick* de decisão P pode mover-se pela área limitada no espaço K -dimensional. A projeção dessa área no plano GAIA dá o espaço de liberdade do decisor. O eixo de decisão do PROMETHEE pode ser orientado, de acordo com a liberdade dada aos pesos, a qualquer ponto do espaço de liberdade (Brans, 2002).

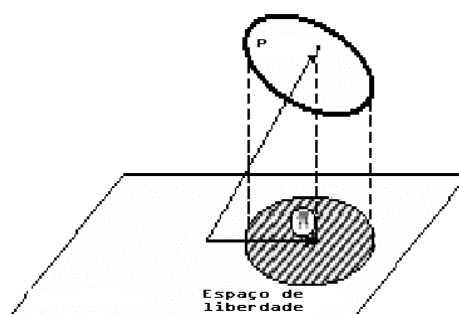


Figura 2.4 – Espaço de liberdade (adaptado de Brans, 2002)

Segundo Brans & Mareschal (2002) duas situações distintas podem ocorrer:

- Problemas multicritério fáceis: se o espaço de liberdade não contém a origem, o vetor π (eixo de decisão) permanece orientado na mesma direção

e todas as alternativas localizadas nesta direção são boas para todos os possíveis pesos considerados.

- Problemas multicritério difíceis: se o espaço de liberdade contém a origem, o vetor π pode ser orientado em todas as direções do plano GAIA, dependendo do valor dos pesos, sendo difícil tomar uma decisão final.

Pode-se dizer, deste modo, que o grau de dificuldade de um problema multicritério pode ser verificado através do posicionamento do espaço de liberdade em relação à origem do plano GAIA.

2.2. Gestão de Projeto

2.2.1. Visão geral

A gestão de projetos tem sido amplamente estudada por associações como o PMI (*Project Management Institute*) e a IPMA (*Internacional Project Management*) sendo importante destacar que vários trabalhos têm sido desenvolvidos nessa área, abordando o seu contexto mais amplo (Pinto, 2002; Leach, 2003; Meyer et al., 2002).

O conceito de projetos tem sido discutido e tem evoluído ao longo dos anos, uma vez que, no mundo atual, os projetos parecem estar se tornando cada vez maiores e mais complexos.

Segundo Kerzner (2000) um projeto é um empreendimento que tem um objetivo definido, consome recursos e opera sob tempo, custo e restrições de qualidade. Além do mais, os projetos são geralmente considerados como atividades que podem ser únicas para a empresa, ou seja, o desafio está no gerenciamento de atividades - que nunca tenham sido praticadas no passado e talvez nunca se repitam no futuro - e não no gerenciamento de atividades repetitivas baseadas em dados históricos, que toda empresa é capaz de realizar.

Vargas (2002), por sua vez, definiu um projeto com sendo “um empreendimento não repetitivo - caracterizado por uma seqüência clara e lógica de eventos, com início, meio e fim - que se destina a atingir um objetivo claro e definido, sendo conduzido por pessoas que obedecem a parâmetros predefinidos de tempo, custo, recursos envolvidos e qualidade.”

É importante esclarecer que neste trabalho, o conceito utilizado foi o definido pelo PMI – *Project Management Institute*, no qual um projeto pode ser definido como “um empreendimento temporário feito para criar um produto ou serviço único” (PMBok, 2000). Nesse caso, o empreendimento temporário é a obra, na construção civil, alvo do estudo e o produto único resultante, o edifício.

Para que um gerenciamento de projeto seja eficaz é preciso que haja um amplo planejamento e coordenação. Em geral, ele pode ser aplicado em qualquer situação onde exista um empreendimento que foge ao que é fixo e rotineiro na empresa.

A gestão de projeto pode ser definida como “um conjunto de ferramentas gerenciais que permitem que a empresa desenvolva um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidade individuais, destinados ao controle de eventos não repetitivos” (Vargas, 2002).

Pode-se afirmar que, de modo geral, a Indústria da Construção ainda é muito deficiente no que diz respeito ao gerenciamento do projeto. Por isso, nesse trabalho será enfocada uma fase específica desse processo de gestão: aquela que se refere a controle envolvendo replanejamentos, direcionado para a Indústria da Construção Civil. Esses replanejamentos são necessários devido à incerteza presente no processo construtivo, exigindo que em cada nível haja um grau de detalhamento apropriado (Laufer & Tucker, 1987).

A seguir será apresentado o processo de gestão de projetos dando-se ênfase: a) ao ciclo de vida de um projeto com suas respectivas fases; b) ao processo de gestão de projetos.

2.2.2. Ciclo de vida de um projeto

A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK GUIDE (1996) define o ciclo de vida como um conjunto de fases do empreendimento que tem o propósito de definir o seu início e término, estabelecendo a abrangência e os limites do projeto.

No ambiente da construção civil, segundo Kerzner (1998), o ciclo de vida de um empreendimento de construção é geralmente dividido nas seguintes fases: planejamento e agrupamento dos dados; estudos e engenharia básica; revisão; detalhamento da engenharia; construção; teste e comissionamento.

Já Morris (1981) *apud* PMBOK GUIDE (1996) separa as fases do ciclo de vida de um empreendimento de construção da seguinte forma: viabilidade; planejamento e projeto; produção; e entrega.

Para Vargas (2002), o ciclo de vida de um projeto pode ser definido como um conjunto de fases de seu desenvolvimento, cujo entendimento permite ao time de projeto um melhor controle do total de recursos gastos para atingir as metas estabelecidas. Segundo ele, o número de fases em um projeto é uma função de sua natureza, podendo variar entre quatro e nove fases, sendo cada uma delas caracterizada pela entrega, ou, finalização de um determinado trabalho. Vargas considerou 5 fases características, comuns a quase todos os tipos de projeto, entre os quais também se inclui o projeto da construção, constituindo seu ciclo de vida. São elas:

- Fase de iniciação ou viabilidade.
- Fase de planejamento.
- Fase de execução.
- Fase de controle.
- Fase de finalização.

No caso específico deste trabalho, será estudada a fase de controle que engloba o acompanhamento do cronograma e as reprogramações necessárias ao cumprimento dos prazos.

2.2.2.1. Fases do ciclo de vida de um projeto

A seguir, serão apresentadas de forma resumida as fases do ciclo de vida de um projeto, enfocando-se mais a fase de controle, que constitui o objeto central de estudo, neste trabalho.

√ *Viabilidade*

É a fase inicial do projeto, quando uma determinada necessidade é identificada e transformada em um problema estruturado⁴ a ser resolvido por ele. É também o momento em que as estratégias de condução são identificadas e selecionadas sendo a missão e o objetivo do projeto também definidos (Vargas, 2002).

√ *Planejamento*

O ambiente da indústria da Construção envolve uma grande quantidade de intervenientes com vários níveis de formação e especialização, que geram, através do desenvolvimento de suas tarefas, informações que fluem continuamente dentro da empresa. Essas informações, via de regra, encontram-se dispersas, sem qualquer estrutura ou classificação, ocasionando muitos problemas de integração entre as partes envolvidas (Aouad et al., 1994 *apud* Bernardes & Carvalho, 1997). Vale ressaltar que as diferentes visões do processo que os especialistas do setor possuem, provocam uma série de dificuldades tanto na etapa de projeto quanto no próprio processo de produção contribuindo para que o gerenciamento da construção se torne uma atividade extremamente difícil.

O processo de planejamento tem sido colocado como uma forma de garantir uma melhor coordenação entre os vários intervenientes, auxiliando a direção da empresa a

⁴ Um problema estruturado pode ser definido como um problema repetitivo, que possui uma seqüência lógica para encontrar a solução (Gomes et al., 2002).

clarificar os objetivos do empreendimento e estabelecendo um padrão através do qual o progresso da construção pode ser monitorado (Laufer & Tucker, 1988).

Segundo Meseguer (1991), planejar significa ordenar previamente os meios para conseguir um objetivo o que implica na previsão de todas as necessidades, exige uma consideração prévia das possíveis falhas que possam se apresentar e um preparo do planejador no sentido de dar resposta mais adequada para cada uma delas. Planejar é, portanto, a base fundamental para a obtenção posterior de resultados satisfatórios.

Para Slack et al. (1995) a fase de planejamento tem por propósitos:

- Determinar o custo e a duração do projeto. Isso possibilita a tomada de decisões maiores – como a decisão de seguir realizando um projeto no seu início.
- Determinar o montante de recursos que será necessário.
- Ajudar a alocar o trabalho e a monitorar o progresso. O planejamento deve incluir a identificação de quem é responsável por qual atividade.
- Ajudar a avaliar o impacto de qualquer mudança sobre o projeto.

O planejamento envolve a definição dos objetivos do projeto de maneira bem clara e, sempre que possível, discrimina aspectos quantificáveis, facilitando assim, o direcionamento dos esforços individuais e em equipe, bem como a avaliação do alcance das metas propostas.

Ele não deve, no entanto, ser visto como um processo único. Segundo Slack et al. (1995) o planejamento pode ser repetido diversas vezes durante a vida do projeto, à medida que mudam as circunstâncias. O replanejamento não é um sinal de falha de projeto ou de mau gerenciamento, especialmente em projetos incertos, como o da construção civil, aparecendo como uma ocorrência normal. Os replanejamentos são realizados na fase de controle, sendo uma das melhores formas de acompanhamento do projeto. De fato, planos em estágios posteriores significam tipicamente que mais informação está disponível, e que o projeto está se tornando menos incerto. O processo de planejamento seja ele levado avante pela primeira vez, seja ele um replanejamento, envolve cinco passos, ou etapas.

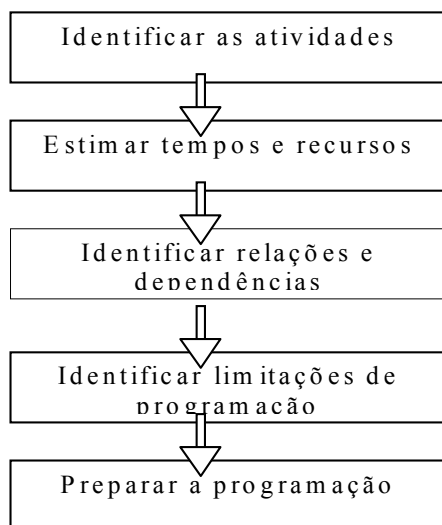


Figura 2.5: Processo de planejamento de projeto (adaptado de Slack et al., 1995)

A primeira etapa no planejamento de obras é a de previsão, que consiste na identificação de todas as atividades a serem executadas pelo projeto. A segunda consiste na estimativa de tempo e recursos, de fundamental importância para a tomada de decisões durante o gerenciamento do projeto. Já a terceira etapa deve determinar a relação de dependência existente entre as atividades, podendo ser definida pelo processo tecnológico (método, processo, fabricação e montagem) ou pela relação de precedência preestabelecida empiricamente. Após definir as atividades e seus relacionamentos, é necessário identificar o tipo de limitação predominante, correspondente à quarta etapa do planejamento, ou seja, é preciso saber se o projeto é limitado por recursos ou pelo tempo. A partir daí pode-se dar início à quinta etapa que consiste na montagem do diagrama de rede, ou seja, na organização da programação. A rede auxilia a verificação da seqüência lógica das operações e de uma eventual omissão de alguma atividade. Permite também, que a seqüência de atividades seja facilmente controlada e se necessário, modificada durante o curso do projeto.

O planejamento é uma atividade essencial em qualquer ramo de atividade industrial. No contexto da construção civil, a execução de qualquer empreendimento exige uma combinação de recursos (material, mão-de-obra, equipamentos e capital), muitas vezes sujeitos a limites e restrições. A alocação de recursos no devido tempo e o fornecimento de dados e fatos indispensáveis ao controle somente são possíveis através de um eficiente sistema de planejamento e programação.

√ Execução

A execução materializa tudo aquilo que foi planejado anteriormente, sendo nessa fase que grande parte do esforço realizado e do orçamento previsto é consumida. Vale lembrar que qualquer erro cometido nas fases anteriores fica evidente nesse momento (Vargas, 2002).

A execução necessita de dados gerados pelas fases anteriores como datas, recursos disponíveis, folgas, orçamentos previstos e outros, mas a ênfase maior é dada a aspectos técnicos. Netto (1988) afirma que a nova informação básica é a de “como fazer” sendo a eficiência o foco das atenções.

√ Controle

O controle é a fase que acontece paralelamente ao planejamento operacional e à execução do projeto. Tem como objetivo acompanhar e controlar tudo que está sendo por ele realizado, de modo a propor ações corretivas e preventivas no menor espaço de tempo possível após a detecção da anormalidade. O objetivo do controle é comparar o *status* atual do projeto com o *status* previsto pelo planejamento, realizando ações corretivas em caso de desvio (Vargas, 2002).

Nesse trabalho, dentro dessa fase de controle serão considerados os planejamentos operacionais, correspondentes aos replanejamentos realizados. O planejamento operacional, por sua vez, refere-se à seleção do curso das ações através das quais as metas sejam alcançadas. Nesse contexto, o planejamento operacional é relacionado com as decisões a serem tomadas no curto prazo (Laufer & Tucker, 1987).

Greek & Pullin (1999) *apud* Miranda & Almeida (2003) afirmam que a maioria dos gerentes não focaliza os aspectos críticos dos projetos tais como prazo, custo e qualidade. Como consequência o gerenciamento de projetos é caracterizado por falhas ocasionadas por duas razões: incertezas de ordem técnica e julgamentos incorretos das urgências do projeto.

Logo, o controle é necessário devido ao grande grau de incerteza existente no planejamento de longo prazo, baseado no qual, no caso da obra, geralmente é feito o cronograma geral do empreendimento. Laufer & Tucker (1988) salientam que o grau de detalhe deve variar com o horizonte do planejamento, crescendo com a proximidade da sua implementação. Planos que contêm muitos detalhes podem se mostrar ineficientes diante de uma situação de alta incerteza, devido ao excessivo esforço necessário para remanejá-los.

A incerteza, por sua vez, pode ser definida como a diferença entre a quantidade de informações necessárias para o desenvolvimento de uma determinada atividade e a quantidade de informações existentes (Galbraith, 1977 *apud* Laufer, 1992). A incerteza sobre a execução

de uma atividade cresce com o aumento do horizonte necessário para a implementação de um determinado plano (Laufer, 1997).

Laufer & Howell (1993) afirmam que cerca de 80 % dos projetos começam o processo de construção com um alto nível de incerteza. Logo os gerentes da construção têm um grande desafio, qual seja, o de tentar terminar o projeto dentro do custo estimado no orçamento, através de ajustes no planejamento que vão sendo feitos à medida que os efeitos da incerteza se manifestam, garantindo que o trabalho continue sendo realizado de maneira eficiente.

É o acompanhamento que vai fornecer as informações necessárias ao controle do processo e à realimentação do ciclo planejamento – programação – execução - acompanhamento. É muito comum a utilização de índices de desempenho dentro das atividades de acompanhamento e controle para relatar o estado em que se encontra o empreendimento num dado momento.

O controle, através do acompanhamento e da avaliação, é a função que vai balizar a ação gerencial. Consiste na identificação e quantificação dos desvios relativos às previsões originais e na adoção de ações corretivas para obter os resultados desejados. Pinto (2002) afirma que o controle, baseado em dados passados, permite à empresa antecipar problemas no início do tempo de desenvolvimento do projeto.

Os dois principais fatores a serem controlados durante a execução de um projeto são o tempo e o custo, pois ao controlar estes dois fatores já se estará exercendo implicitamente um controle sobre os recursos utilizados.

Os acompanhamentos a curto, médio e longo prazo permitem as correções diárias, semanais, mensais e anuais. Segundo Netto (1988), os replanejamentos executados na fase de controle podem evitar a ocorrência de desvios irrecuperáveis, além de permitir, a todos os envolvidos, o domínio da situação, o encaminhamento das soluções pertinentes e a conscientização em face das estruturas a serem consideradas nas futuras tomadas de decisão. Os replanejamentos incluem tanto o planejamento de médio quanto o de curto prazo.

Abudayyeh et al. (2001) afirmam que muitos projetos sofrem de um controle ineficaz devido ao ineficiente fluxo de informações. No caso da indústria da construção, Santos *et al* (2000) afirmam que o fluxo de informações pode ser promovido através da realização de reuniões periódicas na obra - a fim de discutir os problemas existentes; através da criação de canais de comunicação eficazes entre a obra e o escritório e através da comunicação visual.

No que diz respeito ao controle do custo, Bender & Ayyub (2001) afirmam que há muitas técnicas que são usadas pela indústria da construção, podendo-se destacar a análise de

tendências, análise de variância, valor agregado, estimativa de alcance e previsão do custo unitário. Fleming & Koppelman (1994) afirmam ser a análise do valor agregado uma poderosa ferramenta quando utilizada em conjunto com a programação do método do caminho crítico (CPM). Referindo-se ao valor agregado, Pinto (2002) afirma que embora ele tenha sido usado como dispositivo de controle de projeto por vários anos, ainda é um fenômeno recente e pode ser vista como uma importante metodologia para o controle.

A análise de valor agregado é a responsável pelo acompanhamento financeiro de todo o projeto. Tem como objetivo detalhar seus custos de forma a acompanhar com precisão como eles evoluem (ibidem). Para Fleming & Koppelman (1994) o objetivo da análise do valor agregado está relacionado à performance realmente obtida com o que foi gasto. Vargas (2002) afirma que o controle realizado através da relação entre o valor agregado e o valor planejado do trabalho dentro do tempo pode ser mais preciso que a realização apenas de controles financeiros ou de prazos isolados. A análise do valor agregado (EVA) utiliza alguns termos importantes referentes a procedimentos para obtenção de uma estimativa precisa da performance do projeto, como os elencados por Pinto (2002):

- BCWS – Custo orçado do trabalho programado: refere-se à estimativa de custo dos recursos programados em uma linha de base acumulativa; em outras palavras, representa o custo planejado do projeto.
- BCWP – Custo orçado do trabalho desenvolvido: é outro termo do valor agregado. Identifica o valor atual do trabalho desenvolvido na data.
- ACWP – Custo Atual do trabalho desenvolvido: é a soma dos custos incorridos na conclusão do trabalho.
- Variância da programação = $(BCWP - BCWS)$.
- Variância do custo = $(BCWP - ACWP)$.

Pelo exposto, fica claro que um sistema de gerenciamento tem como objetivos principais assegurar que todas as metas sejam cumpridas durante a execução, a otimização dos desempenhos técnicos e de produção e a compatibilização dos custos em função do empreendimento.

No que diz respeito às técnicas existentes que ajudam no planejamento e no controle de obras pode-se citar o diagrama de barras, o cronograma de Gantt, as redes PERT/CPM, etc., as quais possibilitam melhorias substanciais em termos de desempenho global. Sua utilização é necessária para evitar que a tomada de decisão se dê ao acaso. As escolhas de ações emergenciais são motivadas por circunstâncias próprias dos trabalhos e surgimento de problemas no dia-a-dia da obra, o que torna o replanejamento e a reprogramação de tarefas

naturais na gerência de projetos. Para Musetti (1998) o segredo não está somente em planejar e programar bem, mas principalmente em como conduzir esse planejamento ou essa programação através de procedimentos ágeis de reprogramação e replanejamento.

○ *Técnica PERT/CPM*

O método PERT - CPM (*Program Evaluation and Review Technique - Critical Path Method*) cuja aplicação inicial se fez para grandes projetos balísticos e militares, sendo seu marco histórico o Projeto Polaris vem hoje suprir, na prática do dia-a-dia, as tradicionais insuficiências do Diagrama de Gantt.

O gráfico de Gantt, desenvolvido por Henry Gantt no início do século XX, visando aplicações militares, representa a execução de atividades numa escala de tempo através de barras cujos tamanhos são proporcionais às respectivas durações. O diagrama PERT-CPM pode ser caracterizado como uma evolução do gráfico de Gantt (Musetti, 1998).

Em 1957 foi desenvolvida a técnica CPM por uma equipe de pesquisadores da Du Pont Company e Remington Rand Univac, que pretendia reduzir o tempo gasto em atividades como as de manutenção, de revisão e de construção das fábricas. O CPM caracterizou-se pelo tratamento determinístico aplicado à duração das atividades. A técnica PERT, desenvolvida em 1958 por uma equipe do Departamento de Projetos Especiais da Marinha dos Estados Unidos, é baseada em métodos estatísticos e matemáticos aplicados ao planejamento, avaliação e controle de esforços de pesquisas e desenvolvimento (Musetti, 1998).

Premachandra (2001) explica que, em 1959, os criadores do PERT consideraram a distribuição *beta* como a adequada ao método e mostraram um caminho pragmático em que a média e a variância da atividade de duração y pode ser estimada como:

$$f(y) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)(y - a)^{\alpha-1}(b - y)^{\beta-1}}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)(b - a)^{\alpha+\beta-1}}, \quad a < y < b, \alpha, \beta > 0 \quad (2.31)$$

$$\text{Média de duração } y: \mu_y = (a + 4m + b)/6 \quad (2.32)$$

$$\text{Variância de duração } y: \sigma^2 = (b - a)^2/36 \quad (2.33)$$

onde os parâmetros a , b e m representam as seguintes estimativas:

Otimista (a) = O menor tempo de duração de uma atividade

Mais provável (m) = O tempo normal de duração de uma atividade

Pessimista (b) = O maior tempo de duração de uma atividade

Por volta de 1962 os métodos PERT e CPM, que basicamente só se diferenciavam pela forma de tratamento dada ao parâmetro tempo, foram integrados, passando a ser conhecidos como método PERT-CPM (Musetti, 1998).

“O modelo PERT/CPM, Técnica de Redes, é um conjunto de processos e técnicas para planejamento, programação e controle de um empreendimento, operação, ou projeto, tendo como característica fundamental à indicação, dentre as várias seqüências operacionais, daquela que possui duração máxima; permite também a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando distribuição de recursos e interdependência entre as várias ações necessárias ao desenvolvimento do projeto” (Cukierman, 1993 *apud* Musetti, 1998).

○ *Ferramenta Computacional*

Existem várias ferramentas e sistemas computacionais desenvolvidos para dar suporte ao gerenciamento de projetos. Dentre os principais se destacam na literatura os que utilizam como base os conceitos de PERT/CPM (Miranda & Almeida, 2003).

Alguns programas utilizados como suporte ao planejamento e controle de projetos são o MS Project, Primavera Project Planner, CA Super Project, Time Line e outros. Dentre eles destaca-se o MS Project, de fácil entendimento, baixo custo inicial e com a facilidade de permitir o acesso e atualização via internet; e o Primavera Project Planner, apresentando grande flexibilidade para grandes projetos, sendo mais utilizado na abordagem integrada, pois em geral as empresas têm vários projetos com apenas um *pool* de recursos a serem alocados.

Schafter (2001) *apud* Miranda & Almeida (2003) destaca as seguintes características da ferramenta MS Project 2000:

- Tarefas e informações sobre recursos podem ser categorizadas e visualizadas em qualquer agrupamento.
- Indicadores gráficos permitem a resolução de problemas potenciais.
- Tabelas/gráficos gerenciam tarefas de vários membros da equipe através de múltiplos projetos.

O caminho crítico, para um projeto individual ou através de todos os projetos inseridos, pode ser calculado para ver um simples caminho crítico para o projeto mestre global.

√ *Finalização*

Segundo Vargas (2000), essa etapa tem como objetivo avaliar o resultado do projeto junto ao cliente ou patrocinador para conhecer o seu grau de aceitação. Para viabilizá-la, na maioria das vezes, é realizada uma auditoria, de modo a avaliar se o resultado obtido está em

conformidade com o previsto nas suas definições, sendo um subsídio técnico para o aceite do projeto.

Na construção civil pode-se dizer que essa fase equívale a avaliação pós-ocupação dos imóveis visando avaliar o grau de satisfação dos clientes com relação ao atendimento e à qualidade do produto. Tal avaliação é geralmente realizada aproximadamente seis meses após o período de entrega do imóvel através da aplicação de um *check-list* referente à qualidade dos serviços de atendimento ao cliente e à qualidade do imóvel, de acordo com as especificações fornecidas no início do projeto.

3. MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

A seguir é apresentada uma visão da literatura sobre dois aspectos abordados por este estudo: a gestão de projeto na construção civil, e; o uso da decisão multicritério no gerenciamento de projeto. A partir da visão fornecida pelos estudos disponíveis na literatura foi desenvolvido um modelo que também foi adaptado, para o gerenciamento de projetos com base na avaliação multicritério.

3.1. Pesquisa Bibliográfica

3.1.1. Gestão de projeto na construção civil

O ambiente extremamente competitivo das empresas está a exigir um processo constante de melhoria no seu sistema produtivo. No caso específico da construção civil, o processo de gerenciamento do projeto apresenta uma série de características que pode resultar em perdas, atrasos nos prazos de conclusão dos empreendimentos, produtos que não atendam às necessidades dos clientes finais e elevados custos de produção como consequência de processos concebidos e planejados de forma equivocada.

Muitos autores têm estudado esse tema, classificando sua problemática como complexa, haja vista o envolvimento de um grande número de atividades e incertezas associadas, principalmente no que diz respeito ao custo e prazo de execução. Vários trabalhos também foram escritos, abordando o controle do projeto da construção civil que envolve as reprogramações quando estas se fazem necessárias.

Kasturi & Gransberg (2002), por exemplo, mostram que ao longo dos anos, na indústria da construção civil, várias técnicas de gerenciamento de projeto vêm sendo implementadas, principalmente as que dizem respeito ao tempo, considerado como um dos fatores críticos para o sucesso do projeto, juntamente com o custo e a qualidade. Eles afirmam que ao longo dos anos, o processo de gerenciamento tem se tornado cada vez mais complexo em virtude do desenvolvimento da tecnologia e de uma maior disponibilidade de produtos no mercado. Além disso, o não reconhecimento da capacidade dos trabalhadores e a dificuldade de fazê-los trabalhar em equipe constituem ainda uma grande barreira a ser derrubada.

Para um eficiente gerenciamento do tempo, ou seja, para a utilização do tempo de maneira eficaz na realização das atividades, foram recomendadas algumas ações por especialistas na área. São elas: priorização das atividades do período em ordem de importância e com base nos recursos disponíveis; melhoria do planejamento (atualizações) e uso do tempo disponível da forma mais eficiente; controle das desatenções e desvios que

quebram o fluxo normal do trabalho de acordo com a programação realizada; aumento da eficiência na programação e redução da pressão sobre as pessoas envolvidas no projeto (Kasturi & Gransberg, 2002). Todo esse contexto levou os estudiosos à elaboração de um modelo de gerenciamento para a construção civil no qual se ressalta a importância da programação e atualização do cronograma. Sabendo-se que em um projeto é freqüente a ocorrência de modificações na sua programação original, considera-se a atualização do CPM como uma parte vital do controle do projeto e como um apoio no gerenciamento do tempo e na manutenção do custo da construção sob controle.

Em relação ao controle dos desvios relativos às programações originais, a realização de replanejamentos ou reprogramações deve ser feita de maneira que se priorize as atividades com base nos recursos existentes: financeiros, materiais e humanos. Vale salientar que nesse processo o objetivo do replanejamento varia de empresa para empresa, geralmente em função do prazo final e/ou do fluxo de caixa disponível. É preciso ter muita cautela no início do projeto, quando se determina o seu marco final, ou seja, o prazo final de entrega, uma vez que o não cumprimento deste prazo acrescentado dos dias permitidos pelo atraso, acarretará em multa paga pela empresa aos clientes finais, agravando ainda mais as conseqüências de um mau gerenciamento. Segundo Zarfar & Rasmussen (2001) esse tipo de problema ocorre mais freqüentemente quando o planejamento de longo prazo, referente ao cronograma, não possui uma coerência construtiva, apresenta muito ou pouco detalhe e o fluxo do caminho crítico não é lógico, dentre outras razões.

Para Formoso et al. (1999) os replanejamentos acontecem na maioria dos projetos devido às incertezas inerentes ao processo construtivo. A incerteza na construção civil pode ser considerada como resultado da falta de recursos, da quebra aleatória de equipamentos, da variabilidade do tempo de preparação necessário à realização das atividades.

No ponto de vista de Ballard (1997), o planejamento de médio prazo é um elemento essencial na melhoria da eficácia do plano de curto prazo e conseqüentemente indispensável para a redução de custos e duração. Esse planejamento geralmente acontece em um horizonte de 1 (um) a 3 (três) meses e justifica-se pelo fato de através dele ser analisado o fluxo de trabalho de modo a obter um melhor seqüenciamento das atividades e identificação dos recursos necessários à sua execução. Em relação ao plano de curto prazo, Ballard & Howell (1997) propõem que o planejamento seja desenvolvido através da realização de ações direcionadas a proteger a produção contra os efeitos da incerteza. Isso pode ser conseguido por intermédio da adoção de planos passíveis de serem atingidos, pelo fato de terem sido

submetidos a uma análise do cumprimento de seus requisitos e pela análise das razões pelas quais as tarefas planejadas não são cumpridas.

Formoso et al. (1999) afirmam que os empreendimentos são executados com base em planejamentos excessivamente informais. A essa idéia Laufer & Tucker (1987) acrescentam que o sistema de informações nas empresas construtoras é formal, mas tem efeito limitado no canteiro de obras, no qual tanto o sistema de informações quanto a tomada de decisão são predominantemente informais. Como consequência, a administração da obra e os responsáveis pela execução dos trabalhos desconhecem, muitas vezes, que tarefas devem ser executadas ou que providências devem ser tomadas para que o trabalho seja bem executado evitando dessa forma, prejuízos para a empresa.

De acordo com Pinto (2002), o controle baseado em dados passados permite que a empresa possa prever os problemas ainda no desenvolvimento do projeto.

Tocklu (2002) propõe o uso de algoritmo genético no gerenciamento da construção. Para ele, o gerenciamento de projetos na construção civil ainda é um processo problemático, principalmente no que se refere à programação da construção com restrição de recursos. Ele justifica seu uso ressaltando que tais problemas podem ser resolvidos pelo uso de técnicas determinísticas, como o método do caminho crítico e programação linear, por exemplo, se as durações das atividades são predefinidas. No entanto, métodos estocásticos como o algoritmo genético, por exemplo, estão sendo usados nos casos em que as durações e outros parâmetros ainda estão sendo determinados. Outros trabalhos foram desenvolvidos sobre a aplicação do algoritmo genético na gestão de projeto (Hartmann, 1998; Kolich & Hartman, 1999).

Leach (2003) apresenta alguns fatores que contribuem para que as estimativas existentes na programação não sejam cumpridas, prognostica a influência das extrapolações ocorridas e com esses resultados propõe um método para programação do projeto e estimativa de custo.

Nesse contexto, é possível destacar como características mais relevantes da gestão de projetos na construção civil, a não consideração das fases de planejamento e controle como um efetivo processo gerencial; o alto grau de incerteza presente no processo construtivo; a predominância da tomada de decisão excessivamente informal pelo executor do projeto e a grande ênfase dada pelos gerentes do projeto no controle de prazos e custos.

Em relação às fases de planejamento e controle, elas são percebidas muitas vezes como um trabalho isolado de um setor da empresa ou como a simples aplicação de técnicas para obtenção de planos, quando, na verdade, constituem um processo gerencial que deve ser adequadamente modelado, planejado e controlado, devendo-se levar em consideração as

atividades de coleta e processamento de dados, envio de informações, realização de reuniões, elaboração de planos e tomadas de decisões.

O alto grau de incerteza é tratado, muitas vezes, de forma errônea, pelo fato de se detalhar excessivamente as atividades do empreendimento. É preciso reconhecer, no entanto, que a incerteza é inerente ao processo de construção em função da variabilidade do produto e das condições locais, da natureza dos processos de produção - cujo ritmo é controlado pelo homem - e da própria falta de domínio da empresa sobre seus processos (Formosos et al., 1999). Ressalte-se também que os planos que apresentam a combinação horizonte de longo prazo com alto grau de detalhamento tendem a ser pouco eficazes.

Outro aspecto a ser considerado é que a tomada de decisão na construção é um processo excessivamente informal, realizado de forma improvisada pelo executor da obra (mestre ou engenheiro responsável), tendo pouca relação com o planejamento formal realizado a nível tático. Quando muito detalhados esses planos se tornam rapidamente desatualizados, sendo, por esta razão, ignorados pela gerência operacional.

Também é importante destacar a ênfase dada ao controle de prazos e custos na gestão de projetos nesse tipo de empreendimento, o que faz com que qualquer problema ocorrido no desenvolvimento da atividade só seja percebido ao seu término através do aumento de custos ou por um atraso associado à atividade. Outra consequência da característica citada é a estagnação do projeto em relação ao índice de produtividade, ou seja, quando as atividades são concluídas de acordo com o custo e prazo previstos, os responsáveis pela obra entendem que os processos estão se desenvolvendo de forma adequada e que não necessitam de melhoria; isso ocorre porque não se leva em consideração as folgas de prazos inseridas na programação das obras e os orçamentos superestimados (Formoso et al., 1999).

No entanto, a melhoria do processo de gestão de projeto na construção civil envolve não só aspectos técnicos, mas também mudanças de caráter comportamental que se mostram necessárias para que haja um efetivo envolvimento de todos os que influem neste processo. Algumas barreiras podem ser encontradas no caminho que leva ao envolvimento das pessoas e à mudança de mentalidade. Pode-se tomar como exemplo, a falta de percepção por parte do gerente da obra quanto aos benefícios do planejamento. É comum encontrar nestes profissionais uma cultura de *tocador de obras*, ou seja, uma postura que leva a tomar decisões rapidamente, apenas com base na experiência e na intuição, sem o devido planejamento, uma vez que esta tarefa é considerada perda de tempo.

Outra barreira refere-se à necessidade de trabalho em equipe. Em geral, a execução do planejamento necessita da participação de várias pessoas, aí incluídas: um profissional com

tempo disponível para processar os dados coletados e gerar planos de obra; o gerente de obra, que é o principal tomador de decisões; o mestre de obras; sub-empreiteiros; uma equipe responsável pelos suprimentos, dentre outros igualmente importantes. Se este trabalho em equipe não for devidamente gerenciado, dificilmente o processo de planejamento e controle alcançará um estágio de consolidação.

3.1.2. Uso da decisão multicritério no gerenciamento de projeto

A metodologia de apoio multicritério à decisão tem apresentado um grande desenvolvimento nos últimos anos (Brans, 2002). O crescente número de artigos publicados e de apresentações sobre o tema em vários encontros científicos é uma comprovação de tal avanço, que certamente está ligado ao fato de tal metodologia não estar restrita a uma área isolada. Cada vez mais pesquisadores de diferentes áreas têm utilizado os métodos multicritério no estudo dos problemas reais de decisão, não importando sua natureza (Vincke, 1992).

É importante fazer referência a alguns trabalhos que abordam a questão do gerenciamento de projeto na construção civil, com o uso de métodos multicritério.

Miranda & Almeida (2003) apresentam um modelo de gerenciamento de projeto na construção civil com avaliação multicritério, no qual fica patente que o processo de gerenciamento de projeto pode ser apoiado por métodos de apoio multicritério à decisão, envolvendo o estudo dos aspectos críticos do projeto. O uso da técnica PERT/CPM em conjunto com a metodologia de apoio multicritério à decisão incorporando os aspectos críticos dos projetos permite tratar o problema de forma mais realística. Deste modo, as atividades prioritárias do projeto são determinadas de forma que o gerente possa concentrar seus esforços no controle e acompanhamento das atividades que apresentem maiores chances de problemas ao longo da execução. Para isso, através do uso da técnica PERT/CPM são determinadas as atividades críticas com relação ao tempo e em seguida, inserindo-se os novos critérios alocados ao projeto, como duração, folga e custo por exemplo, as atividades prioritárias são determinadas através da aplicação do método de apoio multicritério à decisão (Miranda & Almeida, 2003).

Já Zavadskas et al. (1998) propõem um modelo para tomada de decisão direcionado à fase de manutenção da construção, com o objetivo de mostrar um caminho para realização de atividades que fornecessem vida-útil mais longa para uma construção. O modelo permite: determinar as alternativas obtidas através da análise de toda informação disponível; determinar os critérios de maior relevância, como a razão benefício-custo e duração do

processo, por exemplo; e a aplicação do método multicritério resultando na recomendação da alternativa com maior aproveitamento dentro dos critérios estabelecidos.

Dey (2002) apresenta uma abordagem quantitativa para gerenciamento de risco na construção civil através da utilização do AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e da árvore de decisão. Tal estudo se desenvolveu tendo como base as incertezas existentes nos projetos de construção civil, pelo envolvimento de vários *stakeholders*, longas durações e impróprias definições de escopo. Esses projetos poderão ser gerenciados durante todo o seu ciclo de vida, de modo que permita o alcance das suas metas, definidas em fase anterior. O referido autor adota o AHP para analisar o efeito do risco no projeto pela determinação da probabilidade de sua ocorrência e usos da análise da árvore de decisão (DTA) para seleção de respostas ao risco direcionadas a específicos pacotes de trabalho compostos de várias alternativas. Já Riggs et al. (1994) apresentam uma ferramenta computacional integrando aspectos técnicos, de custo e de riscos na programação, utilizando o AHP, na gestão de projetos.

O AHP é um método de apoio a decisão em que o problema de decisão é representado por uma hierarquia em cujo nível mais alto, se encontram os objetivos finais (Vincke, 1992; Olson, 1996). A cada nível da hierarquia, o julgamento comparativo é realizado considerando a contribuição de cada elemento, em relação aos dos vértices do nível hierárquico superior, a que se conectam. Na avaliação entre os pares, utiliza-se uma escala numérica proposta. No caso de comparação entre ações, o julgamento é feito em termos de "razões de preferências", e para comparações entre critérios, analisam-se as "razões de importância" (Vincke, 1992). Apesar de muito utilizado, não é bem conceituado devido a inconsistências que esse método apresenta (Tung & Tang, 1998; Barzilai et al., 1994).

Na pesquisa realizada, outros trabalhos foram encontrados na área de gerenciamento de projeto relativos à seleção de fornecedores e à escolha de locais para a construção. Al-Harbi (2001), por exemplo, utilizou o AHP para a seleção de fornecedores durante o gerenciamento do projeto. Ele afirma ser esse um método potencial de tomada de decisão para o uso no gerenciamento de projeto da construção civil. Teodorovic et al. (1983) utilizaram o ELECTRE na ordenação de cidades que deveriam ser incluídas na rede de aeroportos da Iugoslávia, visando a obtenção de uma melhor seqüência para a construção dessa rede. Rogers (2000) utilizou o ELECTRE III na ordenação de 11 (onze) alternativas referentes a sistemas de moradias com sete critérios, destacando-se os referentes a recursos de mão de obra, materiais e demanda de energia.

Através da pesquisa bibliográfica realizada foi possível entrar em contato com informações valiosas relativas ao uso dos métodos multicritério no gerenciamento de projetos de construção.

Dentre os trabalhos apresentados no assunto em questão foram utilizados métodos multicritério de apoio à decisão que consideram mais de um critério simultaneamente. Vários critérios foram utilizados, de acordo com cada caso, destacando-se os relacionados à duração, custo, relação benefício-custo, folga, aspectos técnicos, recursos humanos e materiais.

Neste contexto, a maioria dos trabalhos utilizou os métodos multicritério para problemas de escolha e priorização, sendo possível citar o AHP, a árvore de decisão e o ELECTRE como métodos mais utilizados.

3.2. Descrição do modelo de gerenciamento de projeto

3.2.1. Modelo Proposto

A seleção ou priorização de atividades que merecem um gerenciamento mais nobre pode ser efetuada através de métodos multicritério de apoio à decisão, que considera mais de um critério simultaneamente (Miranda & Almeida, 2003).

Esses métodos podem ser aplicados em dois momentos distintos: na fase de planejamento, antes de se iniciar a execução do empreendimento; e na de controle, durante a fase de execução (ibidem). Para tanto é preciso que as redes PERT-CPM estejam construídas e os aspectos críticos do projeto definidos.

Em relação a este estudo, um enfoque especial será dado ao procedimento elaborado para a fase de controle de projeto. Este procedimento deve ser utilizado para selecionar as atividades críticas de um período específico levando-se em consideração as mudanças (replanejamentos) ocorridas durante a execução do empreendimento. Ressalte-se que a cada período, as atividades a serem executadas mudam. A estrutura do modelo é apresentada a seguir:

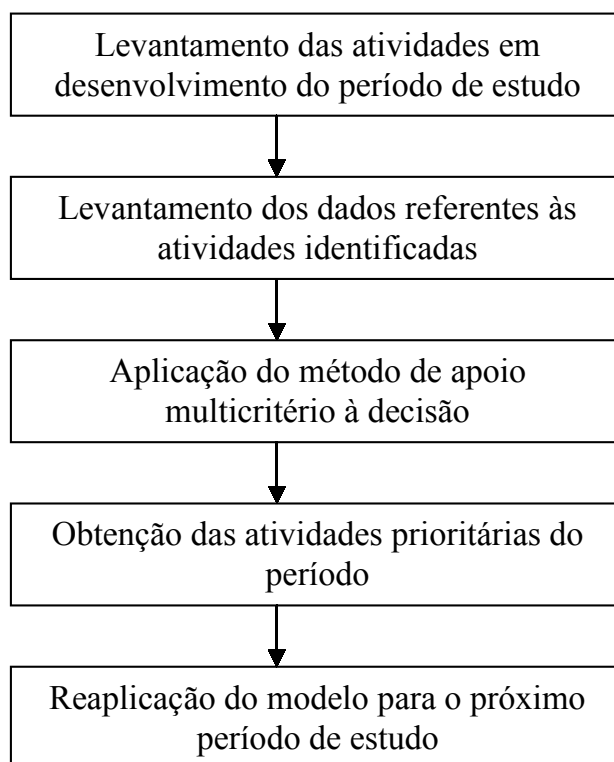


Figura 3.1. – Modelo de gerenciamento de projetos (adaptado de Miranda & Almeida, 2003)

O primeiro passo consiste no levantamento das atividades em desenvolvimento no período de estudo. Caso as atividades do caminho mais longo tenham folga “zero”, essas são imediatamente selecionadas e indicadas como críticas. Em seguida, são levantados os dados referentes às atividades identificadas, passando-se então à aplicação do método de apoio multicritério à decisão que pode ter seu modelo ajustado, caso seja necessário. Como resultado, obtêm-se as atividades prioritárias do período, que deverão merecer uma atenção especial. Depois de obtido o resultado, o modelo deverá ser aplicado para o período de estudo seguinte e assim sucessivamente até se chegar ao último período.

A aplicação deste modelo permite avaliar a criticidade das diferentes alternativas que fazem parte do projeto, levando-se em consideração os critérios relevantes para o processo de tomada de decisão (Miranda & Almeida, 2003).

3.2.2. Modelo adaptado

Diante das incertezas e da complexidade existentes na construção civil, nem todas as atividades descritas no plano são passíveis de serem cumpridas.

O modelo utilizado neste trabalho foi adaptado do proposto por Miranda & Almeida (2003). A seguir, são listados os passos deste modelo:

- Levantamento das atividades: no caso do planejamento ser realizado para o período de um (1) mês, o levantamento das atividades deve abranger as previstas para o mês em estudo e as do mês seguinte. De acordo com Miranda & Almeida (2003), as atividades do caminho crítico deverão ser imediatamente priorizadas, caso possuam folga zero.
- Levantamento dos dados das atividades: em relação aos dados das atividades devem ser verificadas as relações de interdependência entre elas - facilmente verificados na rede PERT-CPM - o estágio de execução em que elas se encontram, assim como as condições para sua realização.
- Determinação dos critérios para o período em estudo: o responsável pelo planejamento e controle das atividades do projeto deve definir os critérios relevantes, segundo seu ponto de vista, para a seleção das atividades a serem realizadas naquele período específico. Não podem ser considerados os mesmos critérios em todas as etapas da obra, uma vez que eles variam de período a período, principalmente quando se passa de um macroprocesso para outro, ou seja, os critérios considerados para a fase de fundação são diferentes dos considerados na fase da estrutura que por sua vez diferem dos da fase de acabamento e finalização. Por exemplo, há períodos em que as condições climáticas interferem fortemente na seleção das atividades, enquanto em outros não. Também há momentos em que a exposição a riscos é maior que em outras.
- Avaliação das alternativas: é importante por se tratar de um instrumento pelo qual são gerados os dados para o modelo.
- Escolha e aplicação do método multicritério: de acordo com o propósito pretendido segue-se a escolha do método multicritério, passando-se então a realizar sua aplicação. Como resultado, obtêm-se as atividades prioritárias para o período em estudo.
- Atualização do planejamento de longo prazo: caso o resultado obtido tenha sido fruto de um replanejamento, é preciso que se atualize o planejamento de longo prazo, explicitado no cronograma da obra, permitindo desta forma, que o modelo seja reaplicado no período seguinte.

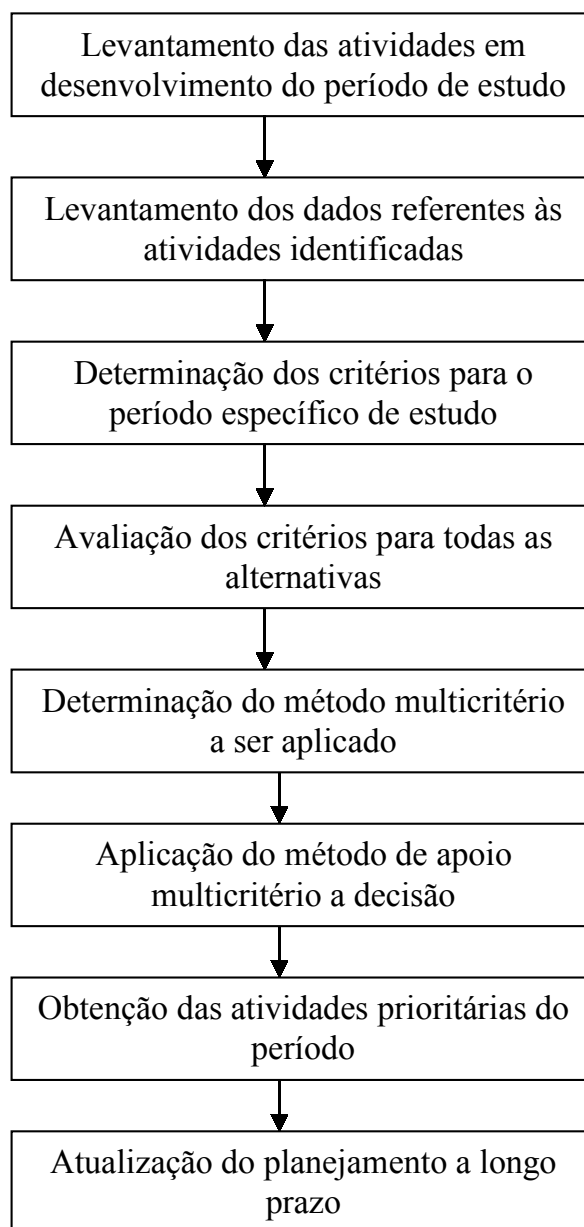


Figura 3.2. – Modelo adaptado para gestão de projetos

Para a aplicação do modelo para o período seguinte em estudo pode-se usar o modelo proposto por Miranda & Almeida (2003), no subitem anterior.

A adoção de um modelo de gestão de projeto em uma empresa de construção civil, associado ao apoio multicritério à decisão pode aumentar bastante sua capacidade de competitividade dentro do setor atuante, uma vez que estrutura o processo decisório, e o torna mais transparente, facilitando a visão da realidade em que se encontra inserido o empreendimento.

4. APLICAÇÃO DO MODELO

Para a aplicação do modelo com apoio do método multicritério foi realizado um estudo de caso em empreendimento na região metropolitana do Recife, cujo gestor responsável disponibilizou o material necessário ao estudo de suas condições atuais de gerenciamento e se dispôs a realizar a aplicação do modelo. Esse modelo foi tratado sob a ótica da problemática de escolha sob restrições, tendo sido utilizado o PROMETHEE V para a seleção do conjunto de alternativas que satisfizesse as condições necessárias à sua efetivação. Um sistema de apoio à decisão desenvolvido para o gerenciamento de projetos é sucintamente descrito neste capítulo.

4.1. Sistema de apoio à decisão

Para dar suporte ao processo de gerenciamento de grandes projetos, atendendo a múltiplos critérios, foi desenvolvido um Sistema de Apoio a Decisão – SAD, que complementa as tarefas executadas pelo software Microsoft Project, permitindo maior facilidade em sua aplicação.

Segundo Davis & Olson (1985), um SAD é um sistema de informação utilizado para dar suporte a um tomador de decisão de qualquer nível, face a problemas semi-estruturados e não estruturados. É composto de uma base de dados que auxilia o sistema, uma base de modelo que provê a capacidade de análise e o diálogo que permite a interação entre o usuário e o sistema (Bidgoli, 1989).

Para que o SAD desempenhe o seu papel, além da correta construção e interação dos seus componentes é preciso também entender o que os usuários conhecem sobre decisão e sobre o SAD (Cabral et al., 2002). O conhecimento dos usuários sobre o problema é aprendido fora do SAD. O sistema permite que o usuário entenda melhor a decisão, porém o problema deve ser conhecido antes, sendo necessário o conhecimento de métodos de apoio à decisão e de sua correta utilização (ibidem).

Na construção do SAD foi utilizado o método PROMETHEE, sendo sua escolha justificada pelo enquadramento tanto da problemática de ordenação quanto de escolha de um subconjunto de ações e pela facilidade do decisor em trabalhar com os parâmetros do modelo.

O sistema de apoio à decisão – SAD - apóia o procedimento de gestão de projetos, conforme apresentado no capítulo 3. A execução do aplicativo permite indicar as atividades que merecem uma atenção especial, dentro do período abordado.

Atividades	Promethee	Fluxo Líquido	Custo	Cond. Físicas	Duração	RH	Cond. Clim.	Rec. Materiais
1 Mov terra - A1	Yes	0,16	897,72	0,33	1	0,33	1	0
2 1/2 1ª laje - A2	Yes	0,14	87743,04	0,66	2	1	0,66	0,25
3 emboço e mas.ún. - A3	Yes	0,1	6880,7	1	3	0,67	0	0,25
4 massa gesso - A4	Yes	0,08	17757,5	1	6	1	0	0,5
5 cimentado piso- A5	Yes	0,05	2243,98	1	3	0,67	0	0,25
6 soleira granito - A6	Yes	0,02	608	0	1	0,67	0	0,25
7 cobertura - A7	Yes	-0,13	5783,66	0	2	1	1	0,25
8 forro - A8	Yes	-0,14	1423,89	0	5	1	0	0,5
9 Impermeabilização - WC -A9	Yes	-0,28	1442,76	0,66	3,5	0,67	0	0,25
10								
11								
12 Mov terra - A1	Yes	0,16	897,72	0,33	1	0,33	1	0
13 1/2 1ª laje - A2	Yes	0,14	87743,04	0,66	2	1	0,66	0,25
14 emboço e mas.ún. - A3	Yes	0,1	6880,7	1	3	0,67	0	0,25
15 massa gesso - A4	Yes	0,08	17757,5	1	6	1	0	0,5
16 cimentado piso- A5	Yes	0,05	2243,98	1	3	0,67	0	0,25
17 soleira granito - A6	Yes	0,02	608	0	1	0,67	0	0,25
18 cobertura - A7	Yes	-0,13	5783,66	0	2	1	1	0,25
19 forro - A8	Yes	-0,14	1423,89	0	5	1	0	0,5
20 Impermeabilização - WC -A9	Yes	-0,28	1442,76	0,66	3,5	0,67	0	0,25

Figura 4.1. – Tela inicial do Sistema de Apoio à Decisão

A tela principal de interação com o usuário é apresentada abaixo (figura 4.2). Essa tela exibe um formulário de entrada de dados e saída dos resultados onde o usuário entrará com os parâmetros nos campos indicados, dando início ao cálculo de ordenação das atividades através do método multicritério PROMETHEE II. O usuário poderá visualizar o resultado diretamente no formulário ou numa coluna de uma planilha do Microsoft Project.

Seleção de Atividades em Projetos com Avaliação Multicritério

Parâmetros

Pesos		Limiares		
Custo	0,3	V	q 10000	p 20000
Cond. Físicas	0,15	II	q 1	p
Duração	0,10	I	q	p
RH	0,15	II	q 1	p
Cond. Clim	0,15	IV	q 1	p 2
Rec. Materiais	0,15	IV	q 1	p 2

Impressão

Calcular Cenários Fechar

Mov terra - A1; 1/2 1ª laje - A2; emboço e mas.ún. - A3; massa gesso - A4; cimentado piso- A5; soleira granito - A6; cobertura - A7; forro - A8; Impermeabilização - WC -A9;

Restrição de Custo 35000 Exportar

Figura 4.2. – Formulário de entrada de dados e saída de resultados

Com a ordenação obtida, o PROMETHEE V pode então ser aplicado para a seleção de um subconjunto de ações, acrescentando-se as restrições necessárias no formulário de entrada de dados e exportando os dados para o Microsoft Excel, onde será visualizado o resultado.

4.2. Descrição da empresa

A empresa envolvida no estudo de caso - sediada em Recife - atua na área de incorporação e construção de empreendimentos imobiliários para clientes particulares e públicos estando no mercado há vinte e cinco anos, sendo caracterizada como uma empresa de pequeno porte. Fundada em 1977 já construiu, aproximadamente, 18 empreendimentos englobando obras públicas e residenciais. A empresa possui certificação ISO 9002/94 estando em fase de transição para a ISO 9001/2000.

No período de realização deste estudo a empresa possuía dois empreendimentos em andamento. Dentre aqueles que compõem o escalão superior da empresa, têm relevância para compor o quadro conceitual-analítico do trabalho neste momento, as funções exercidas pelo diretor, supervisor e engenheiro residente. O supervisor é diretamente responsável pelo gerenciamento dos projetos (empreendimentos, obras). Ao engenheiro residente cabe a responsabilidade de conduzir a obra enquanto o diretor acompanha o andamento de todas elas, influenciando diretamente no processo de gerenciamento, embora sua atuação maior seja direcionada à parte administrativa. Importante é ressaltar que todos possuem formação em engenharia civil.

É relevante também esclarecer que todos os projetos da empresa são desenvolvidos através da contratação de profissionais externos à mesma, ou seja, através da terceirização de serviços. Nesse caso incluem-se também os profissionais que trabalham na realização do orçamento, setor de fundamental importância tanto para o planejamento quanto para os replanejamentos.

A obra, alvo de estudo de caso, é composta de duas torres tendo cada uma vinte e três pavimentos assim distribuídos: um pavimento semi-enterrado, um térreo, um vazado, vinte pavimentos tipo e uma coberta. As duas torres são separadas somente por uma ⁵junta de dilatação possuindo, no entanto, instalações independentes. Cada uma possui dois elevadores, sendo um social e um para serviço.

Cada pavimento tipo possui dois apartamentos, medindo cada um 100,24m². O prazo máximo de entrega da obra está previsto para o final de fevereiro de 2004, já incluídos os 180 dias úteis de atraso constantes do contrato. A partir do mês seguinte a empresa terá que pagar uma multa ao seu cliente, por não ter cumprido o contrato.

⁵ A junta de dilatação é utilizada para conter as deformações da estrutura, sendo utilizado no caso específico o isopor.

O empreendimento, que se encontra na fase de acabamento, foi acompanhado por um período de três meses (de março a maio) durante o qual foram feitas as projeções e obtidos os resultados que serão mostrados adiante.

4.2.1. Estrutura do gerenciamento de projeto da empresa

Pode-se dizer que o sistema de gerenciamento de projeto da empresa funciona hoje de forma precária e arcaica, o que dificulta o acompanhamento e gerenciamento das atividades pelos responsáveis por essa tarefa. Para entender o porquê dessa afirmação é preciso conhecer como funciona a estrutura de gerenciamento da empresa.

Todo o acompanhamento da obra é feito através do cronograma físico-financeiro, por não haver um cronograma de acompanhamento próprio para a execução. O cronograma físico-financeiro é aquele que contém as atividades a serem realizadas, os custos referentes a cada atividade e o custo total de todas as atividades do mês. Tal cronograma foi preparado no *Excel*, não havendo espaço para acompanhar o *status* do projeto, ou seja, para verificar o que foi previsto e o que efetivamente foi realizado.

O responsável pelo gerenciamento é o supervisor, que define a melhor estratégia para a execução das atividades, juntamente com o diretor. Na segunda quinzena de cada mês o supervisor faz o planejamento das atividades a serem executadas no mês seguinte, devendo essa programação passar pela aprovação do diretor que ditará o fluxo de caixa disponível para a realização das atividades. Ressalte-se que todo esse procedimento é escrito manualmente, em papel. Caso seja preciso realizar reprogramações, as alterações são levadas para a empresa responsável pelo orçamento, para que faça as devidas correções no cronograma físico financeiro, que está sempre atualizado em relação ao que já foi executado. Não há um cronograma de acompanhamento explícito para que todos os envolvidos nas atividades do projeto (obra), ou seja, estagiários, mestre de obra e engenheiro residente possam acompanhar o ritmo de desenvolvimento da obra.

Explicitando melhor o que foi exposto anteriormente, pode-se dizer que o processo pode ser resumido da seguinte forma: a partir do planejamento a longo prazo, o supervisor faz no meio de cada mês, a programação para o mês seguinte. A partir dessa programação mensal, ele faz programações semanais relacionando as atividades aos responsáveis pela sua execução. Já as programações são feitas com base nos recursos financeiros, ou seja, quase tudo gira em torno do fluxo de caixa disponível.

Antes de dar início à aplicação do modelo foi necessário - para facilitar e organizar os acompanhamentos das atividades desenvolvidas - transferir os dados presentes no cronograma

físico financeiro, feito no *Microsoft Excel*, para o *Microsoft Project*. A inserção dos dados na planilha do novo programa possibilitou acompanhar de perto e de forma mais clara o desenvolvimento da obra, embora problemas inesperados sempre apareçam. Mantendo-o atualizado foi possível examinar a situação mais atual do projeto identificando problemas que poderiam afetar seu sucesso.

Depois de repassadas todas as atividades com as respectivas durações - que já haviam sido estimadas anteriormente durante a fase de planejamento - foi avaliada a rede PERT-CPM. Conforme dito anteriormente, as programações feitas nessa empresa são mensais, ou seja, a partir do planejamento a longo prazo referente ao cronograma da obra, é feito um planejamento para o mês seguinte. Muitas vezes, nesse planejamento, a programação que consta no plano de longo prazo não pode ser cumprida seja pela redução de recursos financeiros disponíveis seja por atraso de fornecedor, ou por outras condições adversas. O supervisor, consciente das condições que se apresentam, executa o replanejamento. Entretanto, como ele não possui registro do que foi feito, a situação real em que se encontra o empreendimento pode estar mascarada.

4.2.2. Identificação dos atores

Verificado o processo de gerenciamento do empreendimento em estudo, torna-se necessário destacar os agentes atuantes no ambiente da atividade de apoio à decisão em tal processo.

Conforme explicitado anteriormente no capítulo 2, um processo decisório é composto de “atores” que o influenciam de alguma forma e que assumem um papel fundamental, visto que a atuação de cada um depende do seu próprio sistema de valores, por meio do qual expressam suas preferências com o propósito de atingir os seus objetivos.

A decisão final pode ser obtida por uma só pessoa, mas para isso é necessário realizar uma série de atividades anteriores de negociação e discussões sobre os limites que tal decisão deve ter até se alcançar um resultado final.

Na maioria dos problemas reais, o decisor não é tido como a única pessoa que está verdadeiramente habilitada para realizar a decisão (Roy,1996). Normalmente, várias pessoas tomam partido no processo decisório, que assume assim um caráter coletivo (diretorias, comissões, etc.). Na realidade, o decisor é a pessoa para quem a atividade de apoio está especialmente dirigida.

No caso aqui apresentado, o modelo foi elaborado para apoiar o responsável pelo gerenciamento do projeto (obra) estudado, ou seja, o supervisor, chamado neste estudo pelo

nome de decisor. É importante destacar também a presença ativa de outro agente de decisão que está envolvido no processo: o diretor.

4.2.3. Identificação da problemática

Dado o conjunto de ações potenciais, é necessário que se determine em que termos o problema é colocado. A palavra problemática descreve a concepção do analista em relação à forma de abordagem do problema, como serão direcionadas as investigações e como os resultados serão apresentados (Roy, 1996).

De acordo com as definições apresentadas no capítulo 2 pode ser colocado que o problema de apoio à decisão considerado ajusta-se à problemática de escolha sob as restrições impostas.

Essa problemática foi escolhida devido à necessidade de selecionar um subconjunto de alternativas potenciais. Nela, procura-se escolher θ ações entre n , sendo o número θ fixado com antecedência ou a determinar, considerando-se as restrições impostas, de modo que contenha apenas as mais satisfatórias ou as alternativas de melhor compromisso para o período em que esteja sendo realizado o estudo do projeto em questão.

De um modo geral, essa problemática pode ser considerada como a necessidade percebida pelo gerente de obra de estruturar e modelar o processo de seleção da alternativa para promover uma melhoria de eficiência e eficácia dentro do seu processo de gerenciamento.

Nesse contexto, o estudo do conjunto das alternativas do processo decisório será feito com o objetivo de se obter um subconjunto de alternativas mais satisfatórias a serem implantadas e que constituem o conjunto de ações do processo decisório. Roy (1996) define uma ação a como a representação de uma eventual contribuição para a decisão, capaz de ser considerada de forma autônoma e de servir de “ponto de aplicação” ao apoio à decisão. De acordo com os conceitos estabelecidos no capítulo 2, o conjunto de ações selecionado é caracterizado como estável, por ser definido *a priori*, e globalizado, por ser analisado de forma independente, sendo sua implementação exclusiva em relação a qualquer outra ação implementada no modelo.

4.3. Aplicação - Mês 1

4.3.1. Levantamento das atividades e dos dados referentes

Para o levantamento das atividades foram avaliadas na obra as que compunham o caminho crítico, referentes ao período, e inseridas automaticamente no planejamento as que possuíam folga zero, uma vez que o seu não cumprimento implicaria no atraso da obra.

As outras atividades que estavam em paralelo com as do caminho crítico e que poderiam ser executadas, por não haver restrição de ordem de precedência, foram elencadas para verificar as que seriam selecionadas.

Assim, para o primeiro mês, considerou-se o seguinte conjunto de atividades referentes às ações do processo decisório:

- √ Movimento de terra: corresponde à escavação para execução de cortina na periferia do terreno;
- √ Parte $\frac{1}{2}$ da 1ª laje: corresponde à montagem da forma, armação e concretagem da periferia da primeira laje, relativa à expansão da lâmina para o vazado e área de garagem. Essa expansão não poderá ser feita de uma só vez por não se possuir formas suficientes, estando planejada metade da sua execução para o mês 02 e a outra metade para o mês 03;
- √ Emboço e massa única: 12º, 13º, 14º, 15º pavimentos da segunda torre;
- √ Massa de gesso: 4 últimos pavimentos da primeira torre e primeiro pavimento da segunda, correspondente a 12,68% do total da atividade;
- √ Cimentado do piso: corresponde ao término do 16º e ao 17º andar, equivalente a 3,60% da atividade total, correspondendo a um total de 94,27% da atividade executada;
- √ Soleira de granito: iniciar e terminar a 2ª torre, concluindo a atividade;
- √ Coberta: iniciar a atividade realizando 50% do total;
- √ Forro: início da atividade executando 12,5% do total;
- √ Impermeabilização do banheiro: 44% da atividade já foi realizada. A execução prevista para esse mês refere-se a 11,04% do total da atividade.

4.3.2. Determinação dos critérios

Os critérios permitem a avaliação das alternativas de forma a verificar que, para uma alteração na classificação da alternativa num dado critério, será observada uma redução ou aumento da satisfação da alternativa (Gomes et al., 2002).

A família de critérios deve representar de forma clara e correta o juízo de valores do decisor. Na análise dos critérios de decisão podem aparecer critérios quantitativos ou qualitativos. Um critério é dito quantitativo quando é possível medi-lo ou graduá-lo por meio de métodos determinísticos ou probabilísticos, e qualitativo quando sua graduação é feita por meio de julgamentos subjetivos (ibidem).

De acordo com a experiência do decisor, foram determinados os critérios julgados por ele importantes para o processo de gerenciamento de projeto dentro do período estudado. Tais critérios foram levantados no intuito de analisar as alternativas propostas sendo selecionados pelo decisor de acordo com a necessidade atual da fase de acabamento. São eles:

√ Custo da atividade:

A execução da atividade depende do custo devido ao fluxo de caixa disponível para período em questão. Esse critério é facilmente mensurável, já que o orçamento realizado em fase anterior contém todos os valores necessários e permite uma comparação bastante objetiva.

√ Duração da atividade:

É o tempo estimado para a realização da atividade, de acordo com o planejamento a longo prazo (cronograma). A duração da atividade também tem uma grande influência na escolha da atividade: uma atividade de grande duração não pode ser deixada para o fim do projeto porque pode, desta forma, comprometer o prazo final de execução que, por sua vez, vai repercutir nos custos. Prazo e custo são, pois, as duas principais preocupações do gestor da obra. A duração possui, portanto, um valor bastante objetivo, que depende apenas do tempo estimado para a execução.

√ Recursos humanos:

Esse critério equivale à mão-de-obra disponível para execução das atividades, em relação a aspectos de qualificação e não de quantidade, não possuindo uma mensuração objetiva como os anteriores. Para evitar problemas de uma análise subjetiva, foram adotados os seguintes níveis de preferência:

Tabela 4.1. – Nível de preferência associado ao critério recursos humanos

Nível de preferência	Conceito
Especializada	A alternativa necessita de mão de obra especializada para a sua execução. Refere-se ao trabalhador que só executa aquela determinada atividade. Como exemplo podemos citar o carpinteiro e o ferreiro.
Flexível	A alternativa não necessita de mão-de-obra especializada e sim flexível. Seria o caso do trabalhador multifuncional, no entanto qualificado para a execução das atividades que desempenha.
Sem qualificação com experiência	Alternativas passíveis de serem executadas por aqueles trabalhadores que não são “classificados”, ou seja, que não são registrados como profissionais, mas possuem experiência suficiente para realizá-las. Na construção eles são conhecidos como “serventes práticos”.
Sem qualificação – sem experiência	Alternativas que não precisam de nenhum conhecimento nem experiência do trabalhador para serem executadas.

√ Recursos materiais:

Esse critério deve ser enquadrado, pois não há razão para se considerar uma atividade e não verificar se o material estará disponível no canteiro de obra. Muitas vezes, não se trata de fazer o pedido e obter disponibilização imediata do material. Trata-se da dependência do fornecedor que pode atrasar a entrega, seja de ferragem e de bloco cerâmico, realizada por fornecedores locais, ou de portas ou cerâmicas, por exemplo, cujos fornecedores são de outras regiões do país. Esse critério também não possui uma mensuração objetiva, sendo adotado para o tratamento de uma análise subjetiva os seguintes níveis de preferência:

Tabela 4.2. – Nível de preferência associado ao critério recursos materiais disponíveis

Nível de Preferência	Conceito
Encomenda específica externa	A alternativa necessita de material com características únicas, de difícil aquisição. Como não é um material comum, fácil de ser encontrado, deve-se ter urgência na solução do problema de modo que não acarrete o atraso da obra, tanto pela questão de prazo de entrega quanto de especificações de materiais como esquadrias de alumínio ou vidros de cores diferentes.
Encomenda específica local	A alternativa necessita de material com características únicas porém de fácil aquisição. Como não é um material comum de ser produzido deve-se ter urgência de modo que não acarrete no atraso da obra, uma vez que o desenvolvimento do material poderá ser acompanhado por ser produzido no mesmo local, não havendo maiores problemas quanto à especificação. Tampa de shaft (abertura para inspeção hidráulica utilizado para manutenção) da cor do revestimento pode ser citado como um exemplo.
Disponibilização programada externa	Uma atenção mediana deve ser dada à alternativa uma vez que não há muito problema na questão de especificação por ser um material comumente produzido; no entanto, a maior preocupação está no prazo de entrega. Pode-se ter como exemplo a cerâmica.
Disponibilização programada local	Pouca atenção é depositada sobre a alternativa, pois corresponde àqueles materiais que são frequentemente entregues. O atraso que pode ocorrer é geralmente muito pequeno e qualquer erro de especificação é rapidamente solucionado (bloco cerâmico, brita).
Disponibilização imediata	Nenhuma preocupação adicional é depositada sobre a alternativa, uma vez que corresponde ao uso daqueles materiais que podem ser comprados em qualquer armazém (tubos eletrodutos, pregos).

√ Condições físicas de realização da atividade:

Refere-se à busca de melhores condições de execução da atividade de modo a evitar o retrabalho e a permitir um melhor aproveitamento do tempo. Esse critério foi definido pelo decisor, de acordo com a sua experiência *a priori*. Por exemplo, não seria correto iniciar a pintura dos apartamentos sem antes finalizar a cobertura, uma vez que qualquer infiltração implicaria em um retrabalho em relação à pintura. A questão da segurança também está inclusa nesse critério. Não poderíamos, por exemplo, colocar o piso da área externa sem antes ter terminado a fachada, uma vez que a pessoa que estiver trabalhando em baixo correrá risco por queda de materiais. Por se tratar de um critério subjetivo os seguintes níveis de preferência podem ser relacionados.

Tabela 4.3. – Nível de preferência associado às condições físicas de realização das atividades

Nível de preferência	Conceito
Boa	De acordo com os acontecimentos na obra, a alternativa proporciona uma boa condição para a sua execução.
Regular	A alternativa proporciona uma boa condição mediana para a execução, podendo ocorrer algum retrabalho ocasionado por algum imprevisto ocorrido em etapas posteriores.
Ruim	A alternativa expõe claramente o trabalhador ao risco de um acidente e alta condição de retrabalho
Desprezível	A alternativa expõe o trabalhador a um alto risco de acidente de trabalho.

√ Condições Climáticas:

Deve-se escolher os melhores períodos para realização dos serviços em relação à chuva e aos ventos fortes. Esse critério também é relevante dada a influência da chuva na realização da atividade. Por exemplo, na realização do concreto a chuva influenciaria diretamente na relação água:cimento além de influenciar na sua resistência final. Outros exemplos podem ser citados como a execução da cobertura e da fundação, que requer cuidados especiais devido a desmoronamentos de terra, etc. Esse critério também não possui uma mensuração objetiva, sendo adotados os seguintes níveis de preferência.

Tabela 4.4. – Nível de preferência associado às condições climáticas

Nível de preferência	Conceito
Muito ruim	A alternativa sofre grande influência da chuva. Ela realmente impede a realização da atividade, podendo causar custos adicionais para viabilizá-la quando for imprescindível a sua realização.
Ruim	A chuva coloca em risco tanto a segurança do trabalhador quanto a viabilidade para a execução da atividade.
Regular	A chuva atrapalha, mas não impede a realização da atividade; ocorrem atrasos.
Boa	Condições normais para realização das atividades (sem chuva e vento forte)

O fluxo de caixa foi indicado como fator fundamental para a realização das atividades, cuja seleção se dá, portanto, em função do fluxo de caixa disponível para aquele empreendimento, naquele determinado mês. Neste contexto, as programações só poderão ser realizadas mediante a estimativa do fluxo de caixa do mês seguinte que funciona como um agente limitador, não sendo, no entanto determinado como critério, por não possibilitar a avaliação das alternativas.

4.3.3. Avaliação das alternativas

A avaliação das alternativas em relação aos critérios, tanto em valor absoluto como em importância relativa, merece uma atenção especial, por se tratar do instrumento pelo qual são gerados os dados para o modelo e em que as alternativas manifestam suas características, representando os aspectos intrínsecos de cada sistema.

É importante destacar que a partir desse ponto em diante as alternativas foram codificadas pela letra *A* numeradas de A_1 a A_8 , representando cada uma das alternativas sob avaliação, conforme a tabela 4.5. Na tabela 4.6 são apresentados os códigos dos critérios a serem utilizados daqui por diante neste trabalho, com o intuito de facilitar a visualização das próximas tabelas.

Tabela 4.5. Codificação de alternativas

Códigos	Alternativas
A_1	Movimento de terra
A_2	Parte $\frac{1}{2}$ da 1ª laje
A_3	Emboço e massa única
A_4	Massa de gesso
A_5	Cimentado do piso
A_6	Soleira de granito
A_7	Execução de cobertura
A_8	Forro gesso
A_9	Impermeabilização do banheiro

Tabela 4.6. Codificação de critérios

Códigos	Critérios
Cr_1	Custo
Cr_2	Condições físicas para realização da atividade
Cr_3	Duração da atividade
Cr_4	Recursos humanos disponíveis
Cr_5	Condições climáticas
Cr_6	Recursos materiais disponíveis

Dentre os critérios considerados, alguns possibilitam uma comparação bastante objetiva. São eles, o custo da alternativa - sendo considerado seu valor expresso por quantias monetárias - e a duração, medida em meses.

Os outros critérios possuem natureza bastante subjetiva não tendo uma escala clara de valores que possa ser utilizada como recurso de comparação. Como nesses critérios as

diferenças entre uma ou outra alternativa podem ser sutis e de difícil mensuração, adotou-se uma escala de comparação verbal, que permite aliar a simplicidade da análise a uma maior garantia de objetividade. Essa escala de comparação verbal foi exposta para cada um dos critérios subjetivos no item anterior.

A partir dos itens avaliados de forma qualitativa e quantitativa, foi elaborada a tabela 4.7. abaixo, composta pelos conceitos de cada uma das alternativas para cada critério considerado.

Tabela 4.7. – Tabela de Avaliação 1

ALTERNATIVAS	CRITÉRIOS					
	Cr ₁ (R\$)	Cr ₂	Cr ₃ (meses)	Cr ₄	Cr ₅	Cr ₆
A ₁	897,72	Ruim	1	Sem qualificação /com experiência	Muito ruim	Disponibilização imediata
A ₂	87743,04	Regular	2	Especializada	Ruim	Disponibilização programada local
A ₃	6880,7	Boa	3	Flexível	Boa	Disponibilização programada local
A ₄	17757,5	Boa	6	Especializada	Boa	Disponibilização programada externa
A ₅	2243,98	Boa	3	Flexível	Boa	Disponibilização programada local
A ₆	608,00	Desprezível	1	Flexível	Boa	Disponibilização programada local
A ₇	5783,66	Desprezível	2	Especializada	Muito ruim	Disponibilização programada local
A ₈	1423,89	Regular	5	especializada	Boa	Disponibilização programada externa
A ₉	1.442,76	Regular	3,5	Flexível	Boa	Disponibilização programada local

4.3.4. Determinação do método multicritério

Os métodos de apoio multicritério à decisão permitem uma abordagem mais abrangente e realista dos problemas complexos de decisão, à medida que possibilitam a modelagem de uma diversidade maior de fatores envolvidos no processo decisório (Gomes et al., 2002).

A escolha do método a ser empregado depende do tipo de problema em análise, do contexto estudado, dos atores envolvidos, da estrutura de preferência e do tipo de resposta que se deseja alcançar, ou seja, é preciso identificar a problemática de referência. Dessa forma, o problema em questão será ilustrado pela problemática de escolha, considerando-se eventuais restrições que possam ocorrer.

No entanto, um problema multicritério não é um problema fácil. Geralmente não há uma solução ótima associada, pois nenhuma alternativa é melhor que outra em todos os

critérios. Além disso, o problema em questão trata da seleção de atividades em um empreendimento que devem ser executadas no período em estudo, necessitando da informação intercritério que corresponda à importância relativa dos critérios utilizados no processo decisório. Em alguns casos, segundo a estrutura de preferência do decisor, pode-se concluir que os métodos não-compensatórios são os mais adequados, favorecendo as alternativas mais balanceadas, que possuam melhor performance média (Gomes et al., 2002).

Constata-se, dessa maneira, que os métodos de sobreclassificação podem ser bastante satisfatórios para esse tipo de problema. O que é procurado nesses métodos é o enriquecimento da relação de dominância (Vincke, 1992).

Decidiu-se então, selecionar o método PROMETHEE para trabalhar a problemática de escolha, considerando as restrições impostas. A vantagem desse método, segundo Brans & Mareschal (1998), é que ele requer uma informação adicional muito clara, que pode ser facilmente obtida e gerenciada tanto pelo decisor quanto pelo analista. Além do mais, o método apresenta uma maior flexibilidade, uma vez que a seleção do tipo de função de preferência constitui um grau de liberdade importante oferecido ao decisor, que pode dispor de dois graus de liberdade: o primeiro é relativo ao tipo de critério generalizado e o segundo aos limiares a definir.

Dentre as opções oferecidas pela família PROMETHEE, foi selecionado o método PROMETHEE V, que mais se enquadra no problema em estudo. O problema proposto não é selecionar uma ação particular ou ordenar as ações partindo da melhor para a pior, mas, ao contrário, selecionar um subconjunto de ações. A problemática é $P_{\alpha, \theta/n}$, que consiste em escolher θ ações entre n , sendo o número θ fixado com antecedência ou a determinar, segundo o caso.

4.3.5. Aplicação do método PROMETHEE

A tabela 4.7 apresentada no item 4.3.3. deste capítulo, mostra a síntese dos dados da avaliação das alternativas em relação aos critérios estabelecidos. É a partir dela que se inicia o processo de aplicação dos métodos de sobreclassificação.

O primeiro passo consiste em converter uma escala verbal em escala numérica, utilizada para facilitar a avaliação de aspectos subjetivos. Os valores atribuídos a cada conceito verbal constam das tabelas 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11, mostradas a seguir:

Tabela 4.8 – Escala para julgamento da importância do critério recursos humanos

Escala verbal	Escala numérica
Especializada	3,00
Flexível	2,00
Sem qualificação – com experiência	1,00
Sem qualificação – sem experiência	0,00

Tabela 4.9 – Escala para julgamento da importância do critério condições físicas de realização da atividade

Escala verbal	Escala numérica
Boa	3,00
Regular	2,00
Ruim	1,00
Desprezível	0,00

Tabela 4.10 – Escala para julgamento da importância do critério condições climáticas

Escala verbal	Escala numérica
Muito ruim	3,00
Ruim	2,00
Regular	1,00
Boa	0,00

Tabela 4.11 – Escala para julgamento da importância do critério recursos materiais

Escala verbal	Escala numérica
Encomenda específica externa	1,00
Encomenda específica local	0,75
Disponibilização programada externa	0,50
Disponibilização programada local	0,25
Disponibilização imediata	0,00

Diante dos valores atribuídos resultantes da conversão da escala verbal para a numérica, a tabela de avaliação assume a seguinte forma:

Tabela 4.12 – Tabela de avaliação 2

ALTERNATIVAS	CRITÉRIOS					
	Cr ₁ (R\$)	Cr ₂	Cr ₃ (meses)	Cr ₄	Cr ₅	Cr ₆
A ₁	897,72	1	1	1	3	0
A ₂	8.7743,04	2	2	3	2	0,25
A ₃	6.880,70	3	3	2	0	0,25
A ₄	17.757,50	3	6	3	0	0,5
A ₅	2.243,98	3	3	2	0	0,25
A ₆	608,00	0	1	2	0	0,25
A ₇	5.783,66	0	2	3	3	0,25
A ₈	1.423,89	0	5	3	0	0,5
A ₉	1.442,46	2	3,5	2	0	0,25

Para dar continuidade ao procedimento, é necessária a determinação da informação intercritério, correspondente à importância relativa entre os critérios, chamada de peso. A atribuição de pesos a critérios deve ser feita por comparação de importância, atribuindo o maior peso ao critério julgado como mais importante (Gomes et al., 2002). A metodologia de atribuição dos pesos empregada foi a de atribuição direta. Primeiramente foi solicitado que o decisor ordenasse os critérios em ordem decrescente, ou seja, os que fossem julgados como mais importantes obtinham a melhor posição, sendo permitido haver dois na mesma posição, caso fossem considerados como igualmente importantes. Após isso, questionou-se ao decisor que pesos seriam atribuídos a cada um dos critérios, de forma que representassem a importância relativa dos mesmos. Posteriormente esses pesos foram normalizados.

Outro tipo de informação necessária é a intracritério, ou seja, as preferências obtidas pelos critérios generalizados relativos às diferenças observadas entre as avaliações e não ao valor absoluto destas últimas. A seleção do tipo de critério generalizado associado a um critério tem um papel muito importante porque permite ao decisor ampliar ou atenuar o impacto desse critério sobre o processo de decisão.

A tabela 4.13 abaixo apresenta os critérios generalizados, os parâmetros e os pesos determinados pelo decisor para cada critério.

Tabela 4.13 – Informações adicionais

Critérios	Critérios generalizados	Parâmetros	Pesos
Custo	Tipo V	q = 10.000 p = 20.000	0,30
Condições físicas para realização da atividade	Tipo II	q = 1	0,15
Duração da atividade	Tipo I	-	0,10
Recursos humanos disponíveis	Tipo II	q = 1	0,15
Condições climáticas	Tipo IV	q = 1; p = 2	0,15
Recursos materiais disponíveis	Tipo IV	q = 0,25; p = 0,50	0,15

√ Custo:

O critério generalizado do tipo V, referente à preferência linear com zona de indiferença foi o indicado pelo decisor para a minimização do custo. Afirmou ele ser esse o tipo mais adequado à situação atual. Se a diferença entre as avaliações das alternativas for inferior a R\$10.000,00 elas poderão ser consideradas como indiferentes. Entre R\$10.000,00 e R\$20.000,00 o decisor deseja que a sua preferência cresça linearmente com a diferença entre as avaliações. A diferença sendo superior a R\$20.000,00, implica em uma preferência estrita pela alternativa de menor custo. Na determinação dos pesos ele assumiu o custo como um dos critérios mais relevantes, atribuindo-lhe um valor de 0,30.

Logo, se uma alternativa tem um custo de até R\$10.000,00 a menos que outra, o *score* é zero. Se uma alternativa tem um custo de R\$20.000,00 ou mais a menos que a outra alternativa, o *score* é 1. Entre esses limites, o *score* é igual à diferença das alternativas subtraído do limiar de indiferença (R\$10.000,00) dividido pela diferença desses limites. As intensidades de preferência do custo são:

$p_c=0,30$	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	-	1,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₂	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₃	0,00	1,00	-	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₄	0,00	1,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₅	0,00	1,00	0,00	0,55	-	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₆	0,00	1,00	0,00	0,71	0,00	-	0,00	0,00	0,00
A ₇	0,00	1,00	0,00	0,20	0,00	0,00	-	0,00	0,00
A ₈	0,00	1,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	-	0,00
A ₉	0,00	1,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	-

√ Condições físicas para a realização da atividade:

Para esse critério o decisor atribuiu o critério generalizado do tipo II, o quase-critério, com o objetivo de maximizar as condições para a realização da atividade, assumindo que a diferença das avaliações das alternativas em um único nível, ou seja, de boa para regular ou de regular para ruim implicaria numa indiferença entre elas; mas se a diferença entre as avaliações assumissem dois níveis, ou seja, de boa para ruim ou de regular para desprezível, implicaria em uma preferência estrita. Diante disso, o limiar de indiferença foi equivalente a 1. Na atribuição dos pesos, o decisor considerou que tanto as condições físicas para realização da atividade, quanto as condições climáticas, os recursos humanos e materiais possuem a mesma importância, sendo desta forma atribuído um valor de 0,15 para cada um desses critérios.

Logo, o *score* será 0 se a diferença entre as alternativas for igual ou menor que 1; e igual a 1, se for maior.

$p_{cf} = 0,15$	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₂	0,00	-	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
A ₃	1,00	0,00	-	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
A ₄	1,00	0,00	0,00	-	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
A ₅	1,00	0,00	0,00	0,00	-	1,00	1,00	1,00	0,00
A ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
A ₇	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
A ₈	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
A ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	-

√ Duração da atividade:

O critério generalizado do tipo I, o critério usual, foi o adotado com o objetivo de maximizar o critério duração da atividade, uma vez que as atividades de maior duração não devem ser deixadas para o fim da obra. O decisor justificou essa escolha ressaltando que qualquer diferença encontrada em relação à duração era de grande relevância. Logo, nenhum parâmetro precisou ser definido. Dentre os critérios estabelecidos, ele assumiu ser a duração o que possuía menos importância no problema atual, atribuindo-lhe um valor de 0,10.

Nesse tipo de função, o *score* equivale a 1 se há uma vantagem, e 0 em caso contrário.

$p_d=0,1$ 0	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₂	1,00	-	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
A ₃	1,00	1,00	-	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
A ₄	1,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A ₅	1,00	1,00	0,00	0,00	-	1,00	1,00	0,00	0,00
A ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
A ₇	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	-	0,00	0,00
A ₈	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00
A ₉	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	-

√ Recursos humanos:

Com o objetivo de maximizar os recursos humanos disponíveis para a execução das atividades foi atribuído o critério generalizado do tipo II, o quase-critério. O decisor assumiu a mesma justificativa dada ao critério de “condições físicas para execução”, sendo o limiar de indiferença igual a 1.

$p_{rh}=0,1$ 5	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	-	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₂	1,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₃	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₄	1,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
A ₇	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
A ₈	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
A ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

√ Condições climáticas:

O critério generalizado do tipo IV, referente ao critério em nível, foi o adotado com o objetivo de maximização das condições climáticas, ou seja, se uma atividade possui uma condição ruim em relação à chuva, é melhor que ela seja priorizada de forma a não ser realizada nos meses mais propensos a esse fenômeno climático. Ele assumiu que a diferença das avaliações das alternativas em um nível, ou seja, de muito ruim para regular, por exemplo, daria lugar a uma indiferença; uma diferença de dois níveis geraria uma preferência fraca e

uma diferença de três níveis, ou seja, de muito ruim para boa, daria lugar a uma preferência estrita. Dessa maneira, os parâmetros definidos foram o limiar de indiferença equivalente a 1; e o limiar de preferência, correspondente a 2.

Portanto, para uma vantagem maior que 2 o score é 1; entre 1 e 2 o score é 0,5; e menor ou igual a 1 o score é zero.

$p_{cc}=0,1$ 0	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	-	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00
A ₂	0,00	-	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50
A ₃	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₄	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
A ₇	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00
A ₈	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
A ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

√ Recursos materiais:

Finalmente, em relação aos recursos materiais disponíveis, o critério generalizado do tipo IV também foi o adotado com o objetivo de maximização. O decisor assumiu as mesmas condições descritas anteriormente, determinando valores diferentes para os limiares. Para o limiar de indiferença foi adotado o valor de 0,25 e para o de preferência o de 0,50.

$p_{mm}=0,1$ 5	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₂	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₃	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₄	0,50	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
A ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
A ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
A ₇	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
A ₈	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,50
A ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

O passo seguinte consistiu no cálculo dos índices de preferência multicritério, conforme a equação (2.14) apresentada no capítulo 2, ou seja, na soma das intensidades de preferência de cada critério multiplicado pelos respectivos pesos. Com os índices de preferência calculados, segue-se o cálculo dos fluxos de sobreclassificação positivo (2.15) e negativo (2.16). De posse desses valores, o fluxo líquido pode ser calculado (2.17).

Tabela 4.14. – índices de preferência, fluxos positivo, negativo e líquido

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	ϕ^+
A ₁	-	0,300	0,150	0,507	0,150	0,150	0,000	0,150	0,150	0,195
A ₂	0,250	-	0,075	0,075	0,075	0,325	0,150	0,225	0,075	0,156
A ₃	0,250	0,400	-	0,027	0,000	0,250	0,250	0,150	0,000	0,166
A ₄	0,475	0,400	0,100	-	0,100	0,250	0,250	0,250	0,175	0,250
A ₅	0,250	0,400	0,000	0,165	-	0,250	0,250	0,150	0,000	0,183
A ₆	0,000	0,300	0,000	0,213	0,000	-	0,000	0,000	0,000	0,064
A ₇	0,250	0,300	0,150	0,210	0,150	0,250	-	0,150	0,150	0,201
A ₈	0,325	0,400	0,100	0,189	0,100	0,100	0,100	-	0,175	0,186
A ₉	0,100	0,400	0,100	0,189	0,100	0,250	0,250	0,150	-	0,192
ϕ^-	0,238	0,363	0,084	0,197	0,084	0,228	0,156	0,153	0,091	
ϕ	- 0,043	- 0,206	0,082	0,053	0,099	- 0,164	0,045	0,033	0,102	

√ PROMETHEE II

O resultado do PROMETHEE II é obtido pelo ordenamento decrescente do fluxo líquido, estabelecendo uma preordem completa entre as alternativas.

Tabela 4.15. – Resultado final do PROMETHEE II

ORDENAÇÃO	ALTERNATIVA	ϕ
1º	A ₉	0,102
2º	A ₅	0,099
3º	A ₃	0,082
4º	A ₄	0,053
5º	A ₇	0,045
6º	A ₈	0,033
7º	A ₁	-0,043
8º	A ₆	-0,164
9º	A ₂	-0,206

√ PROMETHEE V

Conforme o procedimento do PROMETHEE V, os coeficientes da função objetivo são os fluxos líquidos obtidos no PROMETHEE II.

$$\text{Max } (-0,043x_1 - 0,206x_2 + 0,082x_3 + 0,053x_4 + 0,099x_5 - 0,164x_6 + 0,045x_7 + 0,033x_8 + 0,102x_9) \quad (4.1)$$

sob a restrição

$$897,72x_1 + 87.743,04x_2 + 6880,70x_3 + 17.757,50x_4 + 2.243,98x_5 + 608,00x_6 + 5.783,66x_7 \quad (4.2)$$

$$+ 1.423,99x_8 + 1.442,96x_9 \leq 35.000$$

$$x_i \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, 9.$$

Através da resolução deste programa (0-1), obteve-se o seguinte resultado:

$$x_1=0, x_2=0, x_3=1, x_4=1, x_5=1, x_6=0, x_7=1, x_8=0, x_9=1 \quad z_{\text{otim}}=0,3785$$

É, portanto recomendada a realização das seguintes atividades: emboço e massa única, cimentado do piso, execução de cobertura, massa de gesso e impermeabilização do banheiro. É a solução que satisfazendo a restrição (4.2) permite a maior quantidade de fluxo líquido.

É importante ressaltar que para a resolução deste programa (0-1) utilizou-se o Solver do Excel, com tolerância de 0,1%.

√ Plano GAIA

O plano GAIA, neste trabalho, tem caráter descritivo, ou seja, foi proposto para mostrar o desempenho das alternativas selecionadas pelo PROMETHEE V diante dos critérios estabelecidos. Para tal propósito utilizou-se o software PROMCALC, desenvolvido pelo Serviço de Gestão Matemática da Universidade Livre de Bruxelas.

Diante do plano apresentado na figura 4.3., algumas características podem ser verificadas. Podemos concluir, de acordo com as propriedades do plano, que os critérios disponibilização de recursos humanos e materiais não exercem nenhuma influência sobre as alternativas selecionadas. Já os critérios condições físicas e duração são independentes, ou seja, um critério não influencia o outro, o que pode ser percebido pelo fato de seus eixos serem ortogonais entre si. Os critérios condições físicas e climáticas apresentam características conflitantes entre si, possuindo direções opostas.

Em relação às alternativas, pode-se notar que as alternativas A_3 e A_5 são similares, por estarem muito próximas uma a outra e boas nos critérios condições físicas e custo, ou seja, esses critérios são os que mais influenciam estas alternativas. Em relação à alternativa A_4 pode-se dizer que ela se destaca em relação ao critério duração e a A_9 teria bom desempenho tanto nos critérios de duração quanto de condição física. Esses dois últimos critérios possuem um maior poder discriminante - quanto maior for a variação das alternativas nesse critério, maior o comprimento do seu eixo. Pode-se notar que o eixo de decisão é muito curto,

significando que, de acordo com os pesos, os critérios são muito conflitantes, e que um bom compromisso deve ser selecionado próximo à origem. O plano GAIA, mostrado a seguir manteve 98,41% da sua informação preservada após a projeção.

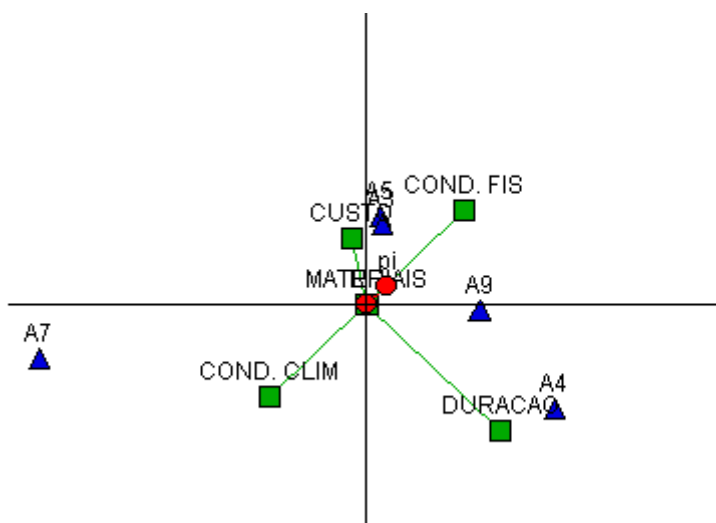


Figura 4.3. – Plano GAIA I

√ ANÁLISE DE SENSIBILIDADE:

Para verificar a robustez do modelo, foi feita uma análise de sensibilidade, variando os pesos dos principais critérios para mais e para menos.

Variando-se 15% a menos nos critérios recursos humanos e condições climáticas verificou-se que não houve alteração na ordenação do PROMETHEE II, nem na seleção das alternativas do PROMETHEE V. O resultado é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 4.16. – Análise de sensibilidade 1 – mês I

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
A ₁	0,1843	0,2380	-0,0537	7º	0
A ₂	0,1602	0,3468	-0,1866	9º	0
A ₃	0,1586	0,0874	0,0711	3º	1
A ₄	0,2330	0,1772	0,0557	4º	1
A ₅	0,1753	0,0874	0,0878	2º	1
A ₆	0,0615	0,2250	-0,1635	8º	0
A ₇	0,2113	0,1495	0,0618	5º	1
A ₈	0,1719	0,1532	0,0187	6º	0
A ₉	0,1841	0,0755	0,1086	1º	1

Na variação para mais em 15% nos pesos dos critérios custo e condições físicas, obteve-se uma modificação somente entre as alternativas A₉ e A₅ em relação ao PROMETHEE II.

Variando-se 15% a menos nesses critérios obteve-se a mesma ordenação e a mesma seleção das alternativas, conforme valores na tabela abaixo.

Tabela 4.17 – Análise de sensibilidade 2 – mês 1

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
A ₁	0,1725	0,2206	-0,0481	7°	0
A ₂	0,1520	0,3969	-0,2449	9°	0
A ₃	0,1747	0,0728	0,1020	3°	1
A ₄	0,2375	0,1926	0,0448	4°	1
A ₅	0,1947	0,0728	0,1219	2°	1
A ₆	0,0740	0,2228	-0,1482	8°	0
A ₇	0,1889	0,1598	0,0291	5°	1
A ₈	0,1681	0,1598	0,0083	6°	0
A ₉	0,1974	0,0624	0,1350	1°	1

Como as mudanças observadas nos resultados foram pequenas diante da variação dos pesos dos principais critérios, pode-se afirmar que o modelo é robusto.

4.3.6. Resultado comparativo

Das atividades selecionadas foram executadas no mês 1 o emboço e massa única, o cimentado do piso, massa de gesso e parte da coberta, além das atividades críticas do período, dentre as quais estão inclusas o emboço e colocação de cerâmica ambos na fachada, a marcação e o levantamento da alvenaria da segunda torre, armação, forma e concretagem da caixa d'água. Devido a problemas que surgiram, não foi possível a execução da impermeabilização.

4.4. Aplicação - Mês 2

O modelo utilizado no mês 2 foi o mesmo utilizado no mês 1 não precisando repetir as etapas de determinação dos critérios e do método multicritério que permaneceram os mesmos. A forma de ponderação dos pesos, assim como as conversões de escala verbal para numérica também não mudaram, não havendo a necessidade de explicitá-los novamente.

4.4.1. Levantamento das alternativas

O conjunto de atividades referentes às ações do processo decisório consideradas para o segundo mês está listado abaixo. Quatro alternativas que não foram selecionadas no mês

anterior foram transferidas para o mês 2. As duas que haviam sido selecionadas no mês anterior e que não foram realizadas, passaram para o mês 8, como resultado da atualização do planejamento. Portanto, foram as seguintes as atividades levantadas:

- √ Movimento de terra: corresponde à escavação para a execução da cortina na periferia do terreno;
- √ Parte ½ da 1ª laje: corresponde à montagem da forma, armação e concretagem da periferia da primeira laje, relativa à garagem que não poderá ser feita de uma só vez por não possuir forma suficiente, estando planejada metade da sua execução para o mês de abril e a outra metade para maio;
- √ Fundação: corresponde à armação, forma e concretagem de sapatas na periferia do terreno;
- √ Soleira de granito: iniciar e terminar a 2ª torre, concluindo o serviço;
- √ Impermeabilização do banheiro: 44% da atividade já foi realizada. A execução prevista para esse mês refere-se a 11,04% do total da atividade.
- √ Impermeabilização da varanda: possui 50% da atividade concluída. A execução prevista para esse mês equivale a 10 % do total da atividade.
- √ Massa única do elevador: 50% da atividade já está executada, correspondendo a 25 % a realizada nesse mês.
- √ Cerâmica do piso: corresponde ao início da atividade.
- √ Instalação hidráulica: 25% da atividade já está executada. A execução nesse mês corresponderia a mais 10%.

4.4.2. Avaliação das alternativas

No segundo mês, as alternativas foram codificadas pela letra B numeradas, de B₁ a B₉, representando cada uma das alternativas sob avaliação, conforme a tabela 4.18. Os códigos dos critérios a serem utilizados serão os mesmos definidos na tabela 4.6, apresentado no item 4.3.3 do subcapítulo anterior.

Tabela 4.18. Codificação de alternativas

Códigos	Alternativas
B ₁	Movimento de terra
B ₂	Parte ½ da 1ª laje
B ₃	Fundação
B ₄	Soleira de granito
B ₅	Impermeabilização do banheiro
B ₆	Impermeabilização da varanda
B ₇	Massa única elevador
B ₈	Cerâmica do piso
B ₉	Instalação hidráulica

Os conceitos de cada uma das alternativas estabelecidos para cada critério considerado são apresentados na tabela 4.19 abaixo, a partir da avaliação qualitativa e quantitativa dos itens.

Tabela 4.19. – Tabela de Avaliação 1

ALTERNATIVAS	CRITÉRIOS					
	Cr ₁ (R\$)	Cr ₂	Cr ₃ (meses)	Cr ₄	Cr ₅	Cr ₆
B ₁	897,72	Ruim	1	Sem qualificação /com experiência	Muito ruim	Disponibilização imediata
B ₂	87.743,04	Regular	2	Especializada	Ruim	Disponibilização programada local
B ₃	18.867,64	Ruim	2	especializada	ruim	Disponibilização programada local
B ₄	608,00	Desprezível	1	Flexível	Boa	Disponibilização programada local
B ₅	1.960,83	Boa	3,5	flexível	boa	Disponibilização programada local
B ₆	1278,00	Regular	5	flexível	ruim	Disponibilização programada local
B ₇	17.423,08	Ruim	1,5	flexível	ruim	Disponibilização programada local
B ₈	7.396,51	Boa	7	flexível	boa	Disponibilização programada local
B ₉	9.600,00	Boa	8	especializada	boa	Disponibilização imediata

4.4.3. Aplicação do método multicritério

A tabela 4.19 apresentada no item 4.4.2 deste capítulo, mostra a síntese dos dados da avaliação das alternativas em relação aos critérios estabelecidos. A partir da conversão da escala verbal em numérica, cuja relação foi apresentada nas tabelas de 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 no item 4.3.5, obteve-se a seguinte tabela de avaliação:

Tabela 4.20 – Tabela de avaliação 2

ALTERNATIVAS	CRITÉRIOS					
	Cr ₁ (R\$)	Cr ₂	Cr ₃ (meses)	Cr ₄	Cr ₅	Cr ₆
B ₁	897,72	1,0	1,0	1,0	3,0	0,00
B ₂	87.743,04	2,0	2,0	3,0	2,0	0,25
B ₃	18.867,64	1,0	2,0	3,0	2,0	0,25
B ₄	608,00	0,0	1,0	2,0	0,0	0,25
B ₅	1.960,83	1,0	3,5	2,0	0,0	0,25
B ₆	1278,00	2,0	5,0	2,0	2,0	0,25
B ₇	17.423,08	1,0	1,5	2,0	0,0	0,25
B ₈	7.396,51	3,00	7,0	2,0	0,0	0,25
B ₉	9.600,00	3,00	8,0	3,0	0,0	0,00

As informações adicionais utilizadas para o mês 2 foram as mesmas utilizadas para o mês 1 conforme a tabela 4.13. As intensidades de preferência calculadas podem ser verificadas no Apêndice deste trabalho.

A etapa seguinte do trabalho consistiu no cálculo dos índices de preferência multicritério e dos fluxos de sobreclassificação.

Tabela 4.21. – índices de preferência, fluxos positivo, negativo e líquido

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	φ ⁺
B ₁	-	0,300	0,240	0,150	0,150	0,000	0,345	0,150	0,150	0,186
B ₂	0,250	-	0,000	0,325	0,075	0,000	0,175	0,075	0,075	0,122
B ₃	0,250	0,300	-	0,175	0,075	0,000	0,175	0,075	0,075	0,141
B ₄	0,000	0,300	0,249	-	0,000	0,000	0,204	0,000	0,000	0,094
B ₅	0,100	0,400	0,310	0,250	-	0,000	0,265	0,000	0,000	0,166
B ₆	0,100	0,400	0,328	0,325	0,175	-	0,358	0,075	0,075	0,230
B ₇	0,100	0,300	0,000	0,100	0,000	0,000	-	0,000	0,000	0,063
B ₈	0,250	0,400	0,295	0,250	0,100	0,100	0,259	-	0,000	0,207
B ₉	0,400	0,400	0,250	0,250	0,100	0,100	0,250	0,100	-	0,219
φ ⁻	0,181	0,300	0,131	0,156	0,050	0,013	0,177	0,038	0,038	
φ	0,004	-0,178	0,010	-0,062	0,116	0,050	-0,114	0,169	0,181	

√ PROMETHEE II

Tabela 4.22. – Resultado final do PROMETHEE II

ORDENAÇÃO	ALTERNATIVA	φ
1º	B ₆	0,204
2º	B ₉	0,184
3º	B ₈	0,146
4º	B ₅	0,0807
5º	B ₁	0,004
6º	B ₃	-0,067
7º	B ₄	-0,134
8º	B ₇	-0,191
9º	B ₂	-0,228

√ PROMETHEE V

Conforme o procedimento do PROMETHEE V, os coeficientes da função objetivo são os fluxos líquidos obtidos no PROMETHEE II.

$$\text{Max } 0,004x_1 - 0,178x_2 + 0,010x_3 - 0,062x_4 + 0,116x_5 + 0,050x_6 - 0,114x_7 + 0,169x_8 + 0,181x_9 \quad (4.3)$$

sob a restrição

$$897,72x_1 + 87.7434x_2 + 18.867,64x_3 + 608x_4 + 1.960,83x_5 + 1.278x_6 + 17.423,08x_7 \quad (4.4)$$

$$+ 7.396,51x_8 + 9.600x_9 \leq 30.000$$

$$x_i \in \{0,1\}, i = 1, 2, \dots, 9.$$

Através da resolução deste programa (0-1), obteve-se o seguinte resultado:

$$x_1=1, x_2=0, x_3=0, x_4=0, x_5=1, x_6=1, x_7=0, x_8=1, x_9=1, z_{\text{otim}}=0,5201$$

Recomenda-se, portanto a realização das seguintes atividades: movimento de terra, impermeabilização do banheiro e da varanda, colocação da cerâmica do piso e instalação hidráulica. Esta é a solução que satisfazendo a restrição 4.4 permite a maior quantidade de fluxo líquido.

√ PLANO GAIA

A visualização no plano GAIA apresentado na figura 4.4., permitiu concluir que os critérios custo e disponibilização de recursos materiais não exercem nenhuma influência sobre as alternativas selecionadas.

Pode-se notar que os critérios condições climáticas e duração são independentes; condições físicas e disponibilização de mão de obra estão orientados aproximadamente na mesma direção, expressando preferências similares no conjunto de alternativas; e que condições climáticas e físicas apresentam direções opostas, o que significa que eles expressam preferências conflitantes.

Em relação às alternativas, pode-se notar que a alternativa A_8 é boa no critério condições físicas e disponibilização de recursos humanos, possuindo o critério condições físicas um maior poder discriminante. Em relação à alternativa A_9 pode-se dizer que ela se destaca em relação ao critério duração e recursos humanos disponíveis, possuindo um maior poder o critério duração. As alternativas A_1 e A_6 são boas em relação ao critério condições climáticas, que apresenta um dos maiores eixos. Pelo eixo de decisão, chegou-se à conclusão que as melhores alternativas podem ser tanto a A_6 quanto a A_9 , por se encontrarem mais próximas a ele. O plano GAIA, mostrado na figura 4.4. abaixo, manteve 99,03% da sua informação preservada após a projeção.

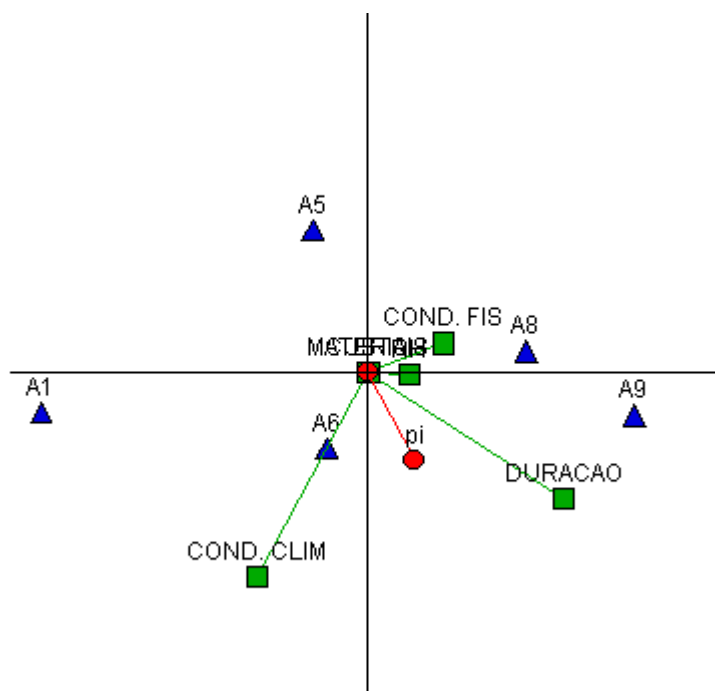


Figura 4.4. – Plano GAIA – mês 2

√ ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para verificar a robustez do modelo, foi igualmente feita uma análise de sensibilidade variando-se os pesos dos critérios para mais e para menos.

Para mais 15% nos critérios recursos humanos e condições climáticas não houve alteração em relação ao resultado do PROMETHEE II e do PROMETHEE V, conforme demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 4.23. – Análise de sensibilidade 1 – mês 2

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
B ₁	0,1962	0,1770	0,0192	5°	1
B ₂	0,12601	0,3331	-0,2070	9°	0
B ₃	0,1448	0,1953	-0,0504	6°	0
B ₄	0,0905	0,2183	-0,1278	7°	0
B ₅	0,1535	0,0872	0,0664	4°	1
B ₆	0,2235	0,0222	0,2013	1°	1
B ₇	0,0583	0,2453	-0,1870	8°	0
B ₈	0,1885	0,0650	0,1235	3°	1
B ₉	0,2158	0,0539	0,1619	2°	1

Variando-se em 15% para menos nos critérios recursos humanos e recursos materiais verificou-se ter ocorrido uma modificação entre a quinta e a sexta posição, ou seja, entre A_3 e A_1 . Em relação ao PROMETHEE V, não houve alteração dos resultados.

Aplicando-se o mesmo percentual de variação, ou seja, 15% para menos aos critérios custo e condições físicas, obteve-se a mesma ordenação e seleção das alternativas, conforme se verifica na tabela abaixo.

Tabela 4.24. – Análise de sensibilidade 2 – mês 2

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
B ₁	0,1824	0,1967	-0,0143	5°	1
B ₂	0,1328	0,3134	-0,1807	9°	0
B ₃	0,1487	0,1929	-0,0443	6°	0
B ₄	0,0799	0,2341	-0,1542	7°	0
B ₅	0,1603	0,0959	0,0643	4°	1
B ₆	0,2314	0,0292	0,2022	1°	1
B ₇	0,0611	0,2513	-0,1902	8°	0
B ₈	0,2027	0,0668	0,1359	3°	1
B ₉	0,2334	0,0522	0,1812	2°	1

Variando-se em 15% para mais nos critérios custo e condições físicas, a modificação se deu somente entre a alternativa A_3 e A_1 (quinta e sexta posição) em relação ao PROMETHEE II, não havendo alteração em relação ao PROMETHEE V. Variando-se em 15% para menos nos critérios custos e recursos materiais não houve modificação na ordenação obtida pelo PROMETHEE II; entretanto ao se aplicar o PROMETHEE V a alternativa A_1 não foi mais selecionada, pelo fato do seu fluxo líquido ter se tornado negativo. Diante das pequenas variações apresentadas, pode-se verificar que o modelo é robusto.

4.4.4. Resultado comparativo

Em relação às tarefas recomendadas pelo modelo para o mês 2:

- foi iniciada a colocação da cerâmica, a instalação hidráulica e a impermeabilização do banheiro;
- a impermeabilização da varanda não foi executada no período nem o movimento de terra, sendo este último transferido para o mês 4, mês sujeito a chuvas, o que não foi levado em consideração. Como consequência, durante o período de escavação a incidência de chuvas foi alta elevando muito o nível de água do terreno, sendo preciso

a contratação do serviço de rebaixamento d'água, que não estava previsto no orçamento. Outra consequência decorrente do fato de não se levar em consideração o fator chuva foi o constante deslizamento de terra, provocado pela intensa chuva. Também a falta de escoramento correto, decorrente das condições físicas presentes, acarretou à queda de um trecho dos tapumes e da calçada para dentro da obra. Assim, uma atividade que possuía um custo pequeno em relação às outras, por não ter sido executada no período certo, gerou uma série de retrabalhos e perdas de produtividade.

4.5. Simulação de Parâmetros

Alguns parâmetros como os pesos, os critérios generalizados e os parâmetros associados foram simulados, visando analisar o comportamento das alternativas frente a diferentes cenários.

√ Simulação 1:

Na simulação 1, considerou-se o critério generalizado do tipo I para todos os critérios, não sendo, portanto, necessária a definição de parâmetros. Os valores obtidos foram:

0 se $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$;

1 se $g_j(a) - g_j(b) > 0$.

A tabela 4.25. apresenta a seguir esses valores para o mês 1:

Tabela 4.25. – Resultado da simulação 1 – mês 1

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
A ₁	0,450	0,500	-0,05	6°	0
A ₂	0,344	0,494	-0,15	9°	0
A ₃	0,294	0,413	-0,118	8°	0
A ₄	0,475	0,319	0,156	2°	1
A ₅	0,369	0,356	0,0125	3°	1
A ₆	0,356	0,369	-0,0125	5°	0
A ₇	0,381	0,400	-0,018	4°	0
A ₈	0,538	0,256	0,281	1°	1
A ₉	0,356	0,456	-0,1	7°	0

O fato de qualquer diferença implicar em uma preferência estrita gerou algumas mudanças. Verificou-se uma alta sensibilidade em relação ao critério generalizado. A alternativa A₉ que se encontrava na primeira posição da ordenação do PROMETHEE II

passou para a sétima colocação. As demais alternativas não apresentaram mudanças significativas. Em relação ao PROMETHEE V, das cinco que haviam sido selecionadas, permaneceram duas, às quais se juntou a alternativa A₈.

√ Plano GAIA:

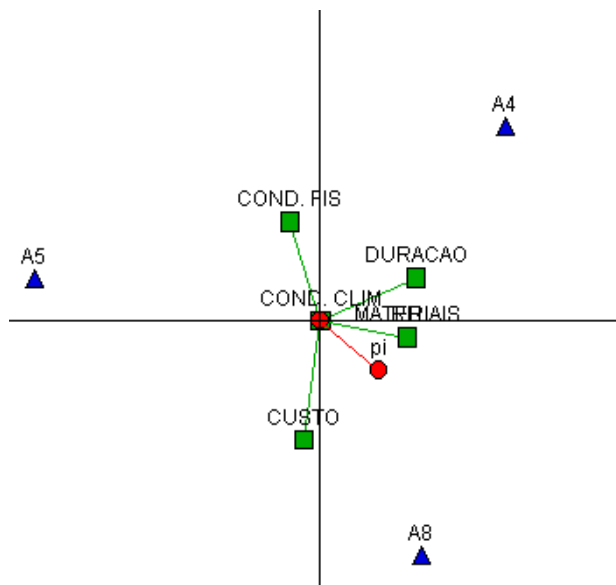


Figura 4.5. – Plano GAIA – simulação 1.1

Nessa primeira simulação, somente três alternativas compõem o plano GAIA, pelo fato de serem as selecionadas pelo procedimento PROMETHEE V. Pode-se observar que o critério condições climáticas não exerceu influência sobre as 3 alternativas citadas. Por sua vez, os critérios recursos humanos e recursos materiais expressam preferências similares no conjunto de alternativas. Já os critérios custo e recursos materiais mostram-se independentes entre si, assim como custos e recursos humanos. No entanto, o critério que mais se destaca é o custo, ou seja, é o que apresenta as maiores variações nas avaliações das alternativas. Entre as alternativas, verifica-se que a A₈ é a que merece maior destaque por estar localizada na direção do eixo de decisão.

O plano GAIA manteve 100% da informação preservada após a sua projeção.

- Mês 2

Para o mês 2, os valores podem ser verificados na tabela 4.26 abaixo:

Tabela 4.26. – Resultado da simulação 1 – mês 2

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
B ₁	0,431	0,538	-0,106	7°	0
B ₂	0,375	0,319	0,056	5°	0
B ₃	0,338	0,231	0,106	4°	0
B ₄	0,094	0,325	-0,231	9°	0
B ₅	0,306	0,163	0,144	3°	1
B ₆	0,525	0,144	0,031	6°	1
B ₇	0,175	0,294	-0,119	8°	0
B ₈	0,425	0,131	0,294	1°	1
B ₉	0,406	0,244	0,163	2°	1

Verificou-se que a alternativa A₆ passou da primeira posição para a sexta, enquanto as demais permaneceram estáveis. Em relação à seleção das alternativas, o subconjunto não sofreu alteração.

-Plano GAIA:

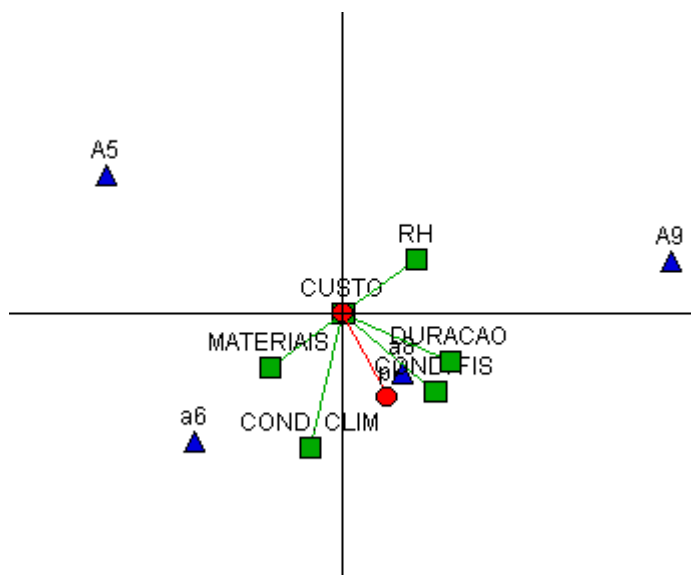


Figura 4.6. – Plano GAIA – simulação 1.2

Verifica-se no plano acima que os critérios apresentam aproximadamente o mesmo poder discriminante entre as alternativas. No entanto o custo não apresentou influência sobre esse subconjunto. Pode-se notar também que os critérios recursos humanos e materiais são conflitantes entre si; os critérios duração e condições físicas expressam preferências

semelhantes pelas alternativas, da mesma forma que os critérios recursos materiais e condições climáticas. Entre as alternativas a B₈ foi a que mais se destacou, tanto por estar na direção do eixo de decisão, quanto pelo fato de ser boa na maioria dos critérios. O plano GAIA manteve 87,75% da informação preservada após a sua projeção.

√ Simulação 2

Na simulação 2 admitiu-se que os pesos de todos os critérios seriam equivalentes. Os demais parâmetros definidos pelo decisor permaneceram inalterados. O seguinte resultado foi encontrado em relação aos dois meses estudados, como demonstram as tabelas 4.27 e 4.28 abaixo:

Tabela 4.27. – Resultado da simulação 2 – mês 1

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
A ₁	0,1601	0,3125	-0,1524	8°	0
A ₂	0,1875	0,2708	-0,0833	7°	0
A ₃	0,1893	0,1146	0,0747	4°	1
A ₄	0,3021	0,1250	0,1770	1°	1
A ₅	0,1990	0,1146	0,0844	3°	1
A ₆	0,0357	0,3021	-0,2664	9°	0
A ₇	0,2124	0,2083	0,0041	6°	0
A ₈	0,2111	0,1771	0,0340	5°	1
A ₉	0,2215	0,0937	0,1277	2°	1

A maior mudança foi em relação à alternativa A₄ que passou da quarta para a primeira posição. No subconjunto de alternativas selecionado só houve mudança da alternativa A₇ pela A₄.

√ Plano Gaia:

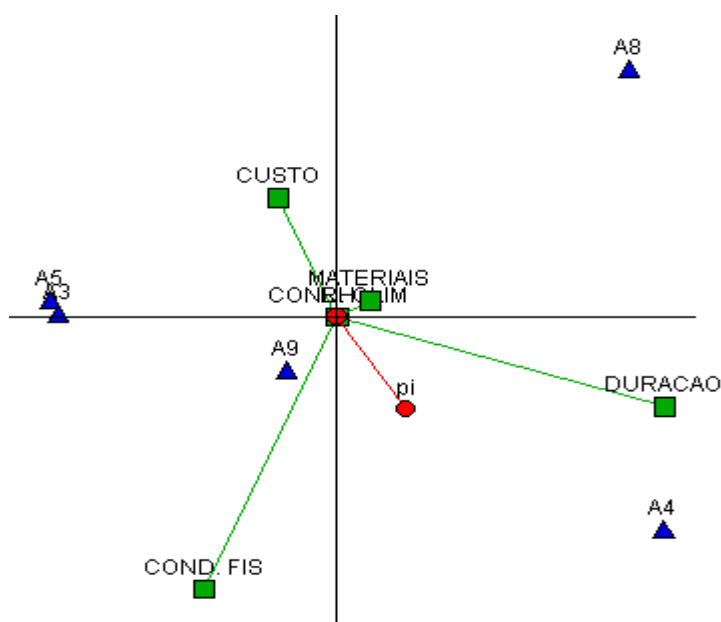


Figura 4.7. – Plano GAIA – simulação 2.1

Pode-se notar que os critérios recursos materiais e recursos humanos não exercem influência sobre essas alternativas. Constata-se também que o critério condições físicas é o que apresenta as maiores variações das alternativas. Além disso, pode-se notar também que os critérios duração e condições físicas são independentes. Em relação às alternativas pode-se dizer que a A₄ é a que possui melhor desempenho, por estar na direção do eixo de decisão, seguida da alternativa A₉.

- Mês 2:

Já para o mês 2, os seguintes valores foram encontrados, conforme apresentados na tabela 4.28 :

Tabela 4.28. – resultado da simulação 2 – mês 2

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
B ₁	0,15520	0,2500	-0,0948	7°	0
B ₂	0,1563	0,2500	-0,0938	6°	0
B ₃	0,1563	0,1921	-0,0358	5°	0
B ₄	0,0522	0,3021	-0,2498	9°	0
B ₅	0,1716	0,1146	0,0570	4°	1
B ₆	0,2474	0,0417	0,2057	2°	1
B ₇	0,0625	0,2708	-0,2083	8°	0
B ₈	0,2531	0,0729	0,1802	3°	1
B ₉	0,2917	0,0521	0,2396	1°	1

Nesse caso, a mudança ocorrida se deu entre as alternativas B₆ e B₉. A alternativa B₆ passou para a primeira posição enquanto a alternativa B₉ para a segunda. Como na maioria dos critérios os pesos já eram equivalentes, poucas foram as mudanças ocorridas. Em relação ao subconjunto de alternativas, só houve a exclusão da alternativa 1.

- Plano GAIA:

Neste caso, pode-se dizer que tanto o custo quanto os recursos humanos e materiais não exercem influência sobre as alternativas. Observa-se também que os critérios duração e condições climáticas são independentes entre si e são os que possuem o maior poder discriminante. Entre as alternativas constatou-se que a B₈ e B₉ são as mais indicadas, pois além de apresentarem bom desempenho no critério duração, são as que estão mais próximas do eixo de decisão.

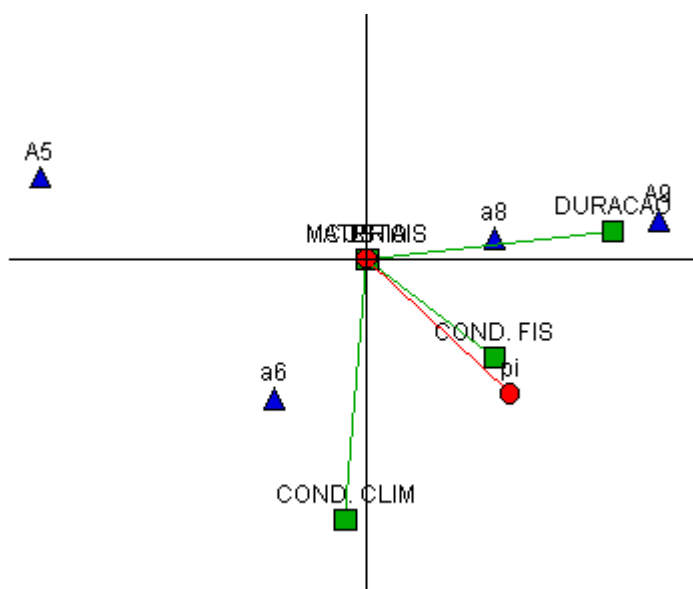


Figura 4.8. – Plano GAIA – simulação 2.2

√ Simulação 3

A terceira simulação equivale à variação dos limiares de indiferença e preferência do critério custo, o que possui maior peso associado.

A seguinte variação foi definida:

$$q=5.000 \text{ e } p=10.000.$$

Os seguintes valores foram encontrados conforme as tabela 4.29 e 4.30 mostram a seguir:

Tabela 4.29. – resultado da simulação 3 – mês 1

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
A ₁	0,1949	0,2375	-0,0426	6°	0
A ₂	0,1562	0,3625	-0,2063	9°	0
A ₃	0,2000	0,1080	0,0920	3°	1
A ₄	0,2406	0,3094	-0,0688	7°	0
A ₅	0,2000	0,0844	0,1156	2°	1
A ₆	0,0859	0,2281	-0,1423	8°	0
A ₇	0,2313	0,1576	0,0737	4°	1
A ₈	0,1941	0,1531	0,0409	5°	1
A ₉	0,2095	0,0719	0,1377	1°	1

A alteração ocorrida se deu na alternativa A₄ que passou da quarta posição para a sétima – a seleção das alternativas continuou a mesma significando que o critério custo, mesmo com a diminuição dos valores dos seus limiares, não apresentou influência na diferença dos valores dessas alternativas.

- Plano GAIA:

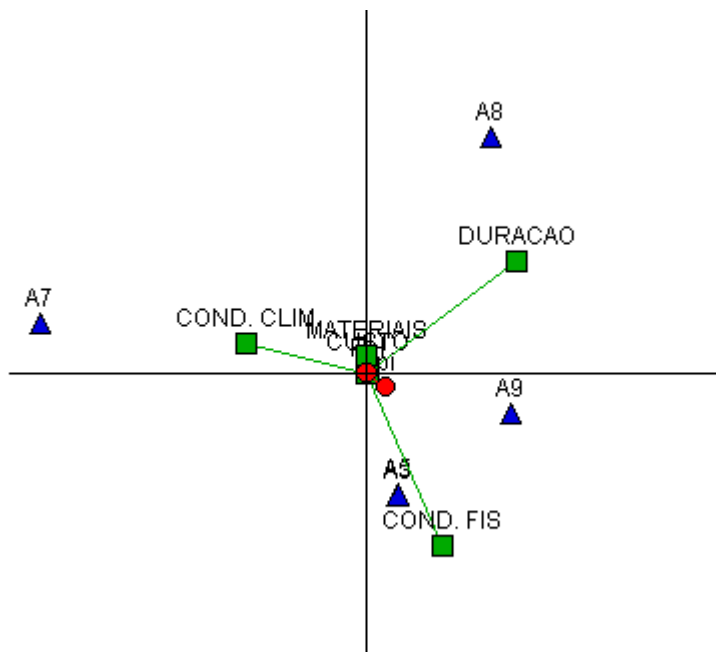


Figura 4.9. – Plano GAIA – simulação 3.1

A figura 4.9 mostra que os critérios que exercem influência sobre as alternativas são condições físicas, duração e condições climáticas, possuindo comprimentos de eixos aproximadamente iguais. Outro fato a ser notado é que o eixo de decisão é muito curto, indicando que os critérios são muito conflitantes entre si. No entanto, as alternativas que mais se aproximam do eixo de decisão e que possuem melhor desempenho no critério condições físicas são a A₃, A₅ e A₉.

- Mês 2

Para o mês 2 foram encontrados os seguintes valores:

Tabela 4.30. – resultado da simulação 3 – mês 2

Alternativa	ϕ^+	ϕ^-	ϕ	Ordenação	PROMETHEE V
B ₁	0,2453	0,1813	0,0640	5°	1
B ₂	0,1219	0,3500	-0,2281	8°	0
B ₃	0,1406	0,3070	-0,1663	7°	0
B ₄	0,1558	0,2281	-0,0723	6°	0
B ₅	0,2168	0,0843	0,1324	4°	1
B ₆	0,2864	0,0250	0,2614	1°	1
B ₇	0,0625	0,3680	-0,3056	9°	0
B ₈	0,2750	0,0957	0,1793	2°	1
B ₉	0,2844	0,1493	0,1351	3°	1

A mudança constatada foi na troca de posição entre as alternativas B₈ e B₉ que passaram da segunda para a terceira posição e entre a sexta e sétima posições. Em relação ao PROMETHEE V, não houve alteração, mostrando que mesmo com a diminuição dos limiares, o critério custo continuou sem representar influência na diferença das avaliações dessas alternativas selecionadas.

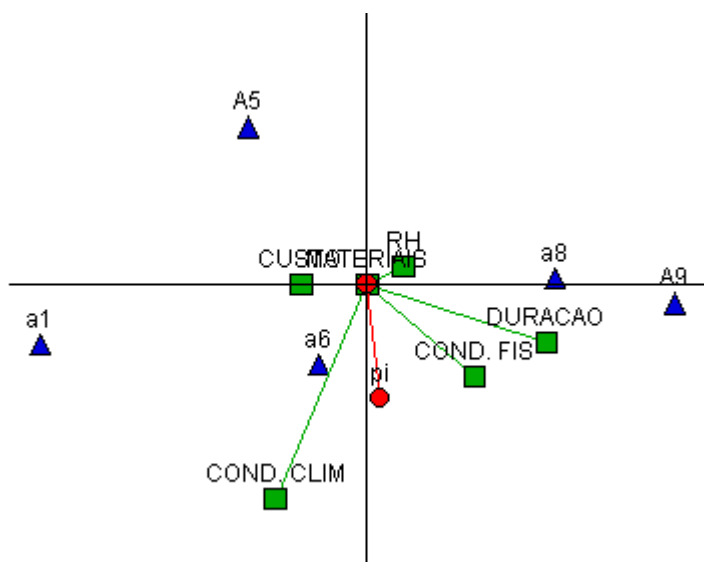


Figura 4.10. – Plano GAIA – simulação 3.2

Pode-se constatar que o critério recursos materiais não exerce nenhuma influência sobre as alternativas. O critério condições climáticas é o que contém a maior amplitude de variação entre as alternativas, seguido pelos critérios de duração e condições físicas respectivamente. Em relação às alternativas, a B_6 é a que apresenta melhor desempenho no critério condições climáticas – o que possui maior poder discriminante – além de estar próxima ao eixo de decisão.

4.6. Comentários sobre a aplicação

Antes de dar início à aplicação foi realizada uma breve descrição da empresa, destacando-se as informações que pudessem ser relevantes neste estudo.

O ambiente atual em que se encontra a estrutura de gerenciamento do projeto foi também avaliado, identificando-se o problema em questão. Os atores que atuavam nesse processo foram levantados. Diante das características observadas, a problemática de seleção considerando as restrições impostas pela empresa foi a identificada, partindo-se desse ponto para a escolha do método – o PROMETHEE V. No entanto, para a aplicação do PROMETHEE V, precisa-se da pré-ordem completa obtida através do PROMETHEE II. Por isso, foram considerados os resultados desses dois métodos. Adicionalmente, utilizou-se o plano GAIA somente para as alternativas selecionadas pelo PROMETHEE V, a fim de explicitar a influência dos critérios nas alternativas, identificar os critérios que possuem preferências similares, conflitantes ou aqueles que são independentes entre si.

Ao assumir na simulação o critério verdadeiro, ou seja, a ordem completa entre as alternativas, o conjunto selecionado se restringiu e percebeu-se que o critério condições climáticas não exerceu nenhuma influência, sendo indicado como solução de melhor compromisso a alternativa A_8 , referente à execução do forro de gesso. Só em relação à simulação 2, não se verificou grande alteração em relação às alternativas selecionadas, o que pode ser implicado pelo fato delas já possuírem pesos aproximadamente equivalentes. Em relação à simulação 3, quando variou-se os limiares de indiferença e preferência do critério custo, constatou-se que o subconjunto de alternativas permaneceu o mesmo do apresentado inicialmente. Isso se deu pelo fato das variações das alternativas serem pequenas em relação ao custo. Percebeu-se também que os critérios duração, condições físicas e climáticas apresentam entre eles caráter conflitantes, ou seja, se a atividade possui uma boa condição física, tem uma pequena duração; no entanto nas aplicações verificou-se que as alternativas A_5 e A_8 , referentes ao cimentado do piso e ao forro do gesso sempre estiveram entre as selecionadas. Outra característica em comum observada foi que o critério recursos materiais,

na maioria dos casos, não exerceu influência no processo decisório, podendo ser justificado pelo fato da diferença entre as avaliações das alternativas ser de pequena amplitude.

Em relação ao segundo mês, constatou-se uma estabilidade maior no subconjunto de alternativas selecionadas de acordo com as 3 simulações e o caso real aplicado. As alternativas B₆, B₈ e B₉, relativas à impermeabilização da varanda, cerâmica do piso e instalação hidráulica, respectivamente, estiveram presentes em todos os resultados.

Entre elas, segundo pode ser observado no plano GAIA, a cerâmica do piso destacou-se como a alternativa de melhor compromisso diante dos critérios. Uma característica comum a essas aplicações foi a do critério custo, que, na maioria dos casos, não apresentou influência no desempenho das alternativas selecionadas.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

5.1. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo a aplicação de métodos de apoio à decisão multicritério para a seleção de atividades que necessitam de uma atenção especial, à luz dos critérios estabelecidos pelo decisor, dentro do gerenciamento de projetos na construção civil. A abordagem *outranking* (sobreclassificação) foi a adotada, em especial os métodos PROMETHEE II e V, apoiados pelo plano GAIA para a visualização gráfica das alternativas selecionadas. O problema do gerenciamento da construção civil foi discutido, apresentando as principais características deste setor e os principais fatores intervenientes neste processo. Um dos problemas levantados foi o fato de a tomada de decisão durante o desenvolvimento do projeto ser altamente informal, uma vez que o cronograma que serve como base para o acompanhamento é, muitas vezes, detalhado demais, permanecendo constantemente desatualizado, devido ao alto grau de incerteza existente neste setor, o que leva o gestor do projeto (empreendimento) a tomar decisões precipitadas, sem considerar todos os fatores que influenciam na execução das atividades daquele período.

O modelo de gerenciamento de projeto apresenta uma forma mais estruturada que auxilia o gestor na tomada de decisão, tendo sido aplicado numa situação real - uma edificação que se encontrava em desenvolvimento - especificamente na fase de acabamento - na Região metropolitana do Recife. As atividades detalhadas por meio de redes PERT foram avaliadas de acordo com os aspectos determinados relevantes pelo decisor. De uma maneira geral o propósito do trabalho foi aplicar o método multicritério sob a problemática de escolha envolvendo restrições que se fizeram necessárias.

A determinação de tal problemática se deu pelo fato de se objetivar a seleção das atividades em um projeto na construção civil que sempre se encontra sujeito a algum tipo de restrição. No caso estudado, a restrição existente era em relação ao fluxo de caixa disponível. Por este motivo, as atividades selecionadas foram limitadas pelo seu custo, ao mesmo tempo em que se levou em consideração todos os critérios envolvidos. Já para a obtenção dos pesos, relativos ao grau de importância entre os critérios, nenhum método específico foi utilizado. Seus valores foram dados através de uma atribuição direta, na qual o decisor ordenou os critérios - do mais importante ao menos importante - atribuindo-lhes, em seguida, os pesos correspondentes.

Além da aplicação do modelo a um caso real foram feitas simulações que permitiram conhecer os diferentes cenários da aplicação do modelo. Em todas as simulações foram utilizados os métodos PROMETHEE II e V, e a visualização do GAIA para as alternativas selecionadas.

No decorrer do estudo, pode-se perceber que as informações fornecidas pelo decisor ao analista constituem uma parte crucial do modelo, uma vez que, qualquer dado equivocado pode acarretar na não correspondência dos resultados com a realidade. Dentre essas informações destaca-se a determinação dos pesos e a escolha de um critério generalizado para cada critério, podendo ser necessária a determinação de parâmetros de acordo com a percepção do decisor.

Vale ressaltar que a aplicação realizada neste trabalho não deve, nem pode ser generalizada. Cada projeto apresentará um processo, uma avaliação, um resultado diferente.

Dessa forma, o modelo desenvolvido aponta as alternativas que requerem uma maior atenção, dentro do período abordado, devendo-se atentar que para cada período pode haver a inserção de novos critérios ou a exclusão de alguns, o que deve ser determinado pelo decisor de acordo com a sua experiência a priori. Essa ferramenta pode constituir um veículo poderoso para alavancar a competitividade do empreendimento, uma vez que a meta de toda empresa é atingir um gerenciamento eficiente e eficaz.

5.2. Sugestões para futuros trabalhos

O processo de gerenciamento de projeto na construção civil apresenta-se ainda repleto de falhas, merecendo por isso uma maior atenção dos estudiosos dessa temática. Abaixo estão agrupadas algumas sugestões para elaboração de futuros trabalhos utilizando-se o modelo de gerenciamento de projeto:

- √ Em relação à quantidade de agentes decisores, o problema pode ser analisado sob o enfoque da decisão em grupo, em que são colocados tanto os objetivos dos diretores da empresa quanto aqueles do gestor da obra;
- √ O modelo pode ser aplicado para a fase de planejamento, uma vez que esse é o momento em que é realizada toda a programação de longo prazo, com base nos objetivos da empresa;
- √ No desenvolvimento do projeto, o modelo pode ser aplicado durante a realização da fundação ou da estrutura e não necessariamente na de acabamento;

- √ Pode ser direcionado a outros tipos de obras como as industriais e as públicas, que possuem uma fiscalização intensiva no que se refere ao acompanhamento do cronograma e quanto ao cumprimento de prazos.
- √ Pode ser incorporada a análise das incertezas associadas ao ambiente construtivo através da aplicação da simulação em substituição à técnica PERT/CPM, na qual são consideradas apenas as atividades críticas de maior grau de criticidade, desconhecendo-se as que, eventualmente, em função de suas folgas limitadas, possam vir a integrar o caminho crítico.

Enfim, esse conjunto de sugestões tem a finalidade de fazer do processo de gerenciamento um processo transparente e aberto a todos os agentes envolvidos no processo, de modo que se consiga alcançar os objetivos e metas definidos pela empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A GUIDE to the project management body of knowledge – PMBOK GUIDE – Project Management Institute – 2000.

A GUIDE to the project management body of knowledge – PMBOK GUIDE – Project Management Institute – 1996.

AL-HARBI, K. Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*. Kidlington.v.19,n.1,p.19, 2001.

ABUDAYYEH, O.; TEMEL, B.; AL-TABTABAI, H.; HURLEY, B. An intranet-based cost control system. *Advances in Engineering Software*. v.32, n.2, p.87-94, 8 Jan. 2001.

ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Sistemas de Informação com Base no Método PROMETHEE. *Gestão & Produção*. São Paulo: Universidade de São Carlos, v. 9, n. 2, p. 201-214, ago. 2002.

BALANÇO Setorial. Construção Civil. *Gazeta Mercantil*, ano 1, n.1, out.2002.

BALLARD, G. Lookahead planning: the missing link in production control. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNACIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 5, 1997, Australia, *Proceedings...* IGLC, 1997.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing Lean Construction: improving downstream performance. In: ALÁRCON, L (Ed). *Lean Construction*. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997, p.111-125.

BANA e COSTA, C. Introdução Geral a Abordagens Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão. *Investigação Operacional*, v.8, n.1, p 117-139, 1988.

BARZILAI, J.; GOLANY, B. AHP rank reversal normalization and aggregation rules. *INFOR*. Ottawa, v.32, n 2; May,1994.

BENDER, W. B.; AYYUB, B. M. Risk-Based Cost Control for Construction. *AACE International Transactions*, 2001.

BERNARDES, M. M. e S.; CARVALHO, M. S. de. Método de análise do processo de planejamento da produção de empresas construtoras. In. *Métodos e Ferramentas para a Gestão da qualidade e Produtividade na Construção Civil*. Porto Alegre, Programa da Qualidade e Produtividade da Construção Civil no Rio Grande do Sul, 1997.

BIDGOLI, H. *Decision Support Systems – Principle and Practice*. West Publishing Company, 1989.

BRANDSTETTER, M. C. G. O et al. Análise do Impacto do Processo de Implementação de Sistemas de Gestão de Qualidade em Empresas Construtoras. In: ENCONTRO NACIONAL DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ,22, 2002. *Anais...* CD ROM, 2002.

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. *PROMÉTHÉE – GAIA: une méthodologie d’aide à la décision en présence de critères multiples*. Bruxelles: Éditions de L’Université de Bruxelles, 2002.

BRANS, J.P. The space of freedom of the decision maker. Modelling the human brain. *European Journal of Operational Research*, n.92, p.593-602, 1996.

BRANS, J. P. L’ingénierie de la décision. Elaboration d’instruments d’Aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In: COLLOQUE D’AIDE À LA DÉCISION, Québec: Université LAVAL, p. 183-213, 1982.

BRANS, J. P. Ethics and decision. *European Journal of Operational Research*, n. 136, p. 340-352, 2002.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.H. A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, v.31, p. 647-656, 1985.

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE V: MCDM problems with segmentations constraints, *IFOR* v.30, n.02, p. 85-96, 1992.

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, Ph.. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. *IFOR* p.477-490, 1984.

BRANS J.P.; MARESCHAL B: “The PROMETHEE VI procedure: how to diferenciate hard from soft multicriteria problems.” *Journal of Decisions Systems*, v. 4, n.2, p.213-223, 1985.

COSTA, A .P.; MIRANDA, C.M.G.; ALMEIDA, A .T. Sistema de apoio a decisão – conceitos. In: ALMEIDA, A .T; RAMOS, F. de S. (Org) *Gestão da informação na competitividade das organizações*. Recife : Universitária, 2002.p 135-154.

DAVIS, C.B.; OLSON, M.H. *Management Information Systems: conceptual foundations, structure and development*. McGraw-Hill.

DEY, P.K. Project risk management: a combined analytic hierarchy process and decision tree approach. *Cost Engineering*. v.44, n.3 , Mar. 2002 .

DIAS, L.C.; COSTA, J.P.; CLÍMACO, J.N. A parallel implementation of the PROMETHEE method. *European journal of Operational Research*, n. 104 p. 521-531,1998.

FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the weights of the criteria in the ELECTRE type methods with a Revised Simo's Procedure. *European Journal of Operational Research*, n. 139, p.317-326, 2002.

FLEMING, Q. W.; KOPPELMAN, J. M. The essence of evolution of earned value. *Cost Engineering*, v. 36, n.11, nov. 1994.

FORMOSO, C.T.; BERNARDES, M.M.S.; OLIVEIRA, L.F.M.; OLIVEIRA, F.A.Z. *Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras*. Porto Alegre: NORIE/UFRGS,1999.

GAITHER, N.; FRAZIER,G. *Administração de produção e operações*. Pioneira, 2001.

GOMES, L.F.A.M. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. *Recitec*, Recife, v.2, n.2, p.117-139, 1998.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. de. *Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas, 2002.

HARTMANN, S. A competitive genetic algorithm for resource-constrained project schedule. *Naval Research Logistics*, v. 45 , n.7, p.733-750. 1998.

KASTURI, S.; GRANSBER, G.D. Time management - a design-build builder's perspective. *Cost Engineering*. v 44, n.9, 2002.

KEENEY & RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and a Value Trade-offs*. New York: John Wiley & Sons ,1976.

KERZNER, H. *Project Management: a systems approach to planning, scheduling and controlling* – New York: John Willey & Sons, 1998.

KEYSER, W. D.; PEETERS, P. A note on use of PROMETHEE multicriteria methods. *European Journal of Operational Research*, n. 89, p. 457-461, 1998.

KOSKELA, L.; BALLARD, G.; TANHUANPÄÄ, V. Towards lean design management. In: *5TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC-5) Proceedings...* edited by S.N. Tucker, Gold Coast, Queensland, Austrália, 1997. p. 1-12.

KUMARASWAMY, M. M. A computerised construction project management evaluation system. *Advances in Engineering Software*, v.25, n. 2-3, p. 197 – 206. mar.1996.

LAUFER, A. A macro view of the project planning process. *Construction Management and Economics*, London, UK, v.10,p.31-43, 1992.

LAUFER, A.; HOWELL,G. A. Construction Planning: revising the paradigm. *Project management journal*. 1993.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Competence and timing dilemma in construction planning. *Construction Management and Economics*. London, UK, v.6, n.5, p.339-355. Sept. 1988.

LAUFER, A.; TUCKER, R.L. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. *Construction Management and Economics*, London, UK, v.5, p.243-266, 1987.

LEACH, L. Schedule and cost buffer sizing: how to account for the bias between project performance and your model. *Project Management Journal*, v.34, n.2, p.34-47. Jun.2003.

LIMMER,C. *Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1997.

LUCE, D. Semiorders and a theory of utility discrimination. *Econometrica*, v.24, p.178-191,1956.

MARESCHAL, B; BRANS, J.P. Geometrical representation for MCDM, the GAIA procedure, *European Journal of Operational Research*, v.34, p.69-77, 1988.

MESEGUER, A. G. *Controle e garantia da qualidade na construção*. São Paulo: Sinduscon – SP/ Projeto/PW, 1991.

MEYER, A.D.; LOCH, C.H.; PICH,M.T. Managing Project Uncertainty: From Variation to Chaos. *IEE Engineering Management Review*, p.91-98, third quarter 2002.

MIRANDA, C.M.G.; ALMEIDA, A.T.. Gestão de Empreendimentos de Construção Civil com Avaliação Multicritério. In *Qualidade e Inovação em Serviços: Contribuições da Engenharia de Produção*. Recife: Universitária, 2003.p.23-43.

MUSETTI, M. A. Planejamento e Controle de Projetos. In: *Gerenciamento na Construção Civil*. São Carlos: EES/USP, 1998.

NETTO, A. V. *Construção Civil & Produtividade: ganhe pontos contra o desperdício*. São Paulo: Pini, 1993.

NETTO, A. V. *Como gerenciar construções*. São Paulo: Pini, 1988.

OFORI, G.; GANG, G.; BRIFFETT, C. Implementing environmental management systems in construction: lessons from quality systems. *Building and Environment*, v. 37, p.1397-1407, 2002.

OLSON, D. L. *Decision Aids for Election Problems*. Springer, 1996.

ORZENOVY, M. Choosing the "Best" Multiple Criteria Decision-Making Method. *IFOR*; Ottawa, v. 20, n. 2, p. 159-173. May 1992.

PINTO, J. Project Management 2002. - *Ieee Engineering Management Review*, p 22-37, Mar/apr 2002.

PREMACHANDRA, I. M. An Approximation of the activity duration distribution in PERT. *Computers & Operations Research*, New York, v.28, p. 443-452, 2001.

RIGGS, J.L.; BROWN, S.B.; TRUEBLOOD, R. Integration of technical, cost, and schedule risks in project management. *Computers & Operations Research*. New York, v. 21, n. 5, May 1994.

ROGERS, M. Using ELECTRE III to aid the choice of housing construction process within structural engineering. *Construction Management and Economics*. London, v. 18, n.3 p.333. : apr/may 2000.

ROY, B. *Mulcriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996.

_____ A conceptual framework for a prescriptive theory of decision aid. *Studies of the management sciences*, v.6, p.179-210, 1977.

_____ *Méthodologie Multicritère d'aide à la décision*. Paris, 1985 .

SANTOS, A. et al. *Método de intervenção para a redução de perdas na construção civil: manual de utilização*. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHSON, R. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 1995.

TEODOROVIC, B.; TOSIC, A.; WILSON, G. Multi Attribute Ranking of Transport Facility's Order of Construction - An Airport Network Development Case/Criticism. *Logistics and Transportation Review*. Vancouver, v.19, n.2, p.181, 1983.

TOCKLU, C. Application of genetic algorithms to construction scheduling with or without resource constraints. *Canada Journal Civil Engineering* n.229, p.421-429, 2002.

TUNG, S. L.; TANG, S. L. A comparison of the Saaty's AHP and modified AHP for right and left eigenvector inconsistency. *European Journal of Operational Research*. Amsterdam, v. 106, n. 1; p. 123 ,Apr 1, 1998.

VARGAS, R. V. *Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos*. Rio de Janeiro: Brasport, 3ª ed. 2002. Isbn 85-7452-088-8.

VARGAS, C. L. S. *Desenvolvimento de Modelos Físicos Reduzidos como Simuladores para a Aplicação de Conceitos de Produtividade, Perdas, Programação e Controle de Obras de Construção Civil*. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. Wiley, Bruxelles, 1992.

ZARFAR, Z.; RASMUSSEN, D. Baseline Schedule Approval. *Cost Engineering*. v.34, n.8, 2001.

ZAVADSKAS, E.; BEJDER, E.; KAKLAUSKAS, A. Raising the efficiency of the building lifetime with special emphasis on maintenance. *Facilities*. Bradford, v. 16, n. 11, p. 334, Nov.1998.

ZELENY, M. *Multiple Criteria Decision Making*, New York :McGraw-Hill, 1982.

APÊNDICE

Abaixo encontram-se os índices de preferência, para cada critério, calculados para a aplicação referente ao mês 2:

√ Custo:

$p_c=0,30$	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
B ₁	-	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,65	0,00	0,00
B ₂	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₃	0,00	1,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₄	0,00	1,00	0,83	-	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00
B ₅	0,00	1,00	0,70	0,00	-	0,00	0,55	0,00	0,00
B ₆	0,00	1,00	0,76	0,00	0,00	-	0,61	0,00	0,00
B ₇	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
B ₈	0,00	1,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,03	-	0,00
B ₉	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

√ Condições físicas para realização da atividade:

$p_{cf}=0,15$	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
B ₁	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₂	0,00	-	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₃	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₄	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₅	0,00	0,00	0,00	1,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₆	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
B ₇	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
B ₈	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	-	0,00
B ₉	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-

√ Duração da atividade:

$p_d=0,10$	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
B ₁	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₂	1,00	-	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
B ₃	1,00	0,00	-	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
B ₄	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₅	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,00	1,00	0,00	0,00
B ₆	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	0,00	0,00
B ₇	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
B ₈	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,00
B ₉	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-

√ Recursos humanos disponíveis:

$p_{rh}=0,15$	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
B ₁	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₂	1,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₃	1,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₄	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
B ₇	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
B ₈	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
B ₉	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

√ Condições climáticas:

$p_{cc}=0,15$	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
B ₁	-	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
B ₂	0,00	-	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50
B ₃	0,00	0,00	-	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50
B ₄	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₆	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	-	0,50	0,50	0,50
B ₇	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
B ₈	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
B ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

√ Recursos materiais:

$p_{rm}=0,15$	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉
B ₁	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₂	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₃	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₄	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
B ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
B ₇	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00
B ₈	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
B ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-